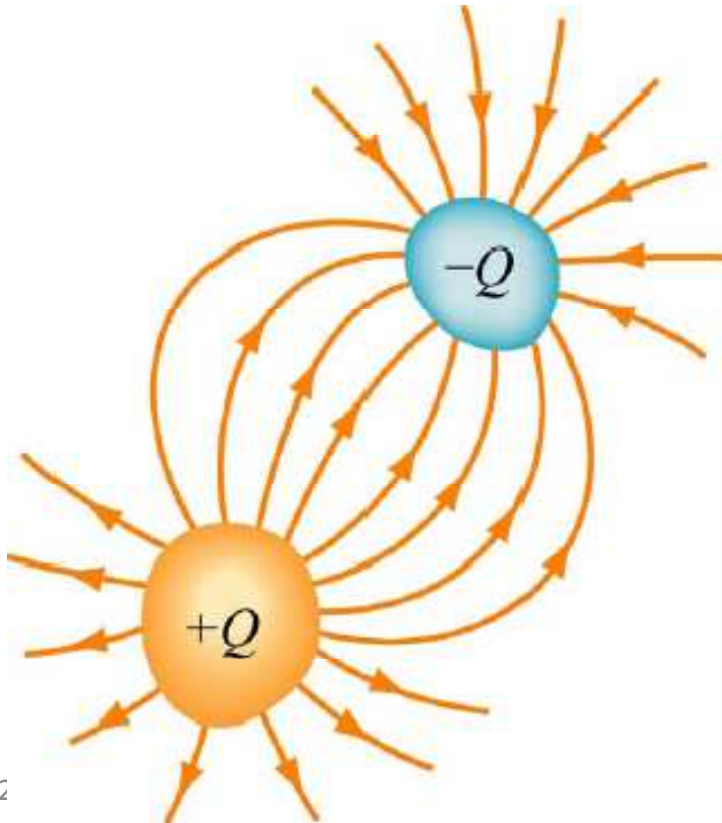


# **KAPASITOR**

MINGGU KE-5

# Kapasitor: Penyimpan Muatan & Energi Listrik

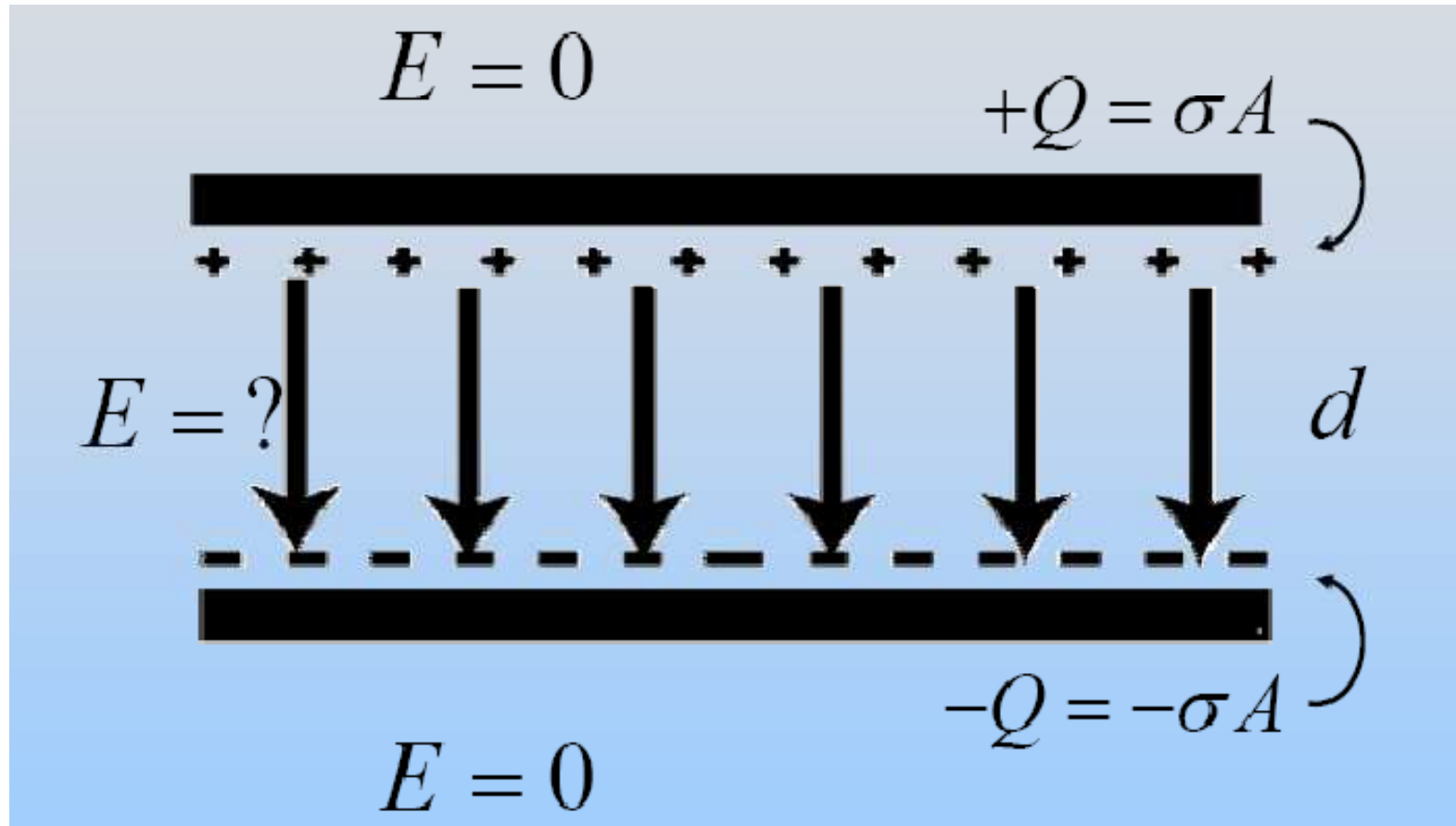
Kapasitor: dua konduktor terisolasi dengan muatan yang sama  $Q$  dan berbeda tanda dan beda potensial  $\Delta V$  diantaranya.



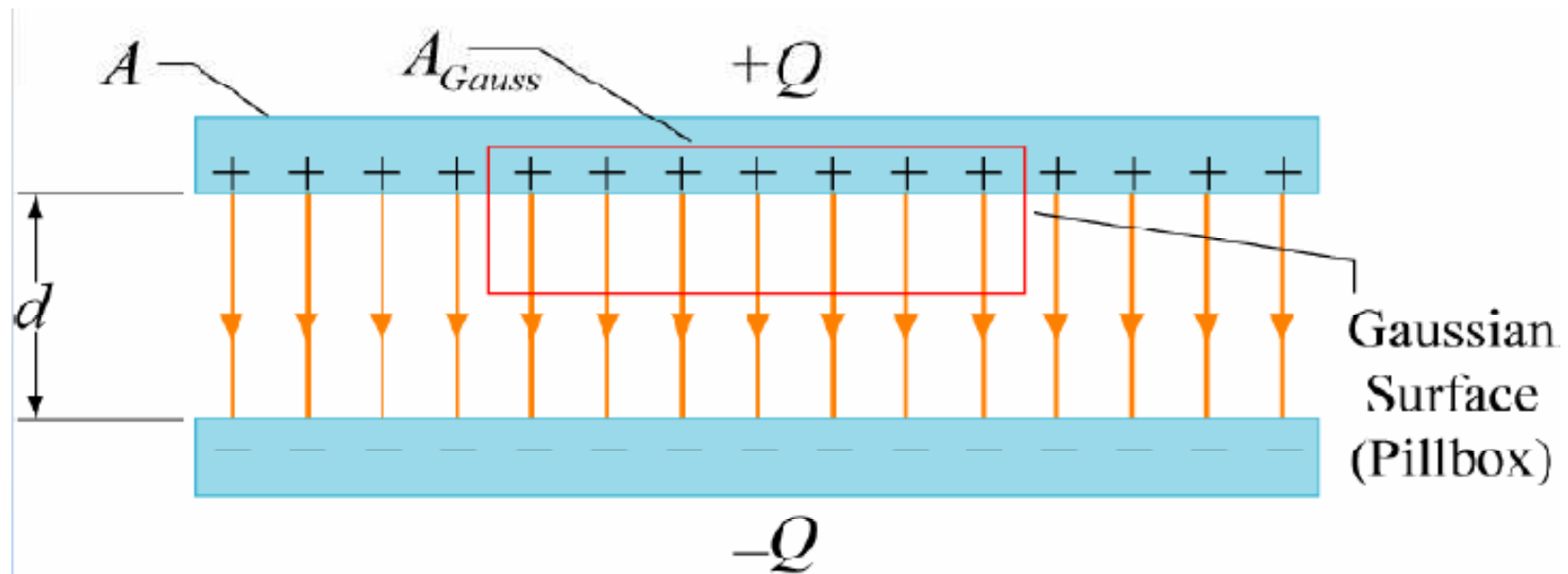
$$C = \frac{Q}{|\Delta V|}$$

Satuan: Coulomb/Volt atau Farad

# Kapasitor Plat Sejajar



# Menghitung E (Hukum Gauss)



$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} \quad E(A_{Gauss}) = \frac{\sigma A_{Gauss}}{\epsilon_0}$$

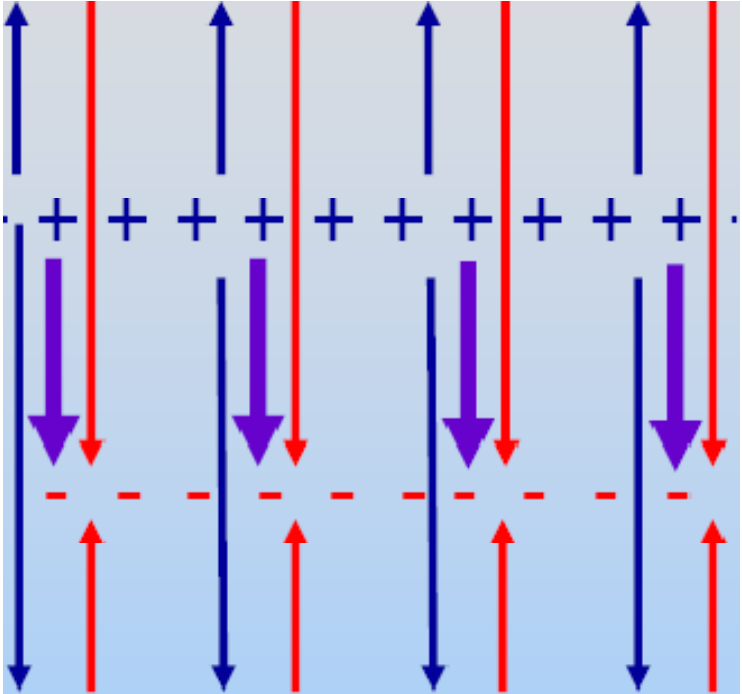
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$$

# Alternatif Pemecahan

Plat bagian atas:

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

Plat bagian bawah:

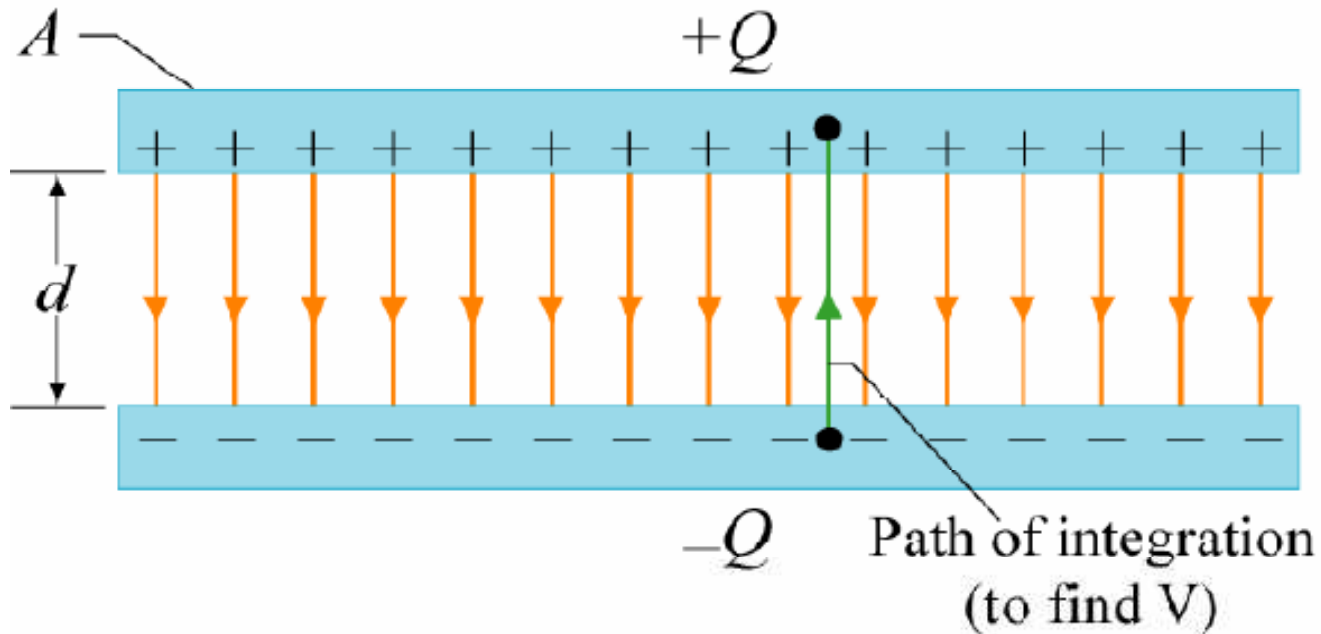
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$


The diagram illustrates a parallel plate capacitor with two horizontal plates. The top plate is marked with '+' signs and the bottom plate with '-' signs. Blue arrows represent the electric field from the top plate, pointing downwards. Red arrows represent the electric field from the bottom plate, pointing upwards. Purple arrows represent the net electric field, pointing downwards. The diagram is surrounded by equations for the electric field from each plate and the resulting net field.

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

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$$

# Kapasitor Plat Sejajar



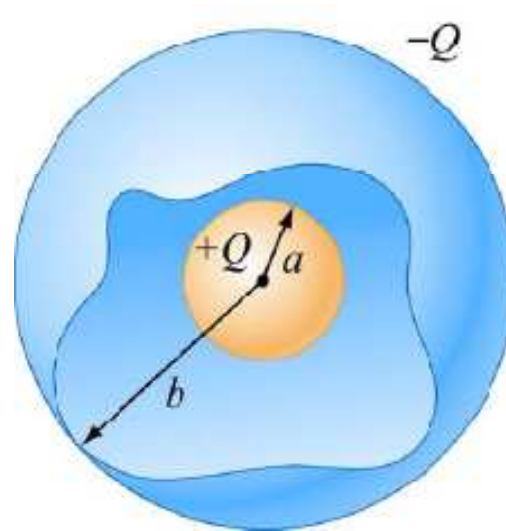
$$\Delta V = - \int_{bottom}^{top} \vec{E} \cdot d\vec{S} = Ed = \frac{Q}{A\epsilon_0} d$$

$$C = \frac{Q}{|\Delta V|} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

C hanya bergantung pada faktor geometri  $A$  dan  $d$

# Kapasitor Bola

Dua kulit bola konsentrik berradius  $a$  dan  $b$



Berapakah  $\mathbf{E}$ ?

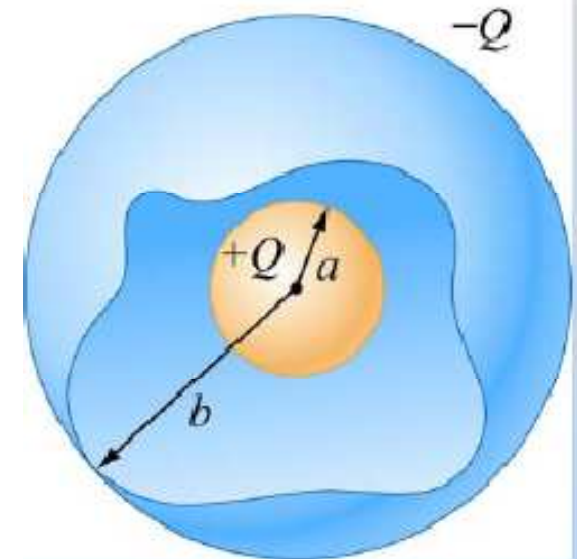
Hukum Gauss  $\rightarrow \mathbf{E} \neq 0$  hanya pada daerah  $a < r < b$ , bentuk  $\mathbf{E}$  mirip dengan yang dihasilkan oleh muatan titik:

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

# Kapasitor Bola

$$\Delta V = - \int_{\text{inside}}^{\text{outside}} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = - \int_a^b \frac{Q\hat{\mathbf{r}}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot dr \hat{\mathbf{r}} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)$$

$$C = \frac{Q}{|\Delta V|} = \frac{4\pi\epsilon_0}{\left( a^{-1} - b^{-1} \right)}$$



Untuk sebuah bola konduktor berradius  $a$ :

$$C = 4\pi\epsilon_0 a$$



# Kapasitansi Bumi

Untuk sebuah bola konduktor berradius  $a$ :

$$C = 4\pi\epsilon_0 a$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

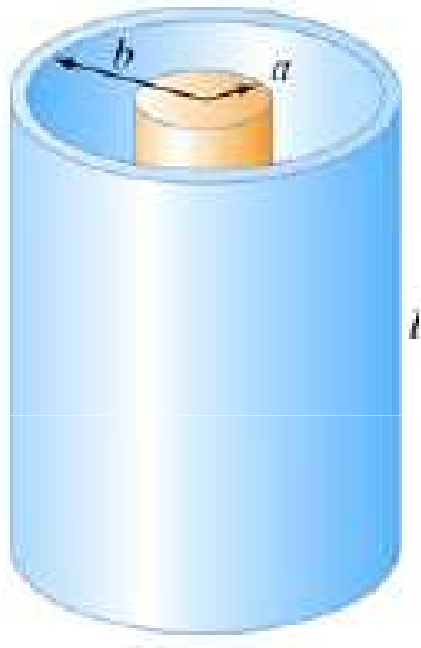
$$a = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$C = 7 \times 10^{-4} \text{ F} = 0.7 \text{ mF}$$

Satu Farad adalah sangat BESAR!

Kita biasa menggunakan pF( $10^{-12}$ ) atau nF( $10^{-9}$ )

# Kapasitor Silinder



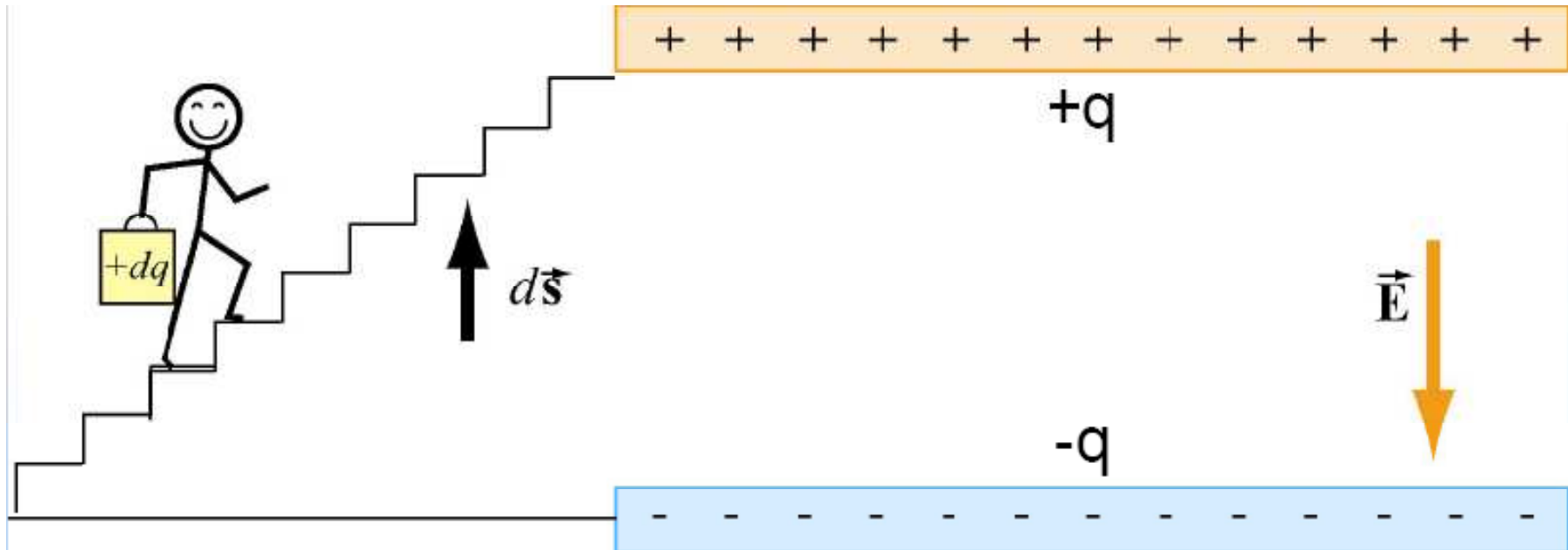
Dua kulit silinder konsentrik berradius  $a$  dan  $b$ , tingginya  $l$ . Kulit Silinder dalam bermuatan total  $Q$  ( $\lambda$  uniform) dan kulit silinder luar bermuatan total  $-Q$  ( $\lambda$  uniform)

Hitung Kapasitansi Sistem tersebut!

$$C = \frac{|Q|}{|\Delta V|} = \frac{|Q|}{\frac{|Q|}{2\pi\epsilon_0 l} \ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

- **Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor**

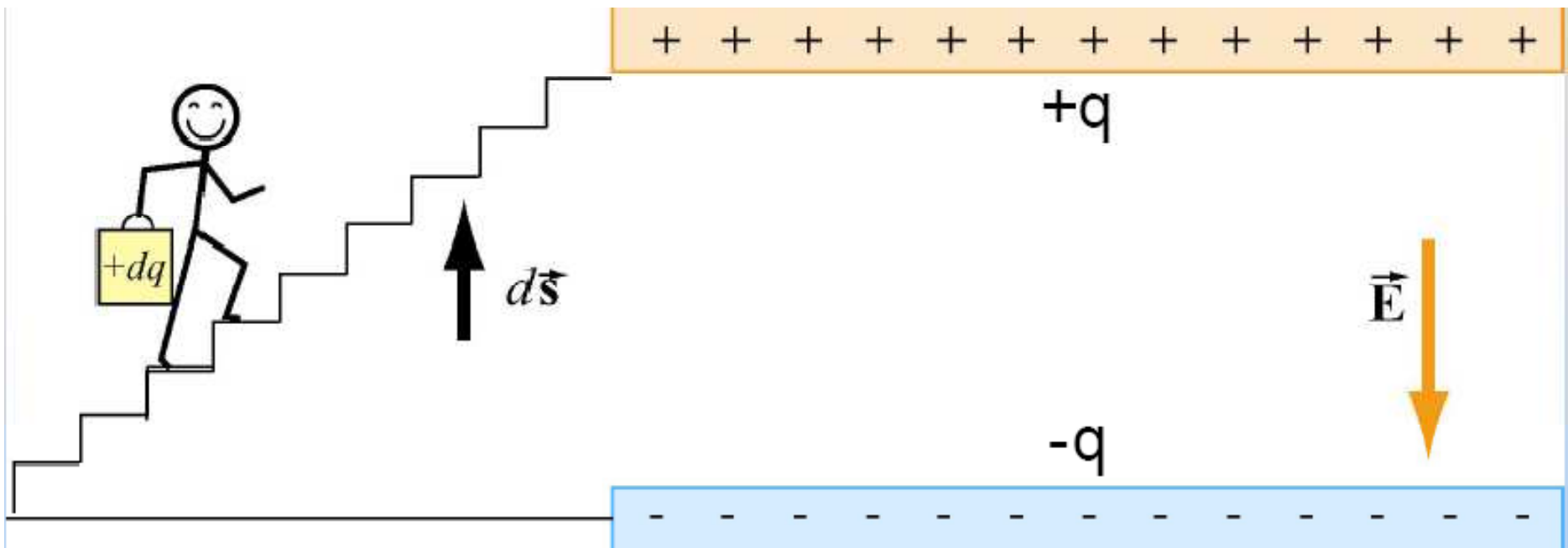
# Energi untuk Memuati Kapasitor



1. Kapasitor awalnya tidak bermuatan.
2. Bawa  $+dq$  dari bawah ke atas.  
Sekarang atas memiliki muatan  $q = +dq$ , bawah  $-dq$
3. Ulangi
4. Berhenti ketika atas memiliki muatan  $q = +Q$ , bawah  $-Q$

# Usaha yang Dilakukan untuk Memuati Kapasitor

- Pada suatu saat tertentu, plat atas  $+q$ , bawah  $-q$
- Beda potensialnya adalah  $\Delta V = q / C$
- Usaha yang dilakukan untuk membawa  $dq$  yang lain adalah  $dW = dq \Delta V$



# Usaha yang Dilakukan untuk Memuati Kapasitor

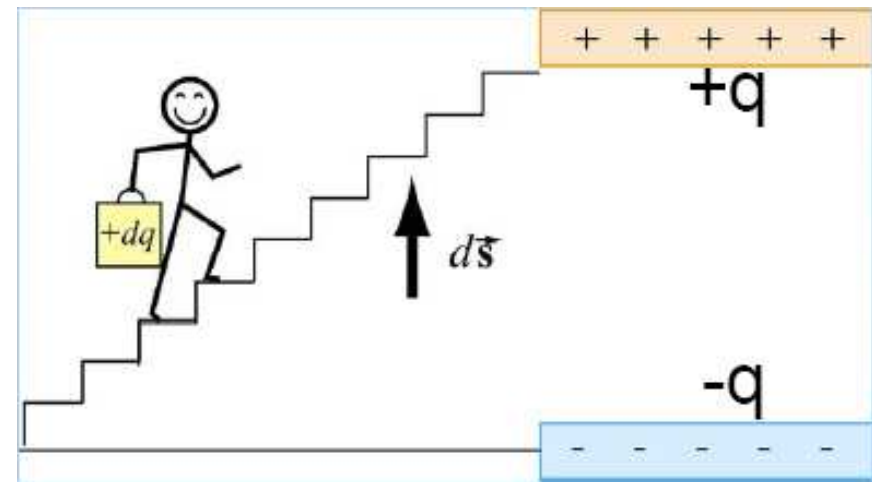
Sehingga usaha yang dilakukan untuk menggerakkan  $dq$  adalah is:

$$dW = dq \Delta V = dq \frac{q}{C} = \frac{1}{C} q dq$$

Energi Total untuk memuati sampai  $q = Q$ :

$$W = \int dW = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq$$

$$= \frac{1}{C} \frac{Q^2}{2}$$



# Energ yang Tersimpan dalam Kapasitor

Karena

$$C = \frac{Q}{|\Delta V|}$$

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q |\Delta V| = \frac{1}{2} C |\Delta V|^2$$

Dimanakah energi tersimpan???

# Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor

Energi disimpan dalam Medan Listrik!

Kapasitor plat sejajar:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \text{ and } V = Ed$$

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} (Ed)^2 = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} \times (Ad) = u_E \times (\text{volume})$$

$$u_E =$$

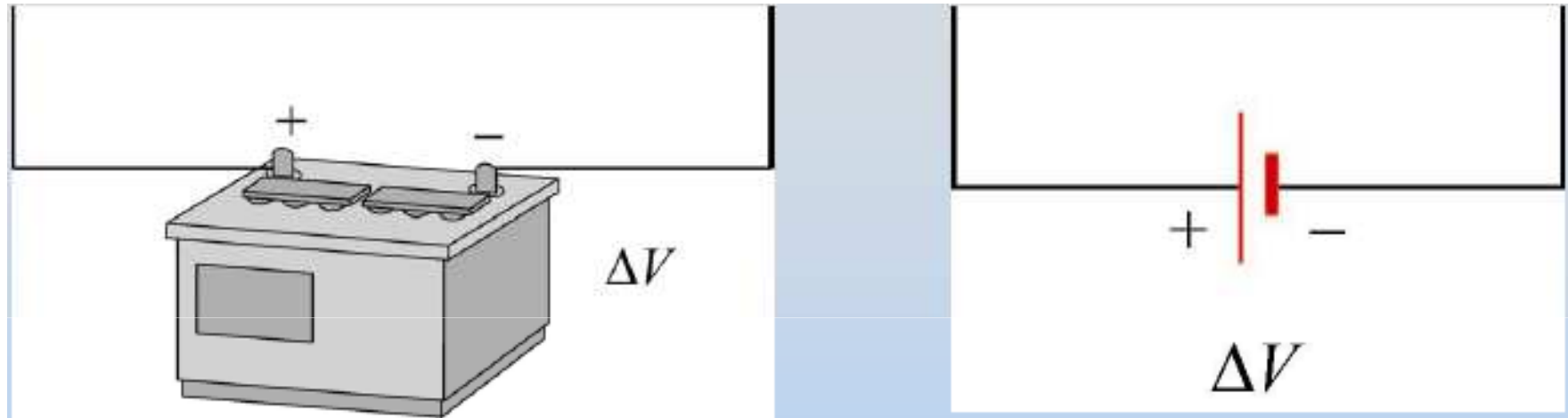
Rapat Energi Medan Listrik

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



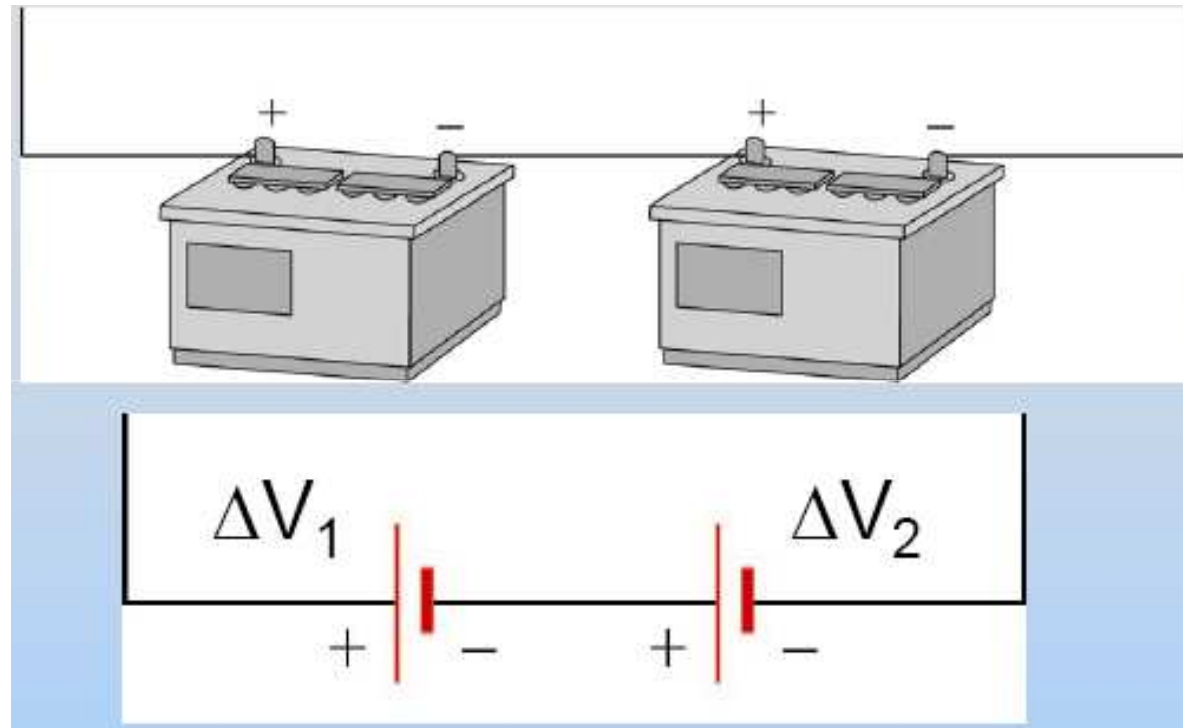
# **Baterei (Catu Daya) & Rangkaian Dasar**

# Batrei (Catu Daya) Ideal



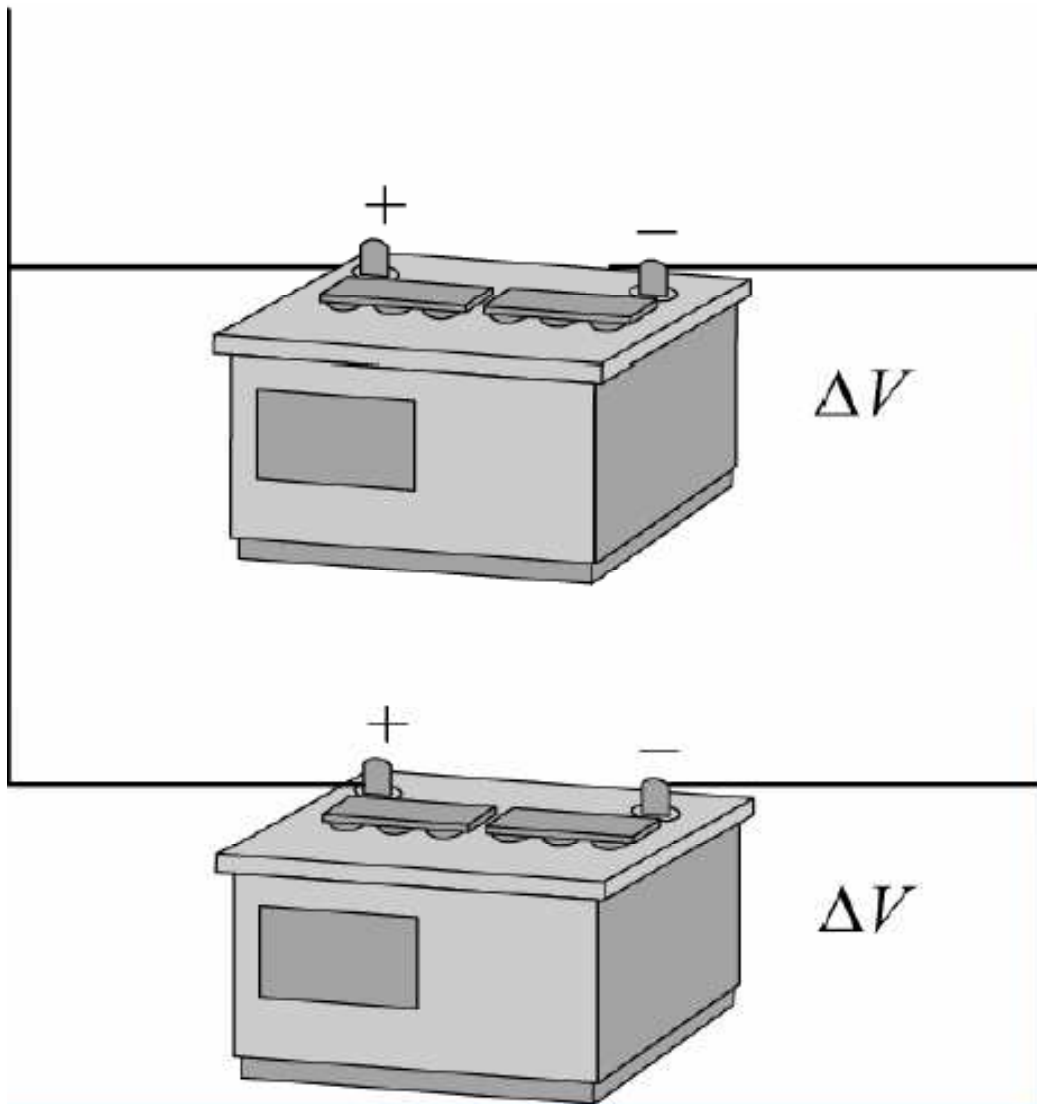
- Beda potensialnya tetap diantara ujung-ujungnya
- Sumber muatan sebanyak muatan yang diperlukan

# Susunan Batrei Seri



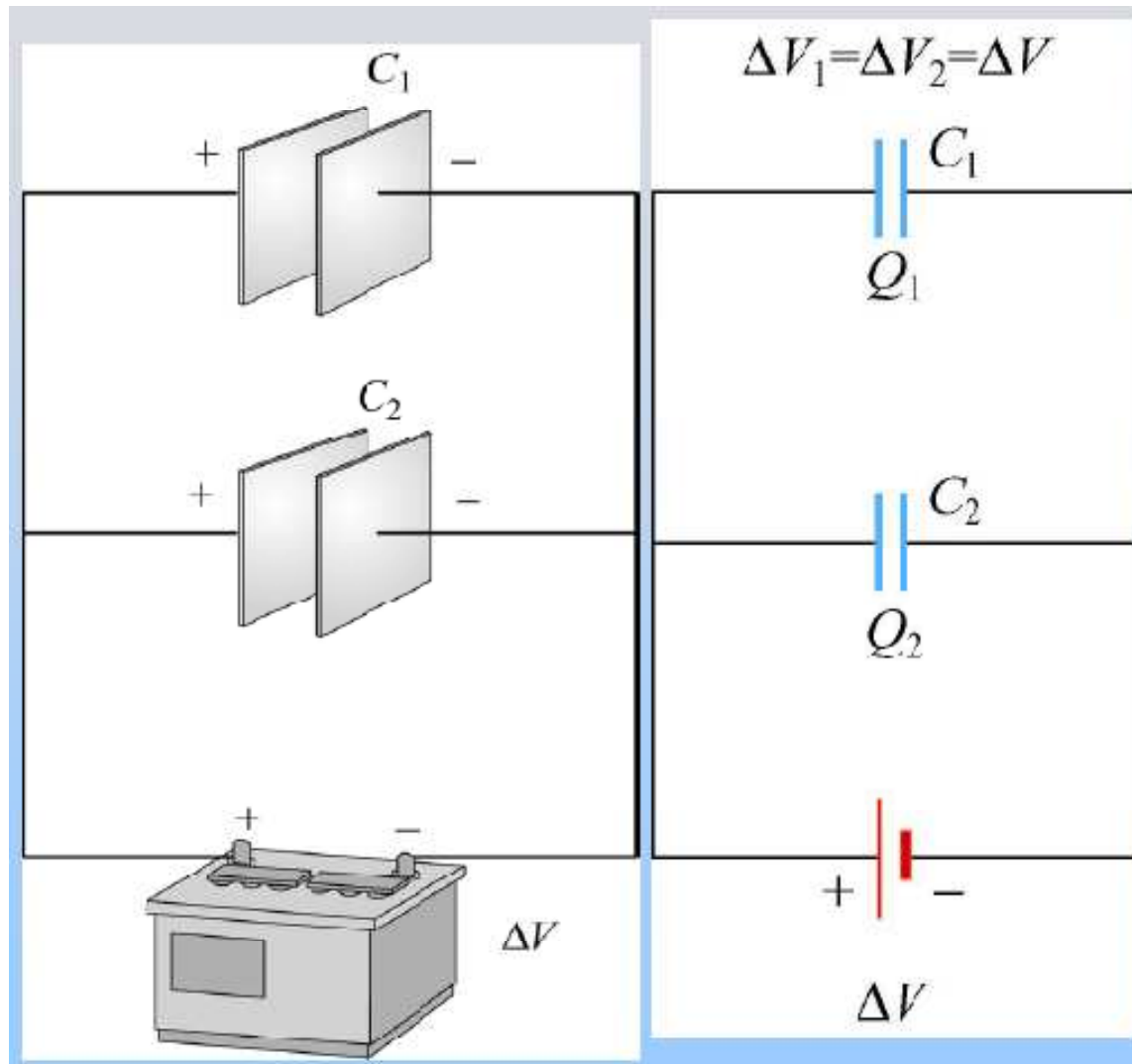
Beda potensial neto berubah yaitu  $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$

# Susunan Batrei Paralel



Beda potensial tetap  $\Delta V$   
**Don't do this!**

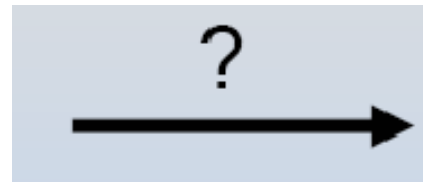
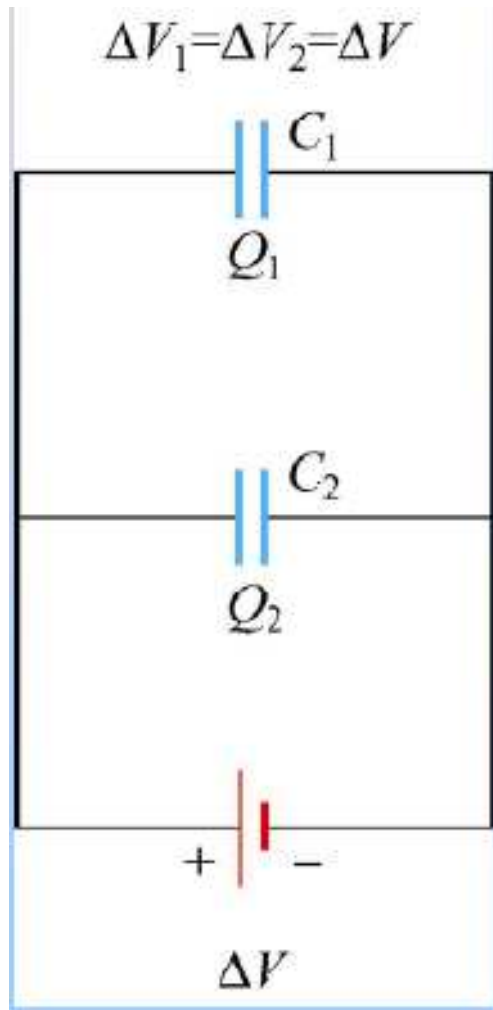
# Susunan Kapasitor Paralel



Potensial Sama!

$$C_1 = \frac{Q_1}{\Delta V}, \quad C_2 = \frac{Q_2}{\Delta V}$$

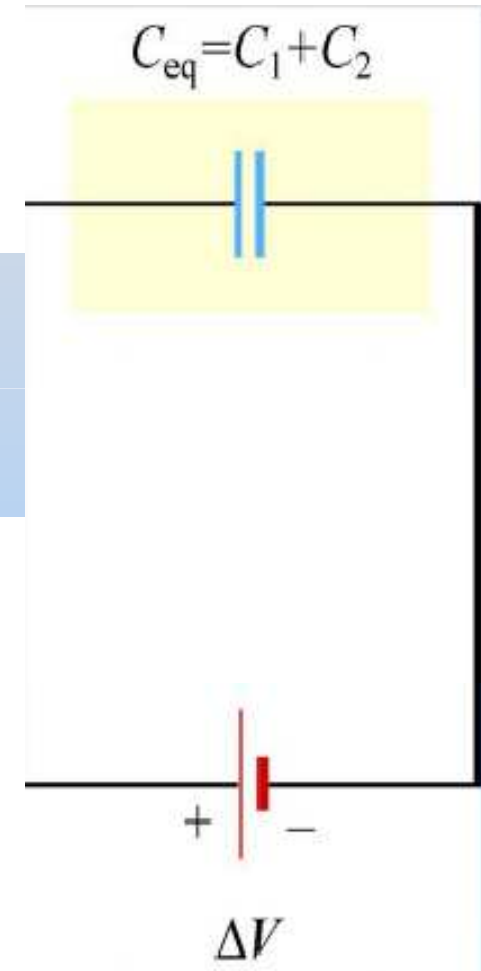
# Kapasitansi Equivalen



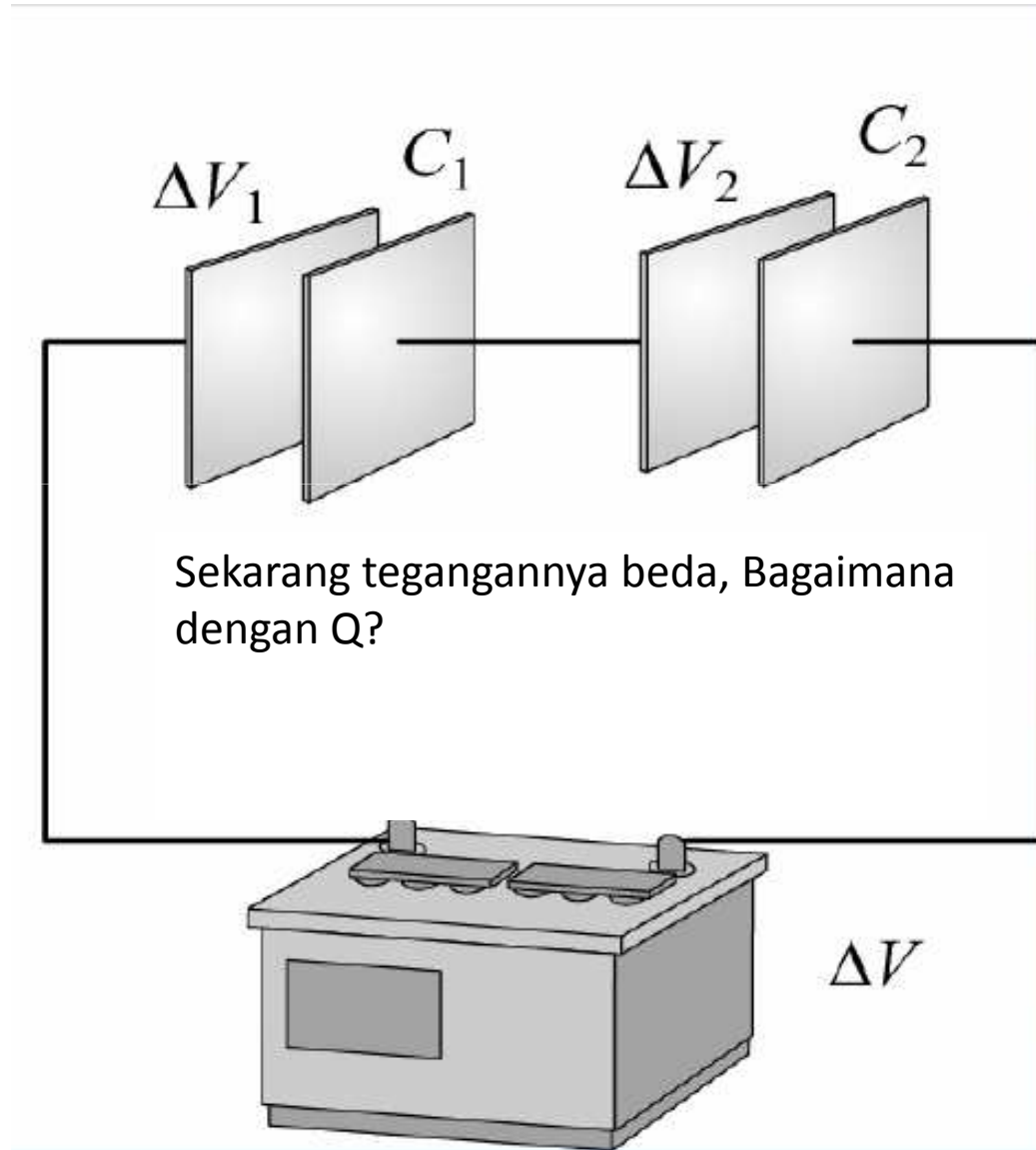
$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$$
$$= (C_1 + C_2) \Delta V$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{\Delta V} = C_1 + C_2$$

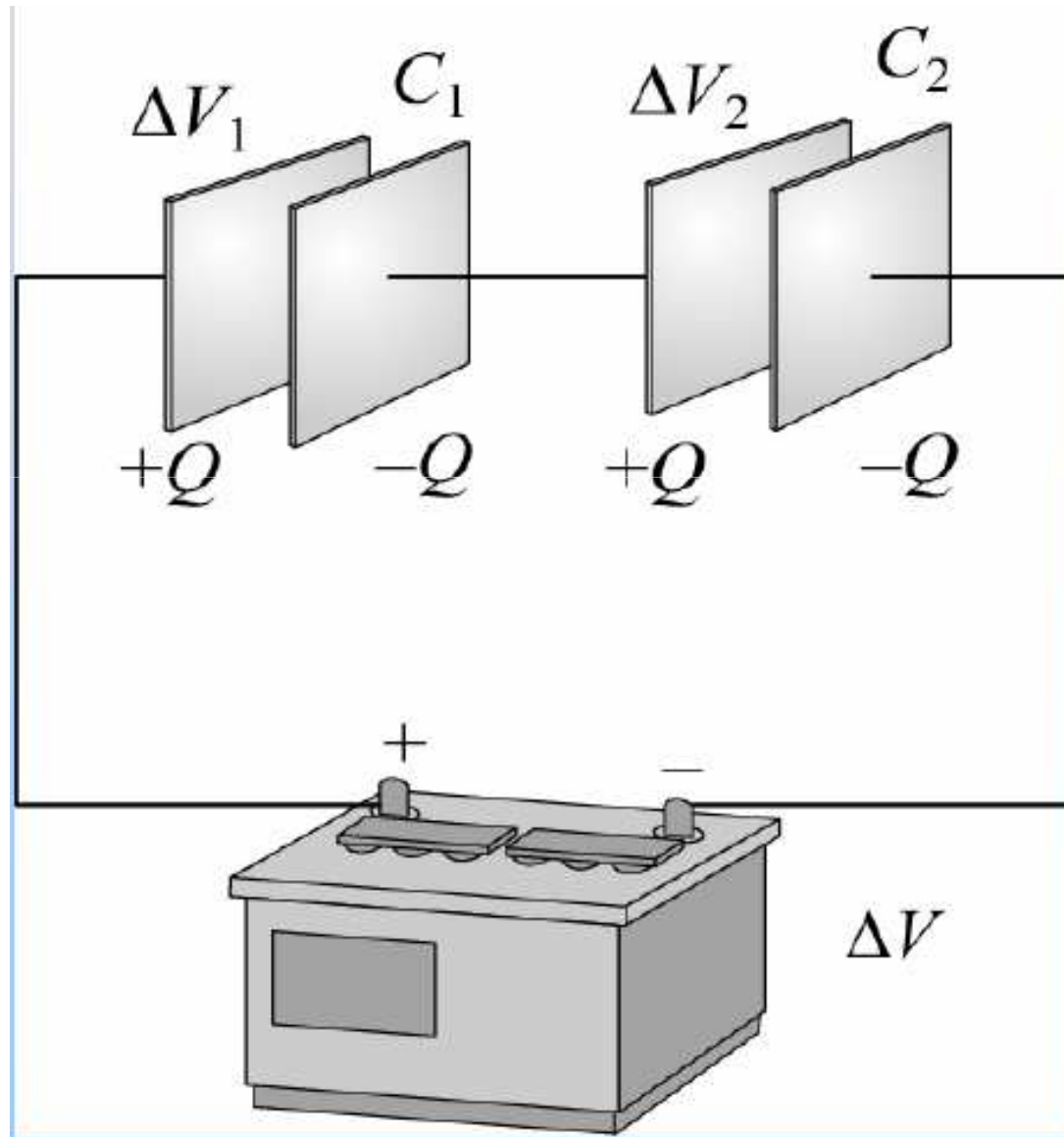
Animasi 5.1



# Susunan Kapasitor Seri

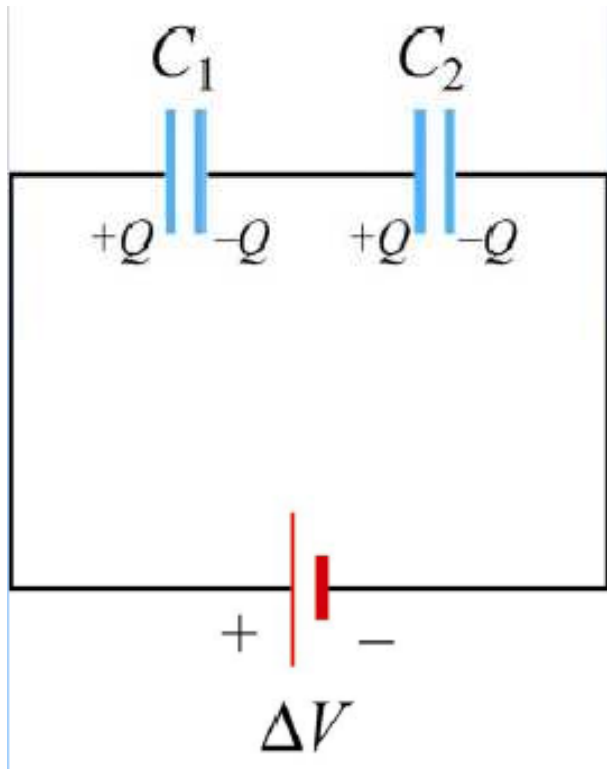


# Susunan Kapasitor Seri





# Kapasitansi Equivalen



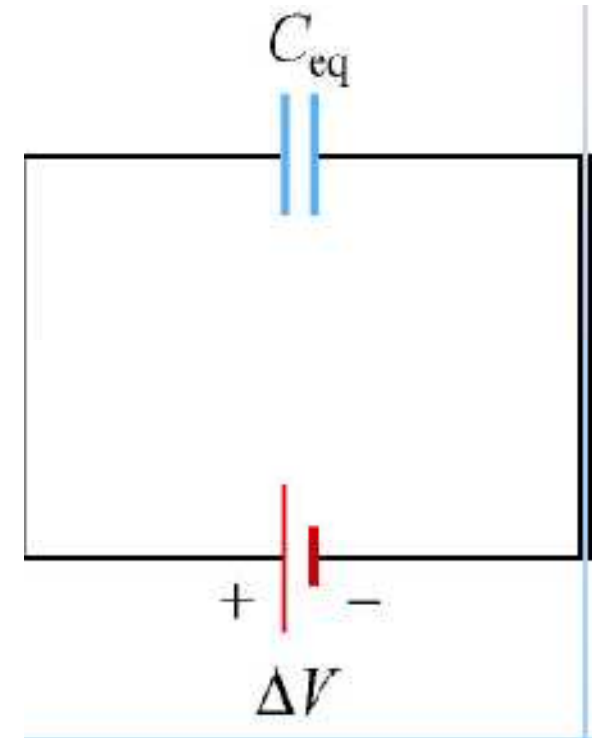
$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

(Tegangan dijumlahkan pada susunan seri)

$$\Delta V = \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

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



Animasi 5.2

# Dielektrik

Sebuah bahan dielektrik adalah bahan non konduktor atau insulator

Contoh: karet, kaca, kertas

Ketika dielektrik ditempatkan pada kapasitor bermuatan, beda potensial diantara dua plat akan berkurang

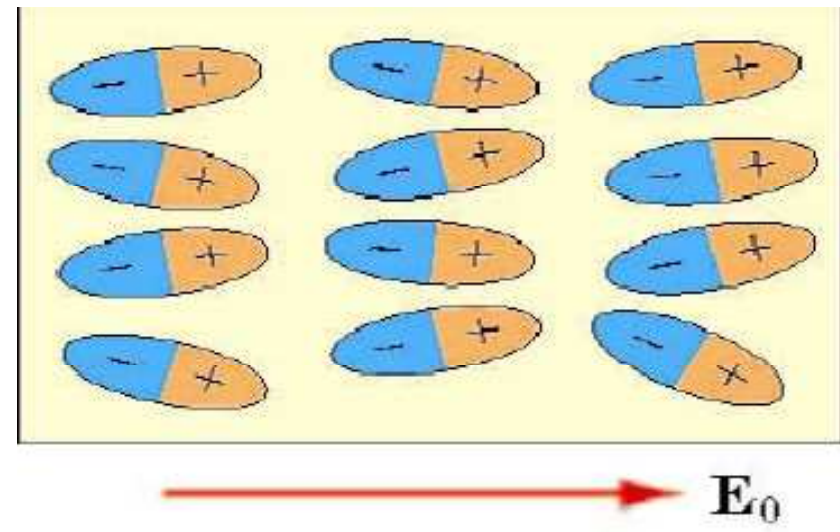
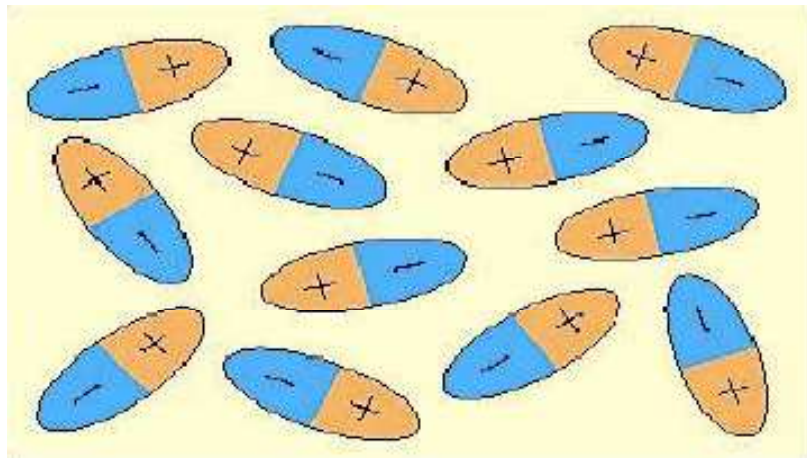
HOW???

# Tinjauan Molekular dari Dielektrik

## Dielektrik Polar :

Dielektrik dengan momen dipol listrik permanen

Contoh: Air

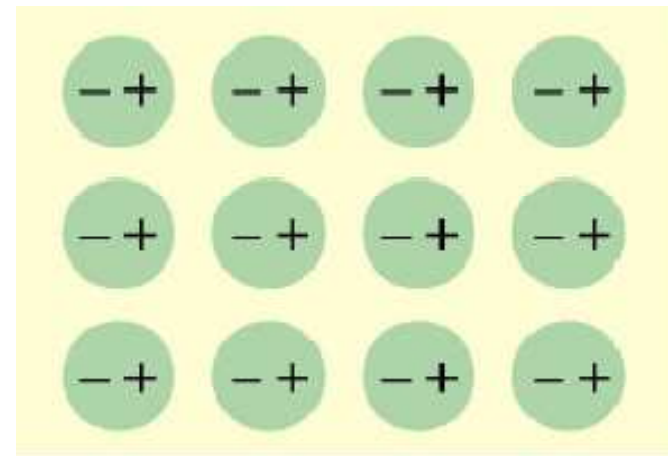
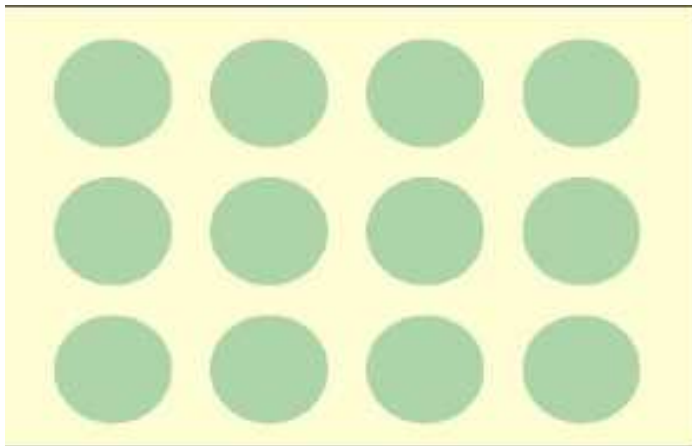


# Tinjauan Molekular dari Dielektrik

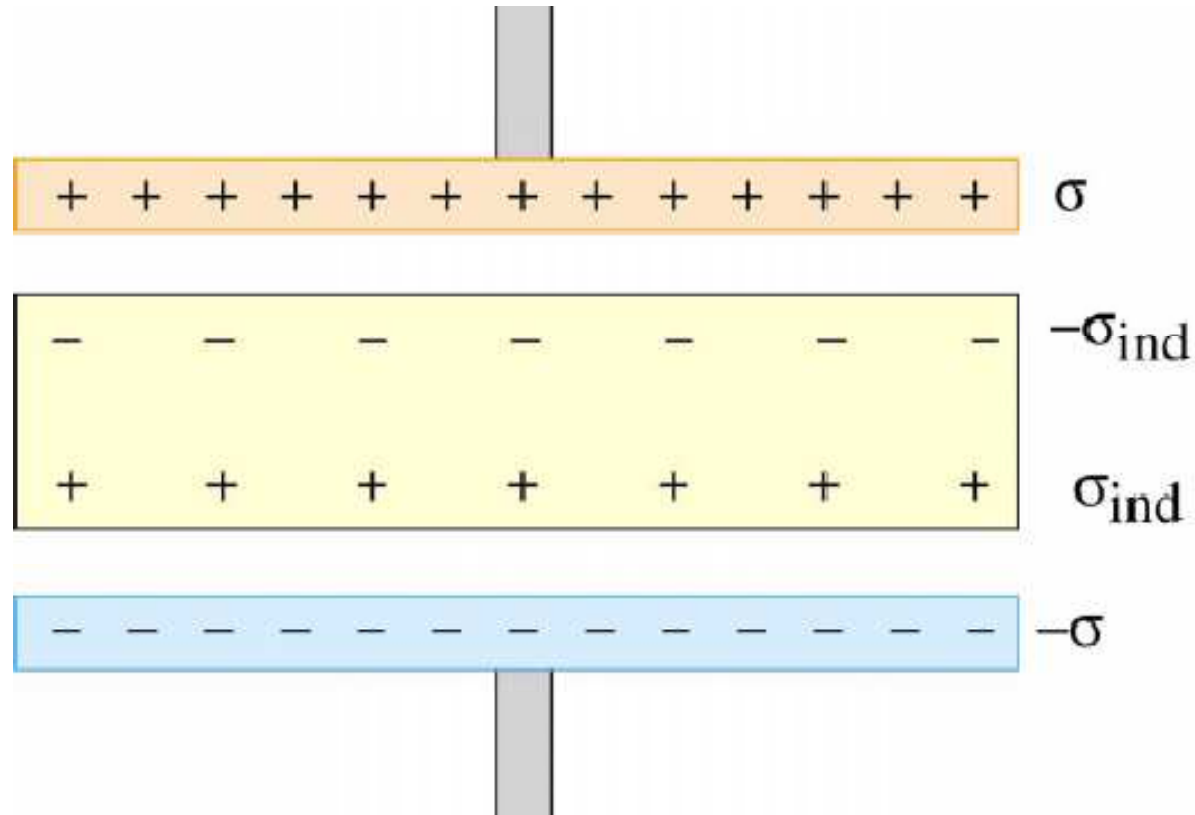
## Dielektrik Non-Polar:

Dielektrik dengan momen dipol listrik terinduksi

Example:  $\text{CH}_4$

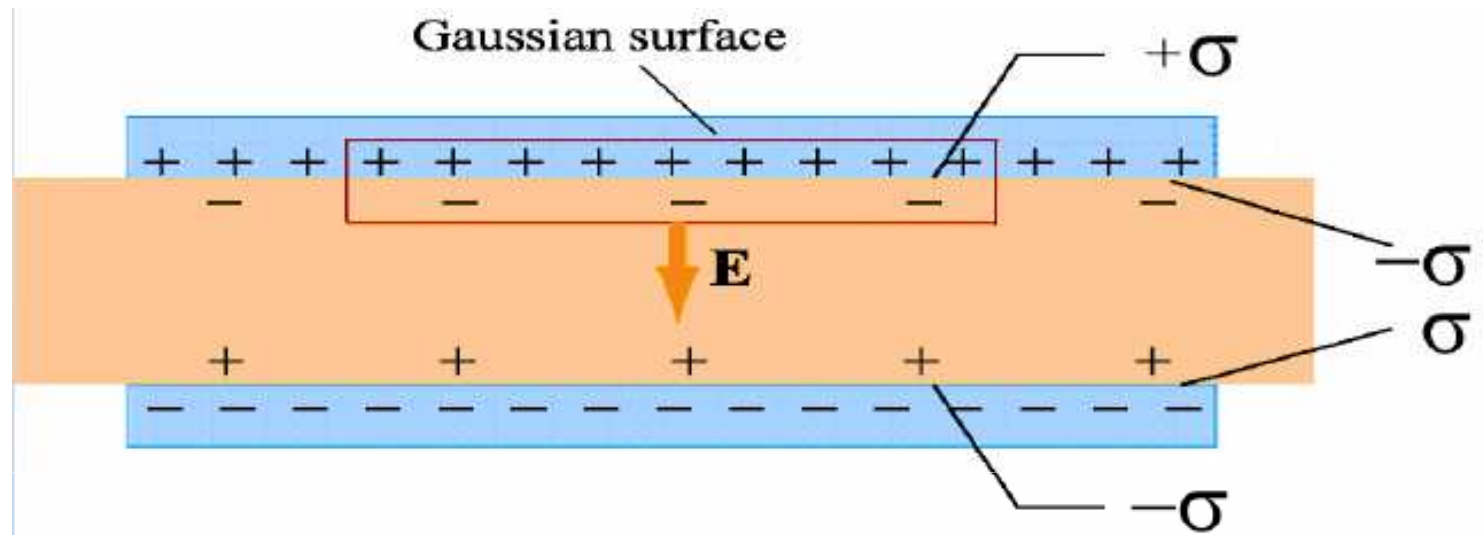


# Dielektrik dalam Kapasitor



Beda Potensial berkurang karena polarisasi dielektrik menurunkan besar medan listrik!

# Hukum Gauss untuk Dielektrik



Ketika memasukan dielektrik, rapat muatan  $\sigma$  terinduksi pada permukaannya

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA = \frac{q_{inside}}{\epsilon_0} =$$

$$\frac{(\sigma - \sigma')A}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma - \sigma'}{\epsilon_0}$$

Apa itu  $\sigma'$ ?

# Konstanta Dielektrik $\kappa$

Dielektrik *menurunkan* besar medan awal oleh faktor  $\kappa$

$$E = \frac{\sigma - \sigma'}{\epsilon_0} \equiv \frac{E_0}{\kappa} = \frac{\sigma}{\kappa\epsilon_0} \Rightarrow \sigma' = \sigma \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right)$$

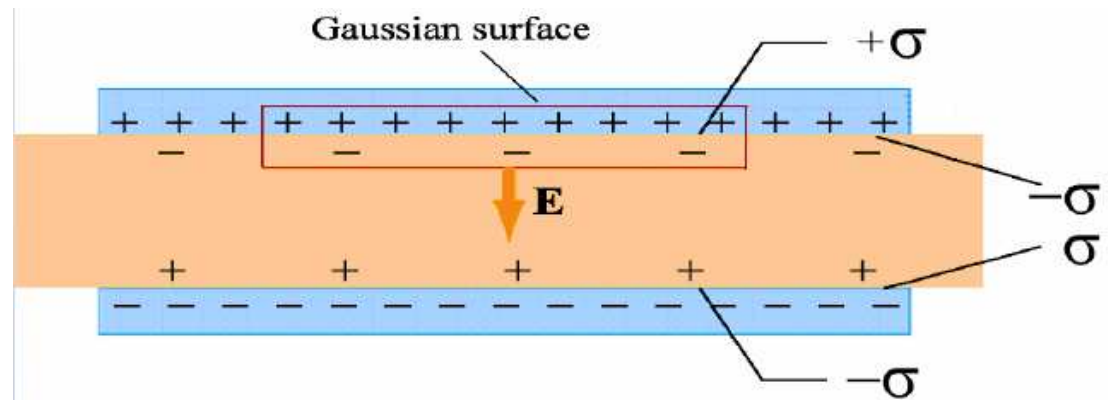
Hukum Gauss dengan dielektrik:

$$\oiint_S \kappa \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{inside}^{free}}{\epsilon_0}$$

## Konstanta Dielektrik

Vakum	1.0
Kertas	3.7
Gelas Pyrex	5.6
Air	80

# E, P dan D



$$\oiint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = EA = \frac{q_{inside}}{\epsilon_0} = \frac{(\sigma - \sigma')A}{\epsilon_0} = \frac{q - q'}{\epsilon_0}$$

$$\mathbf{E} = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A} \rightarrow \frac{q}{A} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \frac{q'}{A} \rightarrow \mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

$$\mathbf{D} = \frac{q}{A} \text{ dan } \mathbf{P} = \frac{q'}{A}$$



# E, P dan D

Karena E adalah vektor, maka D dan P juga vektor:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$\vec{D}$  = Pergeseran Listrik (electric displacement)

"berkaitan dengan muatan bebas"

$\vec{P}$  = Polarisasi Listrik

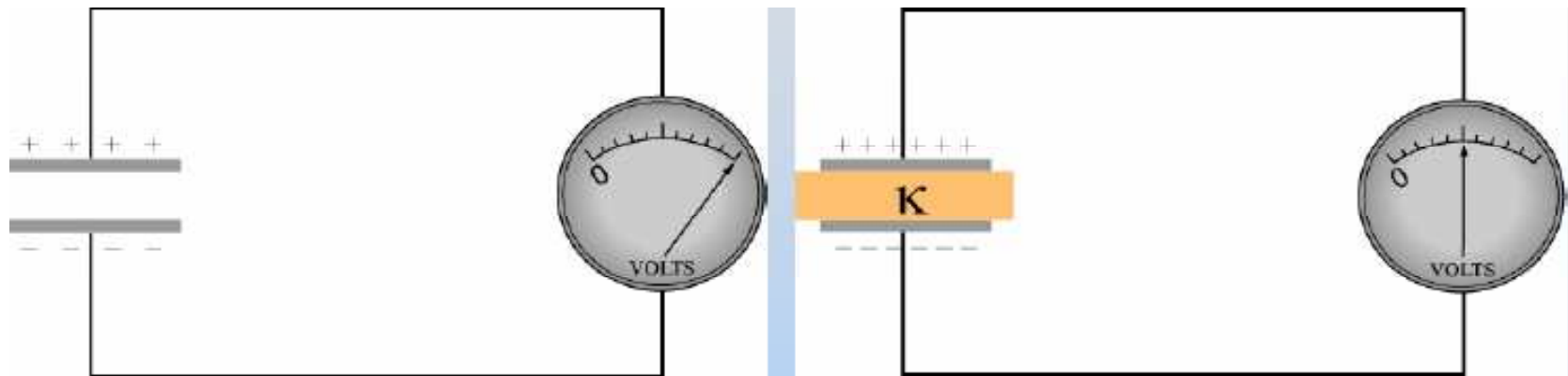
"berkaitan dengan muatan polarisasi"

$\vec{E}$  = Medan Listrik dalam dielektrik

"berkaitan dengan semua muatan yang ada,  
baik bebas maupun polarisasi"

# Dielektrik dalam Kapasitor

$Q_0$  = Konstan setelah batrei diputus



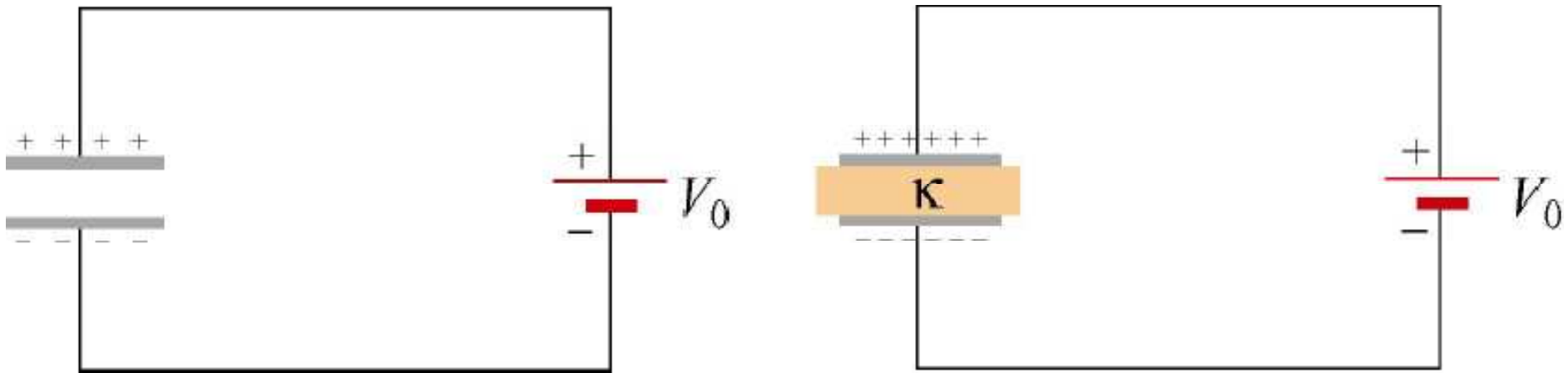
Ketika dimasukan dielektrik:

$$V = \frac{V_0}{K}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q_0}{V_0 / K} = K \frac{Q_0}{V_0} = K C_0$$

# Dielektrik dalam Kapasitor

$V_0$  = Konstan ketika batrei tetap terhubung

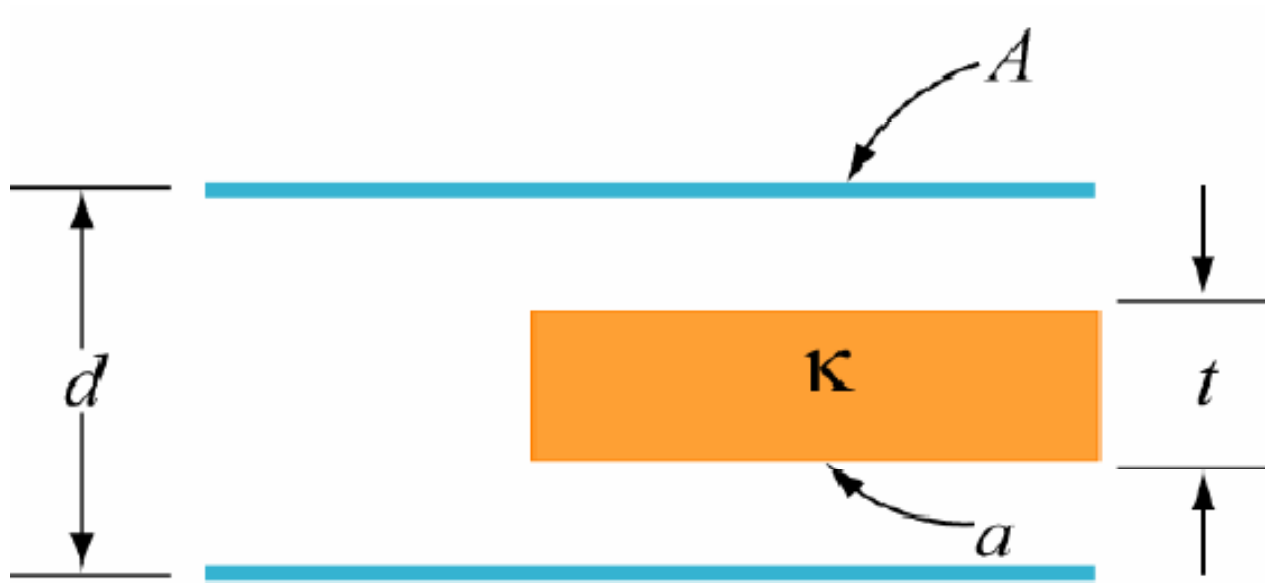


$$C = \frac{Q}{V} = \kappa C_0 = \kappa \frac{Q_0}{V_0}$$

Setelah dimasukan dielektrik:

$$Q = \kappa Q_0$$

# Problem



Berapa kapasitansi sistem kapasitor berikut?