

**Materi Kuliah  
Fisika Listrik**

# **Kapasitansi dan Dielektrikum**

**Dosen :  
Tri Surawan M.Si**

**Fakultas Teknik  
Universitas Jayabaya**

# Pokok Bahasan

1. Kapasitor dan Kapasitansi
2. Susunan Kapasitor Seri dan Paralel
3. Penyimpanan Energi dalam Kapasitor dan Energi dalam Medan Listrik
4. Dielektrik

# Kapasitor dan Kapasitansi

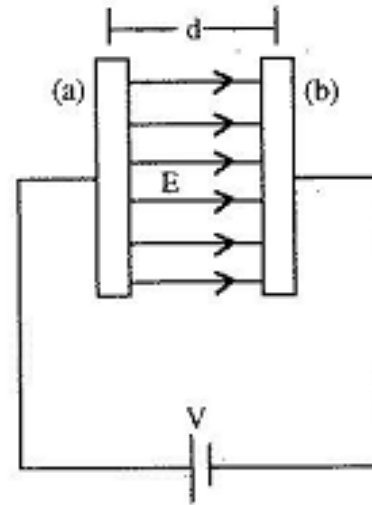
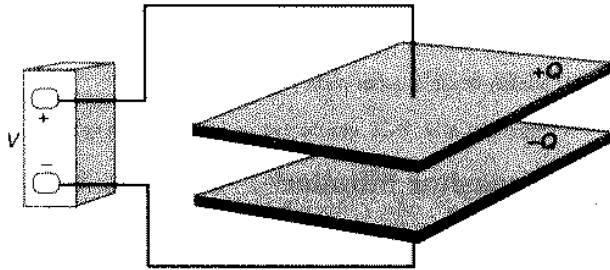
- **Kapasitor** adalah alat yang berguna untuk **menyimpan muatan dan energi listrik**.
- Kapasitor terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan.
- Kapasitor pertama kali ditemukan pada abad ke-18 di **Leyden (Belanda)**.
  - Kapasitor pertama untuk menyimpan muatan listrik yang besar adalah berbentuk botol (jar) dengan lempengan emas di dalam dan di luarnya yang disebut **Leyden jar**.

# Kapasitor dan Kapasitansi

- **Kapasitansi** adalah suatu ukuran dari "kapasitas" penyimpanan muatan pada kapasitor untuk suatu perbedaan potensial tertentu.
- Satuan SI kapasitansi adalah **Coulomb per Volt (C/V)**, dan disebut **Farad (F)**.
- Michael Faraday dari Inggris mendefinisikan :  
 **$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$**
- Karena Farad merupakan satuan yang cukup besar, sering digunakan sub-kelipatan dari Farad, misalnya :
  - mikroFarad :  $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
  - nanoFarad :  $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
  - picoFarad :  $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

# Kapasitor dan Kapasitansi

Sebuah kapasitor keping sejajar terdiri dari dua konduktor yang ditempatkan berdekatan tetapi tidak bersentuhan.



Bila kedua konduktor dihubungkan dengan sumber tegangan  $V$ , maka :

- pada konduktor (a) akan terkumpul muatan sebesar  $+Q$ .
- pada konduktor (b) akan terkumpul muatan sebesar  $-Q$ .

Muatan dalam konduktor akan mencapai **harga maksimum** setelah beda potensial antara dua konduktor mencapai **harga yang sama dengan potensial baterai ( $V$ )**.

# Kapasitor dua pelat konduktor yang sejajar

Bila luas masing-masing konduktor adalah **A**, maka **rapat muatan persatuan luas** adalah :

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

**Medan listrik** antara pelat konduktor adalah :

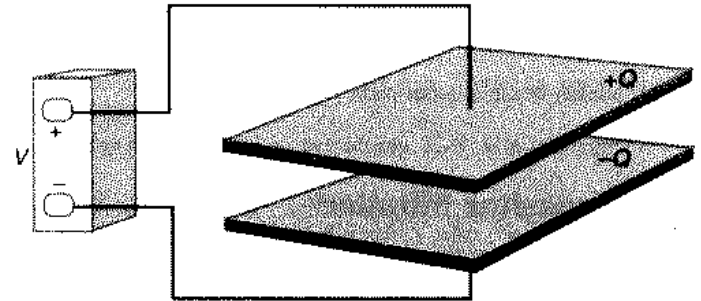
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

Maka **beda potensial V** antara kedua pelat konduktor adalah :

$$V = E \cdot d = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

**Kapasitansi (C)** merupakan kemampuan kapasitor menyimpan muatan akibat adanya beda potensial yang dinyatakan :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{E \cdot d} = \frac{Q \epsilon_0 A}{Qd} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Dimana :

A = luas permukaan keping (m<sup>2</sup>)

d = jarak antar keping (m)

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa  
= 8,85 x 10<sup>-12</sup> F/m

# Contoh Soal

Suatu kapasitor keping sejajar berbentuk bujursangkar dengan sisi 10 cm dan jarak pemisah 1 mm.

- Hitung kapasitansinya
- Jika kapasitor ini dimuati sampai 12 V, berapa banyak muatan yang dipindahkan dari satu keping ke yang lain ?

## Penyelesaian :

- a). Kapasitansi diperoleh dari persamaan :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{s} = \frac{(8,85 \text{ pF/m})(0,1 \text{ m})^2}{0,001 \text{ m}} = 8,85 \times 10^{-11} \text{ F}$$
$$= 88,5 \text{ pF}$$

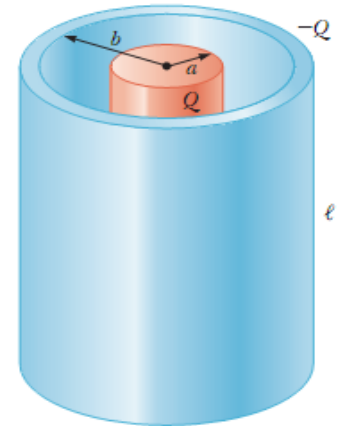
- b). Dari definisi kapasitansi, muatan yang dipindahkan adalah:

$$Q = CV = (88,5 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2)(12 \text{ V})$$
$$= 1,06 \times 10^{-9} \text{ C}$$
$$= 1,06 \text{ nC}$$

( Ini adalah besar muatan pada tiap keping )

# Kapasitansi pada Kapasitor Silinder

Kapasitor silinder terdiri atas suatu konduktor silinder kecil dengan jari-jari  $a$  dan suatu lapisan konduktor berbentuk silinder konsentrik dengan jari-jari  $b$  dengan  $b > a$ .



Medan listrik di luar suatu kabel panjang atau silinder bermuatan  $Q$  adalah :

$$E_r = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r}$$

di mana :

$\lambda = Q/L$  adalah densitas muatan linier

Sehingga potensial listriknya:

$$\begin{aligned} V_b - V_a &= -\int_a^b E_r dr = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L} \int_a^b \frac{dr}{r} \\ &= -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L} \ln \frac{b}{a} \end{aligned}$$

Harga perbedaan potensialnya adalah:

$$V = V_a - V_b = \frac{Q \ln (b/a)}{2\pi\epsilon_0 L}$$

Jadi, kapasitansi pada kapasitor silinder adalah :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln (b/a)}$$

Dimana :

$L$  = panjang silinder (m)

$a$  = jari-jari silinder dalam (m)

$b$  = jari-jari silinder luar (m)

$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m

# Contoh soal

Suatu kabel koaksial terdiri dari kabel berjari-jari 0,5 mm dan lapisan konduktor terluar dengan jari-jari 1,5 mm. Tentukan kapasitansi per satuan panjang !

Penyelesaian :

Dengan menggunakan persamaan :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$

Diperoleh :

$$\frac{C}{L} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(b/a)} = \frac{2\pi(8,85 \text{ pF/m})}{\ln(1,5 \text{ mm}/0,5 \text{ mm})} = 50,6 \text{ pF/m}$$

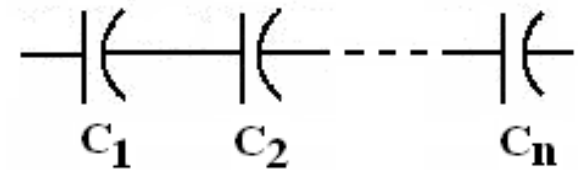
# Susunan Kapasitor

## Seri dan Paralel

Beberapa kapasitor yang disusun seri atau paralel akan menghasilkan kapasitansi ekuivalen yang merupakan nilai gabungan kapasitor-kapasitor tersebut.

**Kapasitor susunan seri :**

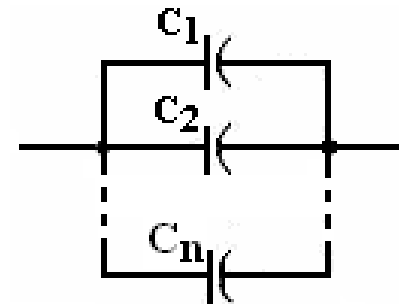
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$



- Tiap kapasitor memiliki **besar muatan yang sama**
- Tiap kapasitor memiliki **beda potensial yang berbeda**

**Kapasitor susunan paralel :**

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$



- Tiap kapasitor memiliki **besar muatan yang berbeda**
- Tiap kapasitor memiliki **beda potensial yang sama**

# Contoh soal

Dua kapasitor  $C_1 = 3 \text{ pF}$  dan  $C_2 = 6 \text{ pF}$  dihubungkan secara seri. Beda potensial antara kedua ujung adalah  $1000 \text{ V}$ .

- Hitung kapasitor substitusinya !
- Berapa muatan pada masing-masing kapasitor ?
- Berapakah beda potensial pada masing-masing kapasitor ?

## Penyelesaian :

- a. Kapasitor ekuivalennya adalah :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{3 \times 10^{-12}} + \frac{1}{6 \times 10^{-12}} = \frac{1}{2 \times 10^{-12}}$$

Jadi :  $C_{equ} = 2 \times 10^{-12} \text{ F} = 2 \text{ pF}$

- b. Kalau kapasitor dihubungkan secara seri maka muatan pada masing-masing kapasitor akan sama. Sehingga :

$$q_1 = q_2 = C_{eq} V = (2 \times 10^{-12})(1000 \text{ V}) = 2 \times 10^{-9} \text{ C} = 2 \text{ nC}$$

- c. Beda potensial pada masing-masing kapasitor adalah :

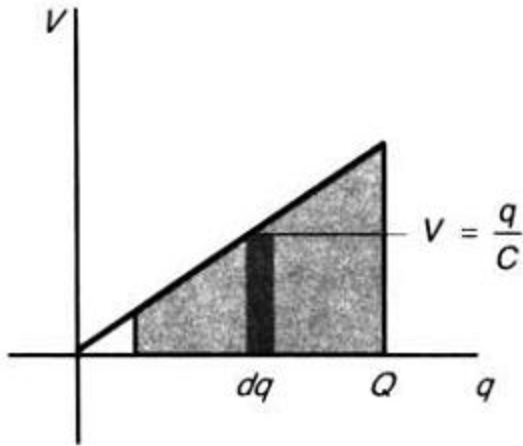
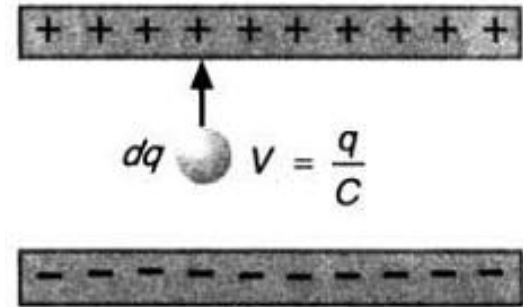
Pada Kapasitor  $C_1$  :  $V_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{2 \times 10^{-9} \text{ C}}{3 \times 10^{-12} \text{ F}} = 667 \text{ V}$

Pada Kapasitor  $C_2$  :  $V_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{2 \times 10^{-9} \text{ C}}{6 \times 10^{-12} \text{ F}} = 333 \text{ V}$

# Energi Listrik pada Kapasitor

Selama kapasitor dimuati, maka muatan  $dq$  dipindahkan dari konduktor negatif dengan potensial nol ke konduktor positif dengan potensial  $V$ , maka perbedaan energi potensial dari muatan akan naik sebesar :

$$dU = V dq = \frac{q}{C} dq$$



Kenaikan total pada energi potensial  $U$  adalah penjumlahan atau integral dari  $dU$ , maka :

$$U = \int dU = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Energi potensial ini dapat dinyatakan dengan beberapa cara, yaitu :

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

# Contoh soal

Suatu kapasitor  $60 \mu\text{F}$  dimuati sampai  $12 \text{ V}$ . Kapasitor dilepaskan dari baterai dan jarak pemisah keping-keping kapasitor dinaikkan dari  $2,0 \text{ mm}$  menjadi  $3,5 \text{ mm}$ .

- Berapa muatan pada kapasitor?
- Berapa banyak energi awal yang tersimpan dalam kapasitor?
- Berapa kenaikan energi ketika jarak pemisah kapasitor diubah?

## Penyelesaian :

- a. Dari definisi kapasitansi, muatan pada kapasitor adalah :

$$Q = CV = (60 \mu\text{F})(12 \text{ V}) = 720 \mu\text{C}$$

- b. Energi awal yang tersimpan adalah:

$$U = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} (720 \text{ C})(12 \text{ V}) = 4320 \mu\text{J}$$

- c. Perbedaan potensial antara keping-keping berhubungan dengan jarak pemisah keping  $s$  dan medan listrik  $E$  :

$$V = Es$$

Medan tidak berubah karena muatan tetap sama.

Ketika perbedaan potensial adalah  $12 \text{ V}$  pada jarak pemisah  $2,0 \text{ mm}$ , maka perbedaan potensial untuk jarak pemisah  $3,5 \text{ mm}$  adalah

$$V = (12 \text{ V}) \frac{3,5 \text{ mm}}{2,0 \text{ mm}} = 21 \text{ V}$$

Pada jarak pemisah keping  $3,5 \text{ mm}$ , energi tersimpan akan menjadi :

$$U = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} (720 \mu\text{C})(21 \text{ V}) = 7560 \mu\text{J}$$

Kenaikan energi yang tersimpan

$$\Delta U = 7560 \mu\text{J} - 4320 \mu\text{J} = 3240 \mu\text{J}$$

# Contoh soal

Kapasitor  $3 \mu\text{F}$  dimuati pada  $100 \text{ V}$ .

- Berapa banyak energi yang tersimpan di dalam kapasitor tersebut?
- Berapakah energi tambahan yang dibutuhkan untuk memuati kapasitor dari  $100 \text{ V}$  menjadi  $200 \text{ V}$ ?

## Penyelesaian

- a. Energi yang tersimpan di dalam kapasitor tersebut adalah :

$$U = \frac{1}{2}(3 \mu\text{F})(100 \text{ V})^2 = \boxed{15.0 \text{ mJ}}$$

- b. Energi tambahan yang dibutuhkan untuk memuati kapasitor dari  $100 \text{ V}$  menjadi  $200 \text{ V}$  adalah :

$$\begin{aligned}\Delta U &= U(200 \text{ V}) - U(100 \text{ V}) \\ &= \frac{1}{2}(3 \mu\text{F})(200 \text{ V})^2 - 15.0 \text{ mJ} \\ &= \boxed{45.0 \text{ mJ}}\end{aligned}$$

# Kerapatan Energi dalam Medan Listrik

Kapasitansi kapasitor dinyatakan :

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

Dimana :

A = luas permukaan keping (m<sup>2</sup>)

d = jarak antar keping (m)

Di antara keping kapasitor akan terjadi beda potensial sebesar :

$$V = Ed,$$

Di dalam kapasitor akan tersimpan energi potensial sebesar :

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_0 A}{d} \right) (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 (Ad)$$

Kuantitas Ad adalah volume ruang di antara keping kapasitor yang mengandung medan listrik.

Maka, **kerapatan energi ( $\eta$ )** per satuan volume ruang di antara keping kapasitor dinyatakan :

$$\eta = \frac{\text{energi}}{\text{volume}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

Dimana :

E = medan listrik di antara keping (V/m)

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa

= 8,85 x 10<sup>-12</sup> F/m

# Contoh soal

Kapasitor keping-paralel dengan luas keping  $2 \text{ m}^2$  dan jarak pemisah  $1,0 \text{ mm}$  dimuati pada  $100 \text{ V}$ .

- Berapakah medan listrik di antara keping-keping tersebut?
- Berapakah densitas energi pada ruang di antara keping-keping tersebut?

## Penyelesaian

- a) Medan listrik di antara keping-keping tersebut adalah :

$$\begin{aligned} E &= \frac{V}{d} \\ &= \frac{100 \text{ V}}{1 \text{ mm}} = \boxed{100 \text{ kV/m}} \end{aligned}$$

- b) Densitas energi pada ruang di antara keping-keping adalah :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \\ &= \frac{1}{2} (8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2) (100 \text{ kV/m})^2 \\ &= \boxed{44.3 \text{ mJ/m}^3} \end{aligned}$$

# Dielektrik

- Suatu material non-konduktor, seperti kaca, kertas, atau kayu, disebut **Dielektrika**.
- Ketika ruang di antara dua konduktor pada suatu kapasitor diisi dengan dielektrik, **kapasitansi naik** sebanding dengan faktor karakteristik dielektrik yang disebut **konstanta dielektrik (  $\kappa$  )**.
- Dielektrik dapat **memperlemah medan listrik** antara keping-keping suatu kapasitor.
  - *karena dengan hadirnya medan listrik, molekul-molekul dalam dielektrik akan menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar.*
- Jika medan listrik awal antara keping-keping suatu kapasitor tanpa dielektrik adalah  $E_0$ , maka **medan di dalam dielektrik** adalah:

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

di mana  $\kappa$  adalah konstanta dielektrik

# Permitivitas Dielektrik

- Kapasitor keping sejajar dengan jarak pemisah  $d$ , maka perbedaan potensial antara keping adalah:

$$V = Ed = \frac{E_0 d}{\kappa} = \frac{V_0}{\kappa}$$

$V$  adalah perbedaan potensial dengan dielektrik  
 $V_0 = E_0 d$  adalah perbedaan potensial awal tanpa dielektrik

- Oleh karena itu, nilai kapasitansi dengan dielektrik menjadi:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V_0 / \kappa} = \kappa C_0$$

$C_0 = Q/V_0$  adalah kapasitansi tanpa dielektrik

- Kapasitansi dari suatu kapasitor keping sejajar yang berisi dielektrik dengan konstanta  $\kappa$  adalah:

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

di mana  $\epsilon = \kappa \epsilon_0$  disebut **permitivitas dielektrik**.

# Energi Listrik pada Dielektrik

Kapasitansi kapasitor yang memuat dielektrik dinyatakan :

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

Dimana :

A = luas permukaan keping (m<sup>2</sup>)

d = jarak antar keping (m)

Di antara keping kapasitor akan terjadi beda potensial sebesar :

$$V = Ed,$$

Di dalam kapasitor akan tersimpan energi potensial sebesar :

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon A}{d} \right) (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2 (Ad)$$

Kuantitas Ad adalah volume ruang di antara keping kapasitor yang mengandung medan listrik.

Maka, **kerapatan energi ( $\eta$ )** per satuan volume dielektrik di antara keping kapasitor dinyatakan :

$$\eta = \frac{\text{energi}}{\text{volume}} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} \kappa \epsilon_0 E^2$$

Dimana :

E = medan listrik di antara keping (V/m)

$\epsilon$  = permitivitas dielektrik (F/m)

# Densitas muatan Dielektrik

- **Densitas muatan** pada permukaan dielektrik disebabkan oleh **pergeseran muatan-muatan** molekular negatif dan positif di sekitar permukaan akibat medan listrik luar dari kapasitor.
- Muatan-muatan pada dielektrik **terikat** pada molekul-molekul dielektrik, sehingga tidak dapat bergerak bebas.
- **Muatan-muatan terikat** juga dapat menghasilkan suatu **medan listrik** seperti halnya muatan lain.

# Medan Listrik pada Kapasitor Dielektrik

- Besar medan pada dielektrik  $E_b$ :

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_0}$$

$\sigma_b$  adalah densitas muatan dielektrik.

- Medan listrik  $E_0$  akibat densitas muatan bebas pada keping-keping kapasitor :

$$E_0 = \frac{\sigma_f}{\epsilon_0}$$

$\sigma_f$  adalah densitas muatan bebas.

- Besar medan  $E$  total adalah selisih dari  $E_0$  dan  $E_b$  :

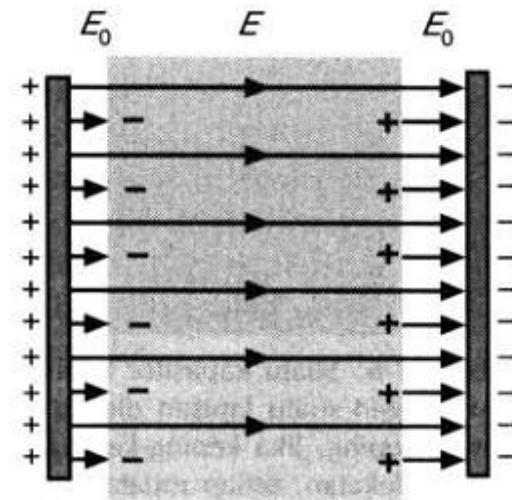
$$E = E_0 - E_b = \frac{E_0}{\kappa}$$

- Hubungan  $E_b$  dan  $E_0$  dinyatakan :

$$E_b = E_0 \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) = \frac{\kappa - 1}{\kappa} E_0$$

- Karena  $E_b = \sigma_b / \epsilon_0$  dan  $E_0 = \sigma_f / \epsilon_0$ ,  
maka dapat ditulis :

$$\sigma_b = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \sigma_f$$



# Contoh soal

Dua keping paralel memiliki muatan  $Q$  dan  $-Q$ . Apabila ruang di antara keping-keping tersebut tidak terisi bahan, medan listriknya adalah  $2,5 \times 10^5 \text{ V/m}$ . Apabila ruang tersebut berisi suatu dielektrik, medannya berkurang menjadi  $1,2 \times 10^5 \text{ V/m}$ .

- Berapakah konstanta dielektrik tersebut?
- Jika  $Q = 10 \text{ nC}$ , berapakah luas keping?
- Berapakah muatan induksi total pada masing-masing muka dielektrik?

## Penyelesaian :

- a. Konstanta dielektriknya adalah :

$$\kappa = \frac{E_0}{E} = \frac{2,5 \times 10^5 \text{ V/m}}{1,2 \times 10^5 \text{ V/m}} = \boxed{2,08}$$

- b. Jika  $Q = 10 \text{ nC}$ , maka luas keping adalah :

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{E_0 \epsilon_0} \\ &= \frac{10 \text{ nC}}{(2,5 \times 10^5 \text{ V/m})(8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2)} \\ &= 4,52 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ &= \boxed{45,2 \text{ cm}^2} \end{aligned}$$

- c. muatan induksi total pada masing-masing muka dielektrik :

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_b}{\sigma_f} &= \frac{Q_b}{Q_f} = 1 - \frac{1}{\kappa} \\ Q_b &= \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) Q_f \\ &= \left(1 - \frac{1}{2,08}\right) (10 \text{ nC}) = \boxed{5,19 \text{ nC}} \end{aligned}$$

**Terima Kasih**