

**LISTRIK STATIS**

M. Ishaq

**KRONOLOGI : MUATAN LISTRIK**

Sesungguhnya fenomena elektrostatik merupakan pemandangan yang sering sekali kita lihat. Beberapa dari kita mungkin pernah *iseng* menggosokkan penggaris plastik pada tangan kita kemudian mendekatkannya ke rambut teman kita hingga nampak beberapa helai rambut berdiri karenanya. Atau coba gunakanlah dengan menggunakan balon, gosokkan ke rambut kita kemudian tempelkanlah pada dinding, lihatlah apa yang terjadi ? balon akan menempel pada dinding. Atau dalam skala yang besar fenomena elektrostatik sering anda lihat pada timbulnya petir akibat loncatan muatan listrik statis di ionosfir.

Beberapa contoh di atas adalah salah satu dari sekian banyak fenomena elektrostatik yang sudah menjadi perhatian manusia sejak ribuan tahun lalu.

- Sejak zaman Yunani kira-kira 2600 tahun yang lalu, fenomena sebuah benda sebuah fosil mirip kaca atau resin yang digosokkan dapat menarik benda-benda tertentu secara “ajaib”, misalnya pakaian yang terbuat dari bulu binatang. Fenomena ini telah menjadi perhatian banyak kalangan sampai berabad-abad kemudian, saat itu fosil tersebut dinamai *electron*. Sekarang fosil resin ini dikenal sebagai batu ambar (amber). Kejadian alam ini belum dapat dijelaskan secara ilmiah kecuali menganggapnya sebagai sebuah “sihir” semata
- Pada tahun 1600-an, seorang dokter istana Inggris, William Gilbert meneliti “keajaiban” batu ambar tersebut secara ilmiah dan membedakannya dari fenomena kemagnetan. Gilbert menamai gejala batu ambar ini dan gejala apapun yang serupa sebagai *Electric* (dalam bahasa Yunani batu ambar disebut *electron*) atau dalam bahasa Indonesia disebut listrik (bukan elektron). Sekarang istilah *electric* atau listrik dipakai untuk menamai semua gejala yang berhubungan dengan ion (*electron* dan *proton*) serta dinamikanya
- Tahun 1700-an, seorang Ilmuan bernama Du Fay menunjukkan bahwa ada dua jenis gejala kelistrikan statik. Pertama bahwa gejala listrik ini dapat menimbulkan efek tarik-menarik pada benda tertentu dan yang kedua dapat menyebabkan tolak-menolak. Dari dua gejala ini disimpulkan terdapat dua jenis sumber listrik (yang kemudian disebut muatan listrik)



- Seorang ilmuwan, sastrawan, politisi dan terutama salah seorang penggagas deklarasi kemerdekaan Amerika, Benjamin Franklin pada tahun 1752 kemudian menyatakan bahwa fenomena kilat dan batu ambar merupakan gejala yang sama dan menamakan (memberi tanda) kedua jenis listrik (muatan listrik) ini sebagai positif (+) dan negatif (-). Penamaan ini dipakai hingga saat ini dan amat membantu dalam menjelaskan gaya elektrostatik



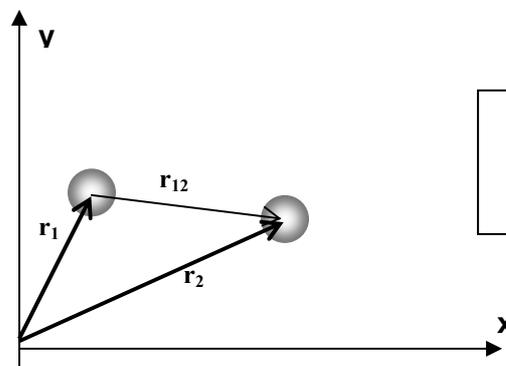
- Robert A. Millikan (1869-1953) kemudian melakukan eksperimen yang bertujuan mencari harga muatan yang paling kecil yang bisa didapatkan. Kemudian dari hasil "percobaan tetes minyak" nya didapatkan harga muatan terkecil sebesar  $1,6 \times 10^{-19}$ . Harga muatan ini dimiliki oleh partikel terkecil electron, sehingga bilangan tersebut disebut e (muatan elektron). Artinya benda apapun yang bermuatan listrik, muatannya adalah kelipatan bilangan bulat dari harga e (1e, 2e, 3e...).



## HUKUM COULOMB



- Pada tahun 1768, melalui sebuah percobaan, Coulomb mendapatkan bahwa muatan-muatan sejenis akan menimbulkan efek tarik-menarik (atraktif) dan benda yang berlainan jenis akan saling menolak (repulsif). Gaya tarik/tolak ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar benda/muatan dan sebanding dengan besarnya muatan benda tersebut.
- Misalkan terdapat dua partikel bermuatan listrik q dan q' berjarak r dalam hampa udara. Jika q dan q' maka akan timbul gaya interaksi yang disebut gaya Coulomb yang didefinisikan sebagai :



Vektor posisi : Interaksi dua muatan

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

dengan

$$k = 1/(4\pi\epsilon_0) \approx 9 \times 10^9$$

F = Gaya Coulomb (Newton)

q<sub>1</sub> = Muatan pertama (coulomb)

q<sub>2</sub> = Muatan kedua (coulomb)

r<sub>12</sub> = jarak antar muatan 1 dan 2 (meter)



**Muatan sejenis akan saling menolak**  
**Muatan yang berlawanan jenis akan saling menarik**

Anda tidak perlu merasa bingung dengan simbol  $\hat{r}_{12}$  pada hukum Coulomb di atas, ia hanya menunjukkan arah gaya coulomb dan tidak mempengaruhi besarnya nilai  $\vec{F}$  karena merupakan vektor satuan yang nilainya satu. Dalam buku lain anda mungkin menemukan penulisan hukum Coulomb seperti ini :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

Yang dinyatakan tidak dalam vektor satuan. Tidak perlu bingung karena :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r_{12}^3} \vec{r}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r_{12}^3} r_{12} \hat{r}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

Beberapa catatan penting tentang persamaan ini adalah bahwa persamaan tersebut :

1. Hanya berlaku untuk muatan titik (artinya dimensi volume tidak diperhatikan)
2. nilai  $k \approx 9 \times 10^9$  hanya berlaku untuk muatan dalam vakum atau udara, untuk medium lain harganya akan berbeda.
3. Bila q dan q' bertanda sama maka  $\vec{F}$  akan bertanda positif. Tanda  $\vec{F}$  positif menunjukkan bahwa kedua muatan tolak menolak. Sebaliknya tanda negatif menunjukkan gaya yang saling menarik

4.  $\vec{F}$  merupakan besaran vektor, sehingga operasi padanya harus memenuhi ketentuan operasi pada besaran vektor. Artinya jika terdapat beberapa muatan, maka gaya total yang dialami satu muatan merupakan resultan dari superposisi gaya-gaya oleh muatan-muatan lain.

Agar anda mendapatkan intuisi lebih tajam, saya berikan satu soal trivial berikut :

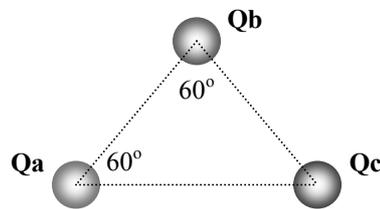
Misalkan tiga buah muatan listrik sebagai berikut :

$$Q_a = -1 \mu\text{C}$$

$$Q_b = 2 \mu\text{C}$$

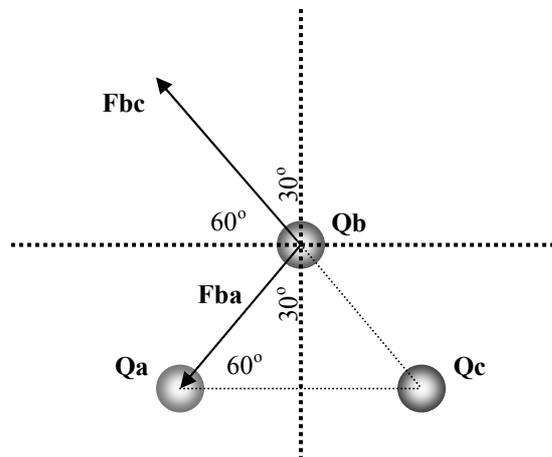
$$Q_c = 4 \mu\text{C}$$

dengan konfigurasi posisi sebagai berikut :

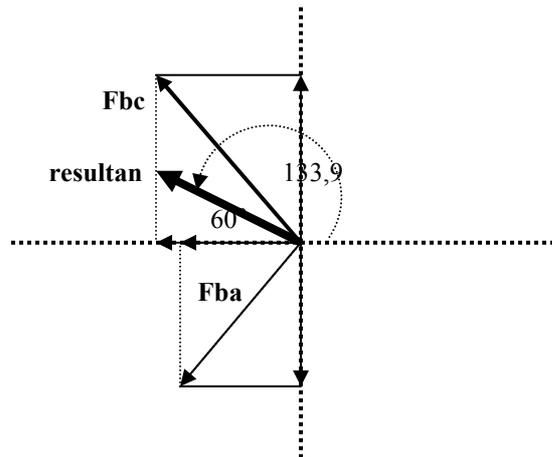


Hitunglah gaya elektrostatis total di  $Q_b$  !

Jawab :



Gaya E.S antara  $Q_b$  dan  $Q_c$  merupakan muatan sejenis sehingga menghasilkan gaya repulsif ( $F_{bc}$ ) yang arahnya seperti pada gambar. Gaya akibat muatan  $Q_a$  terhadap  $Q_b$  merupakan gaya atraktif sehingga arahnya menuju  $Q_a$  ( $F_{ba}$ ). Untuk mendapatkan gaya total kita harus menjumlahkan vektor  $F_{ba}$  dan  $F_{bc}$  secara vektor pula. Sehingga persoalan kita adalah bagaimana menjumlahkan vektor kedua vektor tersebut.



Kita hitung terlebih dahulu besar gayanya :

$$F_{bc} = 9 \times 10^9 \frac{8 \times 10^{-12}}{10^{-4}} = 720 \text{ N}$$

$$F_{ba} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-12}}{10^{-4}} = 180 \text{ N}$$

arah gayanya dapat anda lihat pada gambar. Dengan cara analitik

	Komponen-X	Komponen-Y
$F_{bc}$	$(720)(\cos 120^\circ) = -360 \text{ N}$	$(720)(\sin 120^\circ) = 360\sqrt{3} \text{ N}$
$F_{ba}$	$(180)(\cos 240^\circ) = -90 \text{ N}$	$(180)(\sin 240^\circ) = -90\sqrt{3} \text{ N}$
$\Sigma$	$R_x = -450 \text{ N}$	$R_y = 270\sqrt{3} \text{ N}$

Gaya total :

$$F = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(-450)^2 + (270\sqrt{3})^2} \approx 450,52 \text{ N}$$

arahnya :

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1} \frac{270\sqrt{3}}{-450} \approx -46,10^\circ$$

namun dari gambar kita lihat bahwa sudut yang benar adalah  $(180^\circ + (-46,10^\circ)) = 133,90^\circ$

karena sifat :

$$\tan(180^\circ + \theta) = \tan(\theta)$$

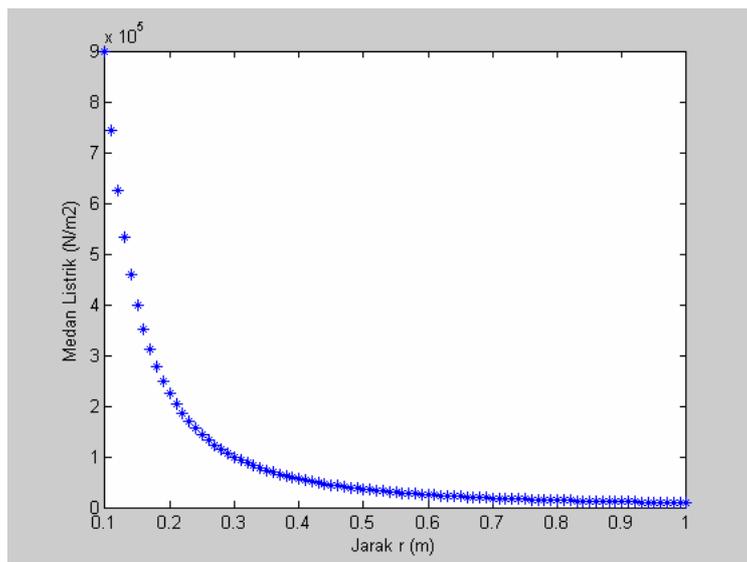
Arah dan besar vektor gaya elektrostatis resultan, anda dapat lihat pada gambar di atas.

**MEDAN LISTRIK**

- Fenomena elektrostatik dapat dijelaskan melalui interaksi gaya Coulomb seperti di atas. Cara lain untuk menjelaskan elektrostatik ini adalah dengan konsep medan. Dengan konsep medan, kita memandang sebuah muatan listrik  $q$  sebagai sumber yang memancarkan medan listrik ke segala arah. Medan listrik ini akan mempengaruhi muatan listrik lain  $q'$  yang berada di sekitarnya, sehingga akan tertarik atau tertolak, bergantung dari jenis muatannya. Atau dengan kata lain muatan  $q'$  akan mengalami gaya Coulomb.
- Medan listrik adalah daerah di sekitar muatan dimana pengaruh listrik masih berpengaruh pada muatan lain
- Medan listrik di suatu titik sejauh  $r$  dari muatan  $q$  adalah :

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Dari persamaan ini kita perhatikan bahwa makin jauh dari muatan listrik, medan listrik makin kecil secara kuadratik, perhatikan gambar di bawah ini :



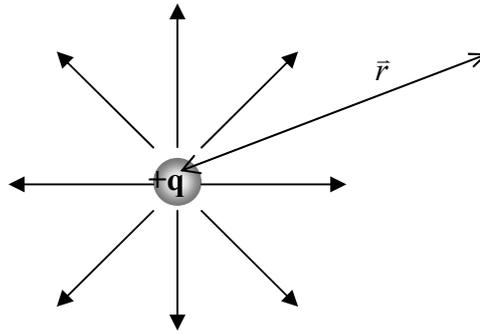
**Penurunan Kuat Medan Listrik Terhadap Jarak Dari Sumbernya**

- Sehingga bisa kita dapatkan hubungan antara gaya Coulomb  $\vec{F}$  dengan medan listrik  $\vec{E}$  :

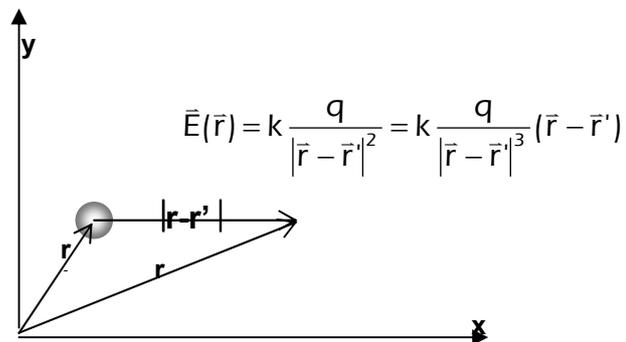
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

## HAND OUT FISIKA DASAR/LISTRIK-MAGNET/ELEKTROSTATIK

- Untuk muatan  $q$  positif, medan listrik digambarkan sebagai garis-garis yang keluar dari muatan sumber :



- Beberapa catatan penting mengenai medan listrik adalah :
  1. Persamaan (2) hanya berlaku untuk muatan titik
  2. Pusat sistem koordinat ada pada muatan sumber  $q$
  3. Satuan yang dipakai adalah dalam sistem MKS
  4. Hanya berlaku untuk muatan dalam medium vakum atau udara
- Jika pusat koordinat tidak berada pada muatan sumber maka persamaan (2) menjadi :



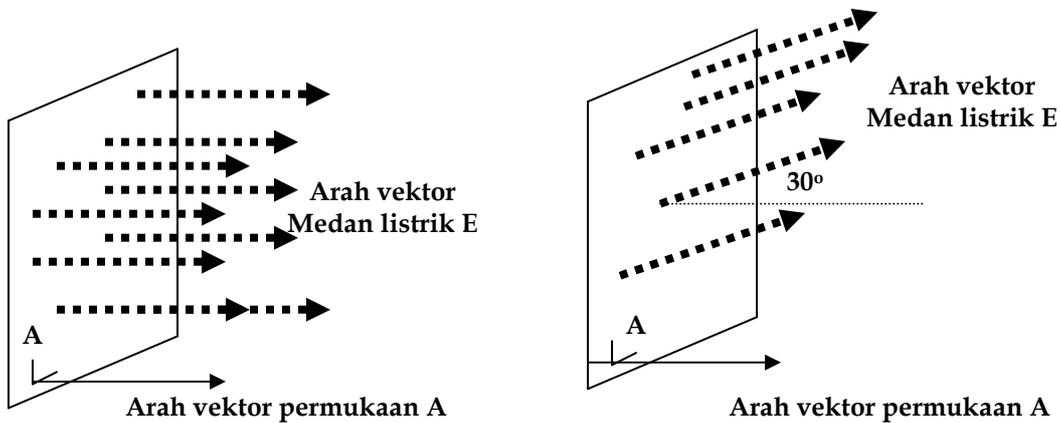
- Jika sumber medan listrik terdiri dari banyak muatan, maka yang harus dilakukan adalah melakukan superposisi (penjumlahan) vektor-vektor medan (ingat bahwa menjumlah vektor tidak sama dengan menjumlah besaran skalar)

Bagaimana jika muatan sumber bukan berupa muatan titik ? Yaitu sumber merupakan materi yang kontinu atau bongkahan bervolume. Cara apakah yang harus dilakukan untuk menghitung medan listrik pada suatu titik sejauh  $r$  dari muatan sumber yang bukan merupakan muatan titik.

Sebuah teknik menghitung akan diperkenalkan secara tidak begitu mendalam. Teknik ini dinamakan Hukum Gauss.

**HUKUM GAUSS**

- Sebelum kita melangkah lebih jauh dengan hukum Gauss, kita definisikan sebuah besaran fisis yang akan kita gunakan nanti, yaitu fluks magnetik  $\Phi$ . Fluks magnetik didefinisikan sebagai perkalian-titik medan magnet  $E$  dan luas yang dilewatinya  $A$ . Jika kita ilustrasikan dalam gambar :

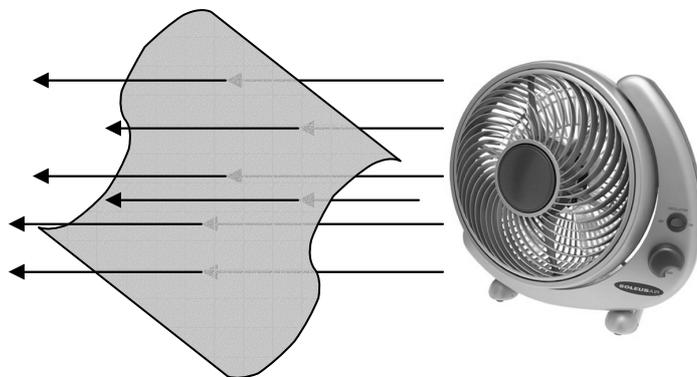


$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA \cos 0^\circ = EA$$

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA \cos 30^\circ = \frac{EA}{2} \sqrt{3}$$

Dalam kasus di atas kita anggap sudut antara  $E$  dan  $A$   $0^\circ$  (searah). Contoh lain, misalnya arah  $E$  dengan  $A$  tidak searah.

Kita bisa membayangkan fluks magnetik ini dengan sebuah, kipas angin yang menerpa selembar kertas yang kita pegang, hembusan angin terasa lebih keras ketika kertas tegak lurus pada hembusan angin, namun ketika kertas sejajar dengan arah hembusan angin, tekanan angin sangat minim.



**Analogi Fluks Magnetik Melalui Hembusan Angin Pada Selembar Kertas**



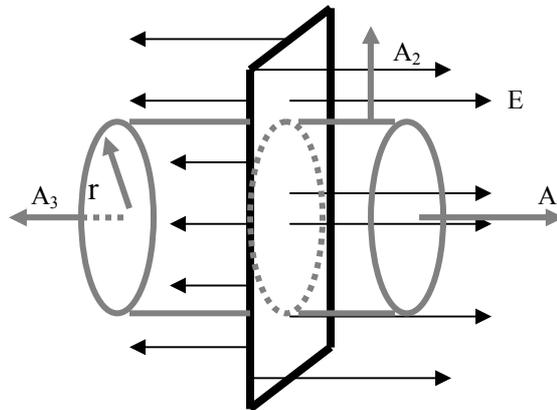
- Gauss menyatakan bahwa : “Jumlah Garis Gaya yang keluar dari suatu permukaan tertutup (atau fluks  $\Phi$ ) sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup itu” atau “Sumber dari sebuah medan magnet adalah muatan listrik”
- Jika diungkapkan dalam sebuah persamaan matematis :

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{total}}}{\epsilon_0}$$

- Hukum Gauss ini tidak akan dijelaskan terlalu detail karena kesulitan teknis mengingat anda belum mendapatkan dasar kalkulus yang cukup terutama tentang divergensi dan integral permukaan. Akan tetapi, kita akan gunakan hukum Gauss ini untuk menghitung kuat medan listrik dari sebuah benda-benda geometris seperti bola, silinder, pelat tipis.

#### PADA BIDANG DATAR

Misalnya kita memiliki pelat bermuatan positif persatuan luas  $\sigma$ . Untuk menghitung medan listrik dengan hukum Gauss kita harus memilih sebuah volume yang melingkupi pelat bermuatan. Ambillah permukaan sebuah silinder berjari-jari  $r$ .



Pada gambar disamping kita bagi silinder menjadi tiga permukaan  $A_1$ ,  $A_2$ , dan  $A_3$ . Fluks yang menembus ketiga permukaan ini adalah :

Pada  $A_1$  :  $E \cdot A_1 \cdot \cos 0^\circ$  :  $EA_1$

Pada  $A_3$  :  $E \cdot A_3 \cdot \cos 0^\circ$  :  $EA_3$

Pada  $A_2$  :  $E \cdot A_2 \cdot \cos 90^\circ$  :  $0$

Dengan demikian :

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = E(A_1 + A_3) = \frac{Q_{\text{total}}}{\epsilon_0}$$

Karena  $A_1$  dan  $A_3$  merupakan luas pelat katakanlah  $A$ . Sehingga

medan pada pelat bermuatan :

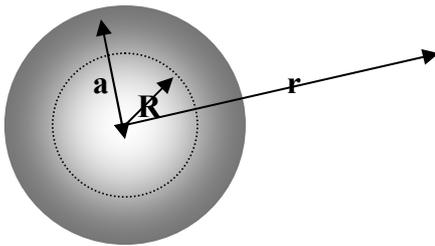
$$E = \frac{Q_{\text{total}}}{2A\epsilon_0}$$

karena  $Q/A = \sigma$ , maka untuk pelat bermuatan kita dapatkan medan listrik :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

UNTUK BOLA BERMUATAN Q BERJARI-JARI  $a$

Tanpa penurunan (yang merupakan tugas anda) kita dapatkan :

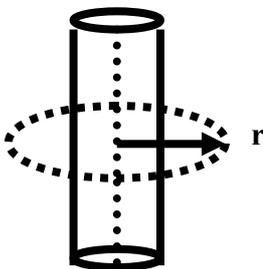


$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QR}{a^3} \hat{r}$$

KAWAT PANJANG BERMUATAN atau SILINDER

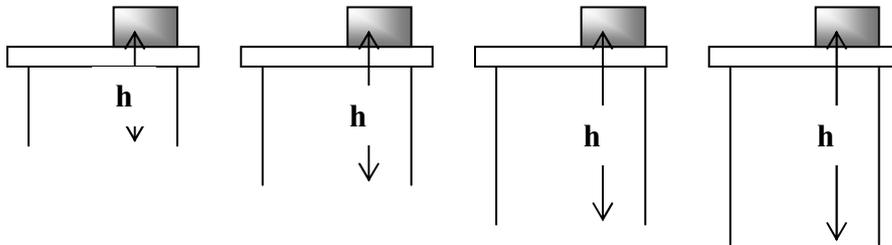
Tanpa penurunan (yang merupakan tugas anda) kita dapatkan :



$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{\lambda}{r} \hat{r}$$

POTENSIAL LISTRIK dan ENERGI POTENSIAL LISTRIK

- Dalam membahas mekanika pada bahasan terdahulu, khususnya pada saat kita membahas hukum “Kekekalan Energi”, kita mengenal satu bentuk energi yang disebut energi potensial gravitasi. Besarnya energi ini amat tergantung dari titik acuan mana kita mengukur sebuah ketinggian (h) benda ( $EP = m g h$ )



Secara alamiah “bumi” dianggap sebagai titik acuan / titik nol untuk menghitung energi potensial gravitasi

- Dalam kelistrikan dikenal pula energi potensial yang disebut energi potensial listrik. Seperti juga energi potensial gravitasi, **energi potensial listrik** bergantung pada titik acuan.



- Energi potensial listrik didefinisikan sebagai “usaha yang diperlukan untuk: memindahkan muatan q dari A ke B

$$W = q \cdot (V_B - V_A)$$

dengan  $W$  = Energi potensial listrik ;  $q$  = muatan listrik;  $V_B$  = potensial listrik di titik B

- Potensial di suatu titik, misalnya titik A (yang biasanya disebut potensial mutlak) adalah selisih atau beda potensial antara potensial di titik tersebut dengan sebuah titik yang amat jauh sehingga potensialnya bernilai nol, sehingga kita bisa dapatkan sebuah harga yang paling mendekati harga potensial “sebenarnya” :

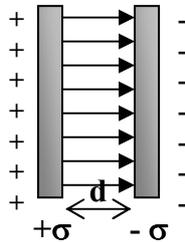
$$V_A = k \frac{q}{r_A} - k \frac{q}{r_\infty}$$

$$\approx k \frac{q}{r_A}$$

- Bisa kita dapatkan hubungan antara potensial listrik dengan medan listrik sebagai berikut :  $V = \vec{E} \cdot \vec{r}$

**KAPASITOR dan KAPASITANSI**

- Kapasitor pada prinsipnya terdiri dari dua buah pelat yang berlawanan muatan, masing-masing memiliki luas permukaan  $A$ , dan mempunyai muatan persatuan luas  $\sigma$ . konduktor yang dipisahkan oleh sebuah zat yang bersifat isolator atau dielektrik sejauh  $d$



Maka karena berbentuk pelat, sehingga jumlah medan di antara kedua pelat adalah :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0}$$

Maka beda potensial antara kedua pelat adalah :

$$V_{ab} = V_a - V_b = E \cdot d = \frac{Qd}{\epsilon_0 \cdot A}$$

- Ukuran Kapasitor biasanya dinyatakan dalam kapasitansi. Secara fisis kapasitansi  $C$  adalah seberapa banyak sebuah kapasitor dapat menampung/diisi oleh muatan. Dalam hal ini :

$$C = \frac{Q}{V_{AB}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Satuan kapasitor dalam SI adalah Farad.

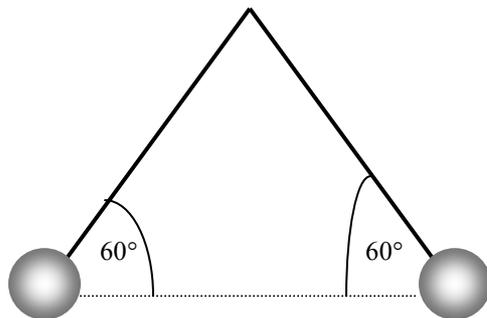
SOAL-SOAL

GAYA COULOMB

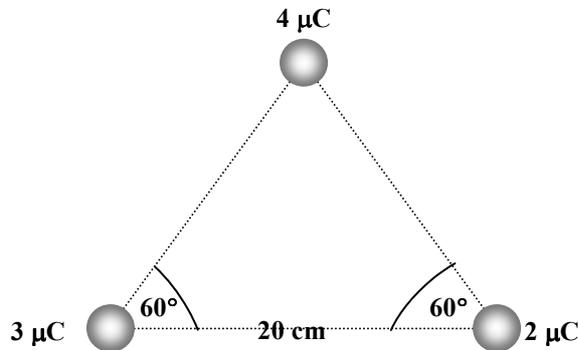
1. Dua partikel bermuatan masing-masing bermuatan identik. Berapakah muatan disetiap keping jika diketahui gaya Coulomb yang timbul adalah 2, 0 N. Jarak kedua partikel adalah 1,5 m
2. Muatan inti helium adalah +2e dan muatan inti neon + 10e, dimana e adalah muatan dasar. Hitunglah gaya tolak antara kedua inti tersebut seandainya jarak antara keduanya 3 nanometer.
3. Menurut model atom Bohr, elektron ( $q = -e$ ) mengelilingi proton ( $q'e$ ) dengan jari-jari  $5,3 \times 10^{-11}$ . Gaya tarik antara proton dan elektron inilah yang menyebabkan gaya sentripetal pada elektron, hingga elektron dapat tetap mngorbit. Hitunglah
  - a. Gaya tarik menarik antara kedua partikel tersebut
  - b. Kecepatan elektron berputar mengelilingi proton
4. Muatan tiga titik ditempatkan pada sumbu x seperti pada gambar berpakah jumlah gaya total yang bekerja pada muatan  $-5 \mu\text{C}$  ?



5. Gambar berikut menunjukkan dua bola identik ( $m = 0,10 \text{ g}$ ) bermuatan sama menggantung di ujung tali yang sama panjangnya. Pada posisi yang tampak pada gambar di bawah, kedua bola itu ternyata mengalami ksetimbangan. Berapakah muatan bola ?

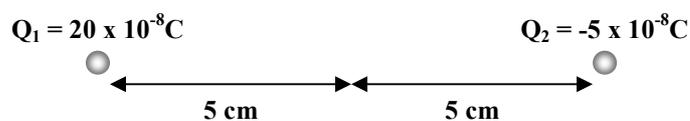


6. Perhatikan muatan-muatan di bawah ini, hitunglah gaya Coulomb total pada muatan  $4 \mu\text{C}$  oleh muatan-muatan lain
7. Dua buah muatan berada pada sumbu x yaitu  $3 \mu\text{C}$  di  $x = 0$  dan  $-5 \mu\text{C}$  di  $x = 40 \text{ cm}$ . Di mana muatan ketiga  $q$  harus ditempatkan agar resultan gaya padanya akan sama dengan nol



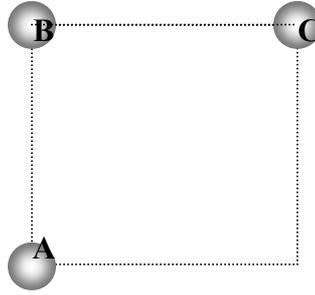
### MEDAN LISTRIK

8. Dengan hukum Gauss, turunkan kuat medan listrik pada benda berbentuk bola berjari-jari  $a$  bermuatan  $Q$  pada :
  - a.  $r$ , di mana  $r < a$  (di dalam bola)
  - b.  $r$ , di mana  $r > a$  (di luar bola)
9. Dengan hukum Gauss, turunkan kuat medan listrik pada benda berbentuk kawat dengan muatan persatuan panjang  $\lambda$  sejauh  $r$  dari kawat.
10. Hitunglah intensitas medan listrik dari sebuah muatan titik  $6 \times 10^{-9} \text{ C}$  pada jarak  $30 \text{ cm}$
11. (Dari soal no 8) Berapa gaya Coulomb yang dialami sebuah muatan titik lain sebesar  $4 \times 10^{-10} \text{ C}$  pada jarak tersebut
12. Perhatikan skema di bawah ini



- a) Berapakah kuat medan total di titik P
- b) Gaya yang dialami muatan sebesar  $-4 \times 10^{-8} \text{ C}$
- c) Di mana intensitas medan listrik sama dengan nol

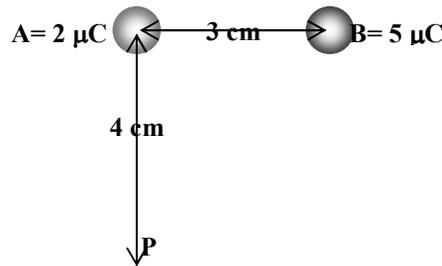
13. Tiga buah muatan listrik A, B, dan C masing-masing  $-4 \mu\text{C}$ ,  $8 \mu\text{C}$ ,  $-5 \mu\text{C}$ , ditempatkan dalam suatu posisi sehingga membentuk bujursangkar bersisi 30 cm dengan satu sudut tanpa muatan. Berapakah medan total pada sudut tanpa muatan tersebut



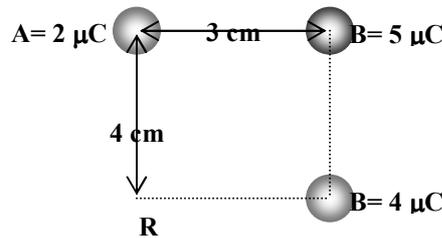
14. Bola bermuatan  $4 \times 10^3 \text{ C}$  berjari-jari 2 cm berada dalam medium udara. Berapakah medan listrik yang ditimbulkannya pada jarak :
- 4 cm dari pusat bola
  - 1 cm dari pusat bola

**POTENSIAL dan ENERGI POTENSIAL**

15. Hitunglah potensial di titik P :



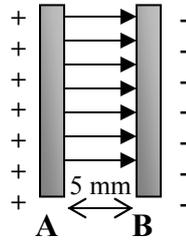
16. Hitunglah potensial di titik R :



**KAPASITOR**

17. Pada gambar di bawah beda potensial antar pelat adalah 40 V.

- a. Manakah yang memiliki potensial lebih tinggi ?
- b. Berapakah usaha yang diperlukan untuk membawa suatu muatan +3C dari B ke A dan dari A ke B
- c. Bila jarak antar pelat 5 mm, berapakah besarnya medan antar pelat ?



18. Kapasitor keping terdiri dari dua keping sejajar, masing-masing luasnya 200 cm<sup>2</sup>, berjarak 0,4 cm dalam udara.

- a. Berapakah kapasitansinya ?
- b. Jika kapasitor dihubungkan dengan sumber 500 V, berapakah muatan yang terhimpun di dalamnya
- c. Berapa energi di dalamnya
- d. Berapa medan listrik diantara pelat