

MUATAN, MEDAN DAN POTENSIAL LISTRIK

DEPARTEMEN FISIKA

INSTITUT  
PERTANIAN  
BOGOR

# Tujuan Instruksional

- Dapat menentukan gaya, medan, energi dan potensial listrik yang berasal dari muatan-muatan statik serta menentukan kapasitansi dari suatu kapasitor
- Pembatasan:
  - gaya-gaya atau medan-medan yang dibahas merupakan gaya-gaya atau medan-medan yang segaris
  - Kapasitor yang dibahas adalah kapasitor keping sejajar

# Sifat-sifat Muatan Listrik – Observasi Makroskopik

- Berdasarkan pengamatan :
  - Penggaris plastik yang digosokkan ke rambut/kain akan menarik potongan-potongan kertas kecil\*
  - Batang kaca yang digosok sutera akan tarik-menarik dengan pengaris plastik yang digosok dengan rambut
  - Batang kaca yang digosok sutera akan tolak menolak dengan batang kaca lain yang juga digosok sutera.
- Berdasarkan pengamatan tersebut tampak ada dua jenis muatan yang kemudian oleh Benjamin Franklin (1706-1790) dinamakan sebagai muatan **positip** dan **negatip**.
- ***Disimpulkan : muatan sejenis tolak menolak, muatan tak sejenis tarik menarik\****

# Klasifikasi Material – Insulator, Konduktor dan Semikonduktor

- Secara umum, material dapat diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya untuk membawa atau menghantarkan muatan listrik
- **Konduktor** adalah material yang mudah menghantarkan muatan listrik.
  - Tembaga, emas dan perak adalah contoh konduktor yang baik.
- **Insulator** adalah material yang sukar menghantarkan muatan listrik.
  - Kaca, karet adalah contoh insulator yang baik.
- **Semikonduktor** adalah material yang memiliki sifat antara konduktor dan insulator.
  - Silikon dan germanium adalah material yang banyak digunakan dalam pabrikasi perangkat elektronik.

# Formulasi Matematik Hukum Coulomb

$$F = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

- $k_e$  dikenal sebagai konstanta Coulomb.
- Secara eksperimen nilai  $k_e = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .



Ketika menghitung dengan hukum Coulomb, biasanya tanda muatan-muatan diabaikan dan arah gaya ditentukan berdasarkan gambar apakah gayanya tarik menarik atau tolak menolak.

Contoh: Dua buah muatan,  $Q_1 = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$  dan  $Q_2 = -2 \times 10^{-6} \text{ C}$  terpisahkan pada jarak 3 cm. Hitung gaya tarik menarik antara mereka!



# Prinsip Superposisi

- Berdasarkan pengamatan, jika dalam sebuah sistem terdapat banyak muatan, maka gaya yang bekerja pada sebuah muatan sama dengan jumlah **vektor** gaya yang dikerjakan oleh tiap muatan lainnya pada muatan tersebut.
- Gaya listrik memenuhi **prinsip superposisi**.

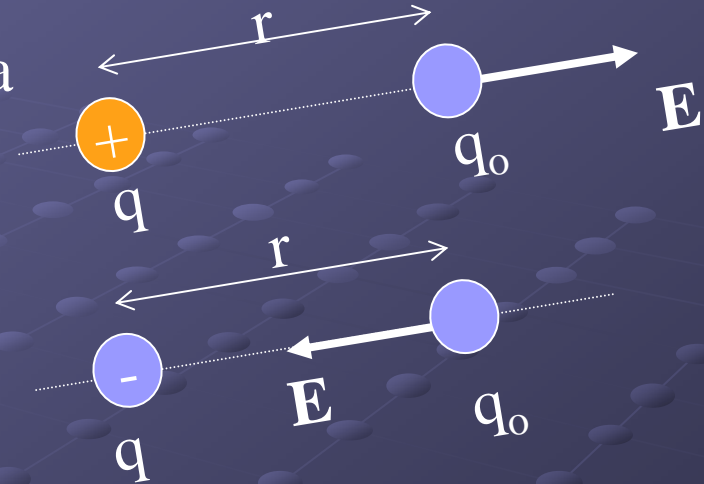
$$\overline{F}_{net} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2 + \overline{F}_3 + \dots$$

Contoh: tiga muatan titik terletak pada sumbu x ;  $q_1 = 8\mu\text{C}$  terletak pada titik asal,  $q_2 = -4\mu\text{C}$  terletak pada jarak 20 cm di sebelah kanan titik asal, dan  $q_0 = 18\mu\text{C}$  pada jarak 60 cm di sebelah kanan titik asal. Tentukan besar gaya yang bekerja pada muatan  $q_0$

# Medan Listrik

$$E = \frac{|F|}{|q_o|}$$

- Untuk muatan  $q$  positif, medan listrik pada suatu titik berarah radial keluar dari  $q$ .
- Untuk muatan negatif, medan listrik pada suatu titik berarah menuju  $q$ .



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

Contoh: Hitung kuat medan listrik yang dihasilkan proton ( $e=1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ ) pada titik yang jaraknya dari proton tersebut (a)  $10^{-10} \text{ m}$  dan (b)  $10^{-14} \text{ m}$ . (c) Bandingkan kuat medan di kedua titik tersebut! (Keterangan : dimensi atom adalah dalam orde  $10^{-10} \text{ m}$  dan dimensi inti adalah dalam orde  $10^{-14} \text{ m}$ ).

Jika dalam sebuah sistem terdapat banyak muatan, maka medan listrik di sebuah titik sama dengan jumlah **vektor** medan listrik dari masing-masing muatan pada titik tersebut.

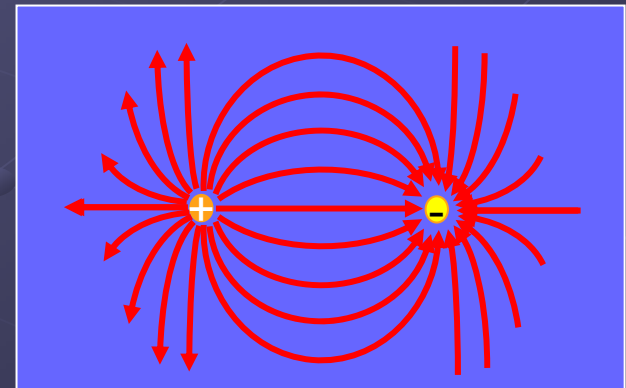
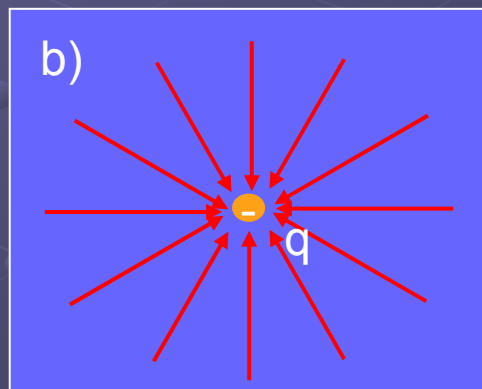
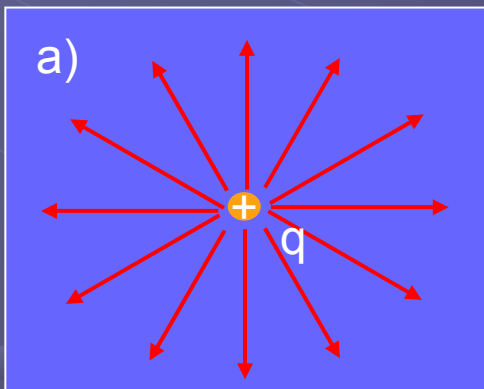
$$\overline{E}_{net} = \overline{E}_1 + \overline{E}_2 + \overline{E}_3 + \dots$$

Contoh: Sebuah muatan  $q_1 = 12 \text{ nC}$  diletakkan di titik asal dan muatan kedua  $q_2 = -8 \text{ nC}$  diletakkan di  $x = 4 \text{ m}$ . (a). Tentukan kuat medan di  $x = 2 \text{ m}$ . (b) Tentukan titik di sumbu  $x$  yang kuat medannya adalah nol.



# Garis-garis Medan Listrik

- Memvisualisasikan pola-pola medan listrik adalah dengan menggambarkan garis-garis dalam arah medan listrik.
- Vector medan listrik di sebuah titik, tangensial terhadap garis-garis medan listrik.
- Jumlah garis-garis per satuan luas permukaan yang tegak lurus garis-garis medan listrik, sebanding dengan medan listrik di daerah tersebut.



# ● ENERGI POTENSIAL ELEKTROSTATIK

Jika terdapat dua benda titik bermuatan  $q_1$  dan  $q_2$  yang dipertahankan tetap terpisah pada jarak  $r$ , maka besar energi potensial sistem tersebut adalah :

$$PE = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

Jika ada lebih dari dua muatan, maka energi potensial yang tersimpan dalam sistem tersebut adalah jumlah (skalar) dari energi potensial dari tiap pasang muatan yang ada. Untuk tiga muatan:

$$PE = k \left( \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

Contoh: Hitung energi potensial dari sistem 3 muatan,  $Q_1=10^{-6}$  C,  $Q_2=2 \times 10^{-6}$  C dan  $Q_3=3 \times 10^{-6}$  C yang terletak di titik-titik sudut segitiga samasisi yang panjang sisinya 10 cm.

# Potensial Listrik

- **Beda potential** antara titik A dan B,  $V_B - V_A$ , didefinisikan sebagai perubahan energi potensial sebuah muatan,  $q$ , yang digerakkan dari A ke B, dibagi dengan muatan tersebut.

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta PE}{q}$$

- Potensial listrik merupakan **besaran skalar**
- Potensial listrik sering disebut “voltage” (tegangan)
- Satuan potensial listrik dalam sistem SI adalah :  **$1V=1J/C$**
- Potensial listrik dari muatan titik  $q$  pada sebuah titik yang berjarak  $r$  dari muatan tersebut adalah : (anggap titik yang potensialnya nol terletak di tak berhingga)

$$V = k_e \frac{q}{r}$$

- Jika terdapat lebih dari satu muatan titik, maka potensialnya di suatu titik akibat muatan-muatan tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip superposisi

Total potensial listrik di titik P yang diakibatkan oleh beberapa muatan titik sama dengan jumlah aljabar potensial listrik dari masing-masing muatan titik.

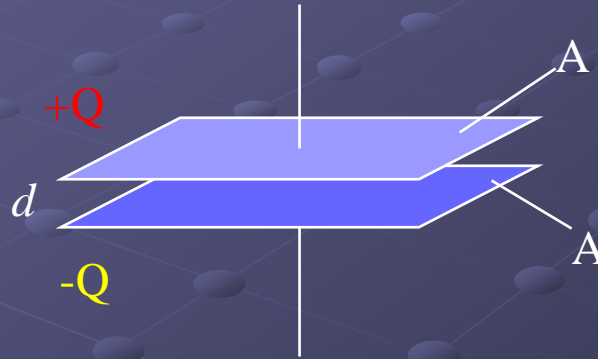
Contoh: Hitung potensial listrik di sudut puncak sebuah segitiga samasisi yang panjang sisinya 20 cm, jika di sudut-sudut dasarnya ditempatkan muatan  $Q_1 = -10^{-6} \text{ C}$  dan  $Q_2 = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$ .

# Kapasitor

- dapat menyimpan muatan berupa dua konduktor yang dipisahkan suatu isolator atau bahan dielektrik.

$$Q = CV$$

- Kapasitor plat sejajar :



$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$E = \frac{V}{d}$$

Contoh :

Kapasitor pelat sejajar memiliki luas pelat  $2 \text{ m}^2$ , dipisahkan oleh udara sejauh  $5 \text{ mm}$ . Beda potensial sebesar  $10,000 \text{ V}$  diberikan pada kapasitor tersebut. Tentukan :

- Kapasitansinya
- Muatan pada masing-masing pelat

Solusi :

Untuk kapasitor pelat sejajar, kapasitansinya dapat diperoleh sebagai berikut :

**Diketahui :**  
 $\Delta V = 10,000 \text{ V}$

$A = 2 \text{ m}^2$

$d = 5 \text{ mm}$

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = \left( 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2 \right) \frac{2.00 \text{ m}^2}{5.00 \times 10^{-3} \text{ m}}$$
$$= 3.54 \times 10^{-9} \text{ F} = 3.54 \text{ nF}$$

**Diminta :**

$C = ?$

$Q = ?$

Muatan pada masing-masing pelat :

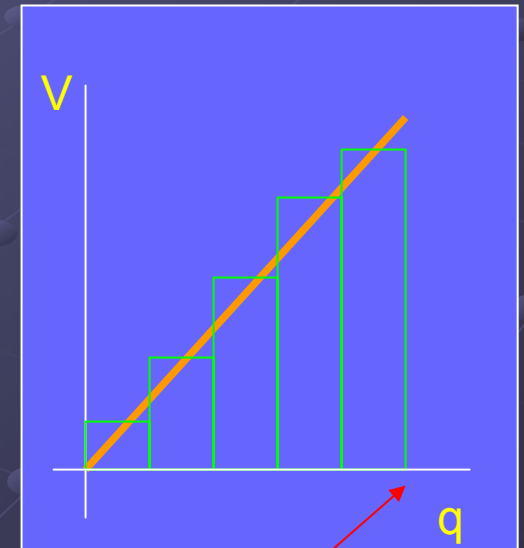
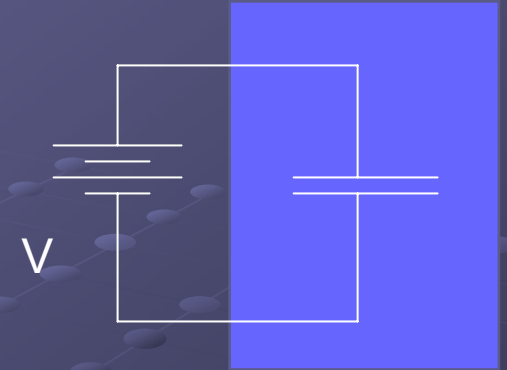
$$Q = C \Delta V = \left( 3.54 \times 10^{-9} \text{ F} \right) (10000 \text{ V}) = 3.54 \times 10^{-5} \text{ C}$$



# Energi yang Disimpan dalam Kapasitor

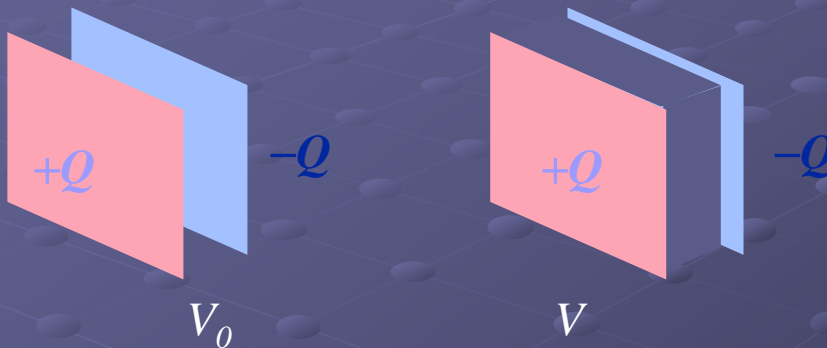
- Misalkan sebuah batere dihubungkan ke sebuah kapasitor.
- Batere melakukan kerja untuk menggerakkan muatan dari satu pelat ke pelat yang lain. Kerja yang dilakukan untuk memindahkan sejumlah muatan sebesar  $\Delta q$  melalui tegangan  $V$  adalah  $\Delta W = V \Delta q$ .
- Dengan menggunakan kalkulus energi potensial muatan dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \frac{1}{2} QV = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2$$



# Kapasitor dengan Dielektrik

- Dielektrik adalah material insulator (karet, glass, kertas, mika, dll.)
- Misalkan, sebuah bahan dielektrik disisipkan diantara kedua pelat kapasitor.



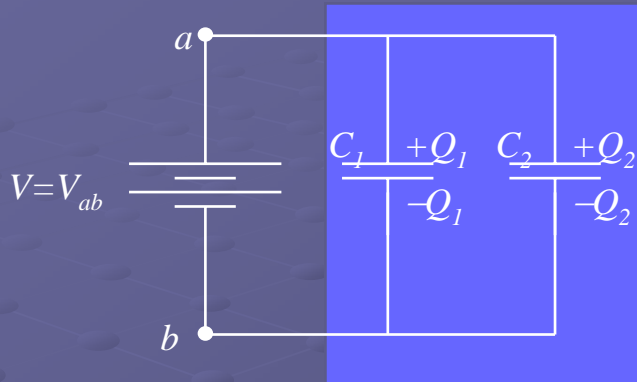
- Maka beda potensial antara kedua keping akan turun ( $k = V_0/V$ )
- Karena jumlah muatan pada setiap keping tetap ( $Q=Q_0$ ) → kapasitansi naik

$$C = \frac{Q_0}{V} = \frac{Q_0}{V_0/\kappa} = \frac{\kappa Q_0}{V_0} = \kappa C_0 \rightarrow C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

- Konstanta dielektrik :  $k = C/C_0$

- Konstanta dielektrik merupakan sifat materi

# Rangkaian Kapasitor



Paralel

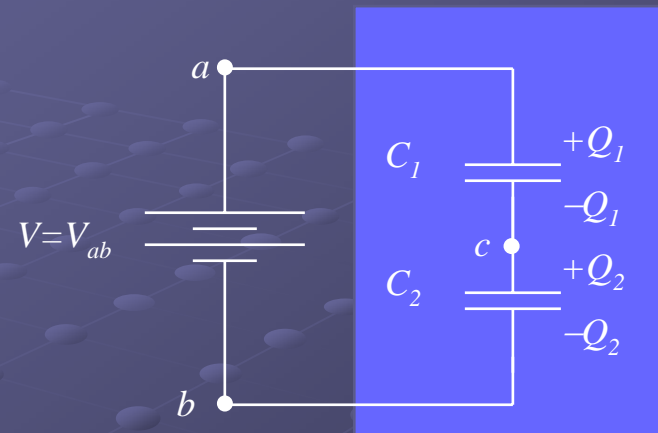
$$V_1 = V_2 = V$$

$$Q_1 + Q_2 = Q$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

Contoh

Dua buah kapasitor masing-masing dengan muatan 3 mF dan 6 mF dihubungkan paralel melalui baterai 18 V. Tentukan kapasitansi ekuivalen dan jumlah muatan yang tersimpan



Seri

$$V = V_1 + V_2$$

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

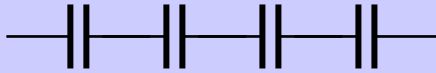
Contoh

Dua buah kapasitor masing-masing dengan muatan 3  $\mu$ F dan 6  $\mu$ F dihubungkan seri melalui baterai 18 V. Tentukan kapasitansi ekuivalen dan jumlah muatan yang tersimpan

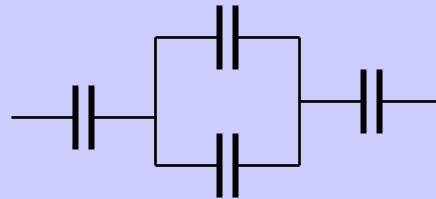
# Contoh Soal:

- Empat buah kapasitor masing-masing kapasitasnya  $C$ , dirangkai seperti pada gambar di bawah ini. Rangkaian yang memiliki kapasitas  $0,6 C$  adalah,

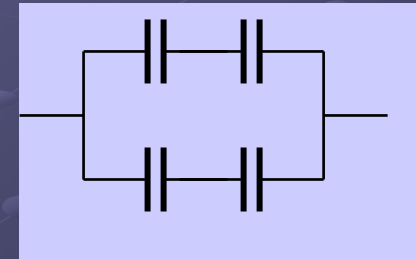
A.



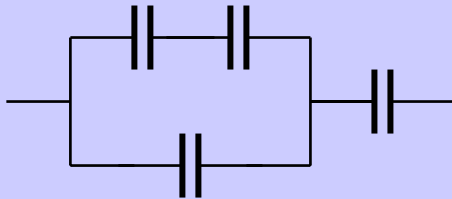
B.



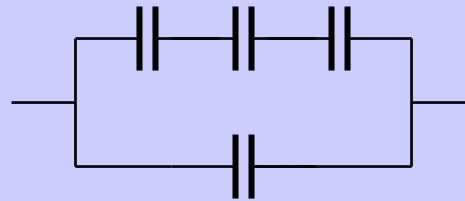
C.



D.



E.



JAWAB : D

Soal UAS Fisika TPB semester I tahun 2005/2006

(82% menjawab benar)

# Contoh Soal

- Tiga buah kapasitor besarnya masing-masing  $1\mu\text{F}$ ,  $2\mu\text{F}$  dan  $3\mu\text{F}$  dihubungkan seri dan diberi tegangan  $E$  Volt. Maka . . . . .

1. masing-masing kapasitor akan memiliki muatan listrik yang sama banyak
2. kapasitor yang besarnya  $1\mu\text{F}$  memiliki energi listrik terbanyak
3. pada kapasitor  $3\mu\text{F}$  bekerja tegangan terkecil
4. ketiga kapasitor bersama-sama membentuk sebuah kapasitor ekuivalen dengan muatan tersimpan sebesar  $6/11 E \mu\text{C}$

JAWAB : E

Soal UAS Fisika TPB semester I tahun 2005/2006

(49% menjawab benar)

# PENUTUP

- Telah dirumuskan gaya, medan, energi potensial dan potensial listrik dalam kajian listrik statik
- Bahasan berikutnya adalah tentang arus listrik
- Persiapkan diri anda untuk setidaknya mengenal istilah-istilah yang berkaitan dengan arus listrik