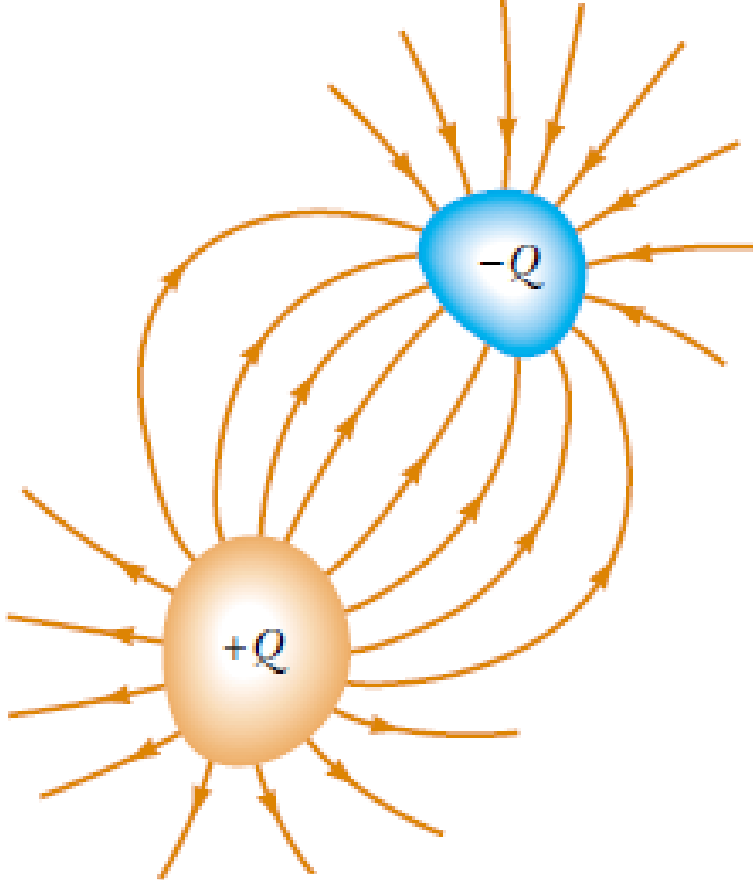


Kapasitor

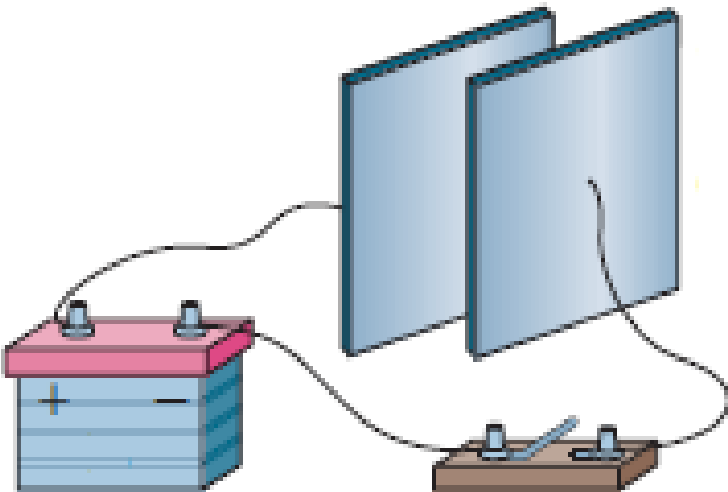




# Kapasitor

---

- Kapasitor merupakan perangkat yang dapat menyimpan energi dalam medan listrik
- Secara umum kapasitor terbentuk dari dua buah konduktor yang diberi muatan (sama besar tapi berbeda jenis) dan terpisah oleh suatu bahan isolator (dinamakan bahan dielektrik). Bentuknya dapat bermacam-macam.
- Proses pemberian muatan (pengisian) kapasitor dilakukan dengan menghubungkan kapasitor (masing-masing konduktor) dengan sumber tegangan (beda potensial) tertentu.



# Kapasitansi suatu kapasitor

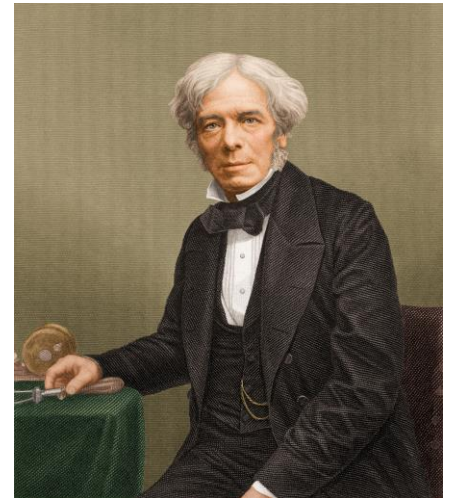
- Muatan yang tersimpan dalam suatu sistem kapasitor sebanding dengan besar beda potensial yang diberikan

$$Q \propto \Delta V$$

- Faktor kesebandingan antara muatan yang tersimpan dengan beda potensial yang diberikan dinamakan **kapasitansi** (*capacitance*) **atau kapasitas**, yang menyatakan kemampuan (kapasitas) kapasitor untuk menyimpan muatan, disimbolkan dengan  $C$

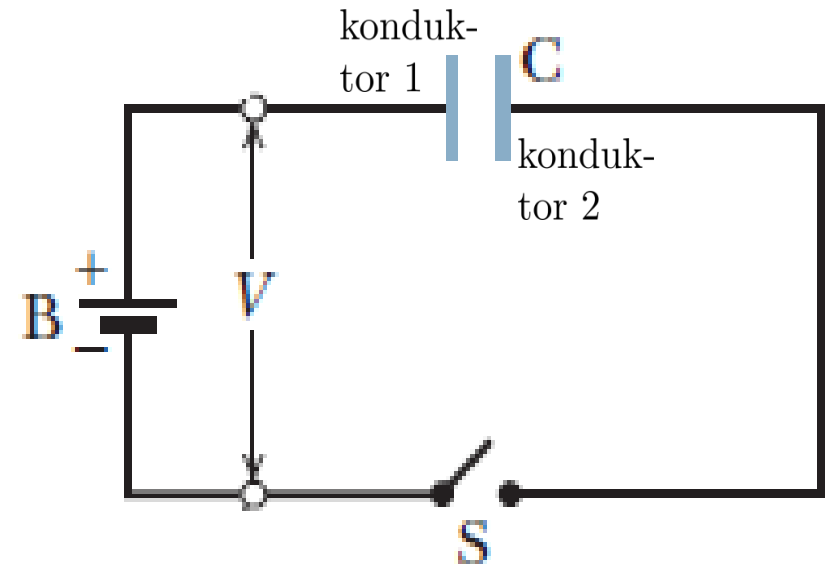
$$Q = C\Delta V$$

- Satuan kapasitansi (*capacitance*), dalam SI, adalah coulomb/volt ( $C/V$ ) atau farad (F)



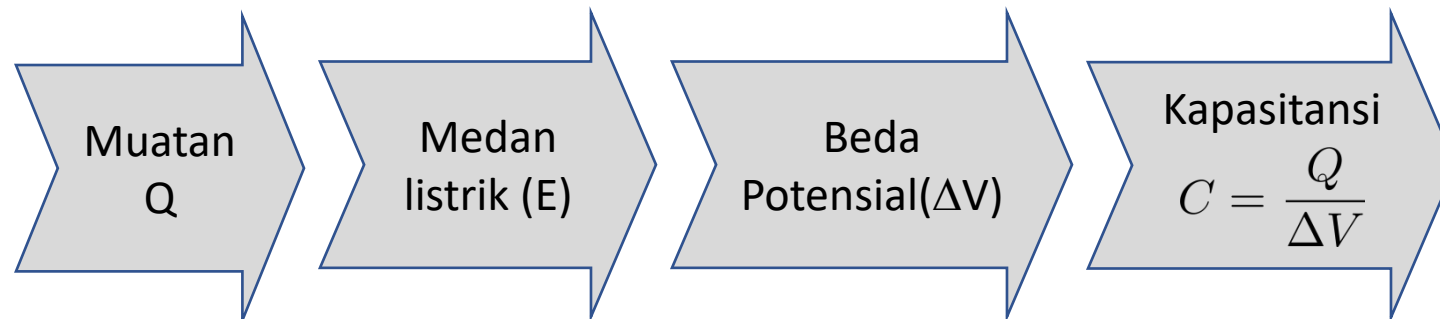
# Pengisian Kapasitor

- Pengisian kapasitor dilakukan dengan menghubungkan konduktor pada kapasitor dengan sumber tegangan (beda potensial)
- Ketika saklar ditutup medan listrik dari baterai membuat elektron dari konduktor 1 tertarik ke terminal + baterai. Akibatnya konduktor 1 menjadi kehilangan elektron (bermuatan +). Selain itu medan listrik dari baterai juga mendorong elektron dari baterai ke konduktor 2. Akibatnya konduktor 2 menjadi kelebihan elektron (bermuatan -).



# Kapasitansi Berbagai Macam Kapasitor

- Untuk menentukan kapasitansi suatu kapasitor:
  - Tentukan medan listrik akibat konduktor yang bermuatan (anggap masing-masing konduktor bermuatan sebesar  $Q$ ). Dapat diperoleh menggunakan hukum Gauss ataupun hukum Coulomb
  - Tentukan beda potensial antara kedua konduktor
  - Tentukan kapasitansi sistem kapasitor tersebut dengan mengingat bahwa kapasitansi merupakan perbandingan antara muatan dengan beda potensial yang terjadi



# Beda Potensial antar permukaan konduktor kapasitor

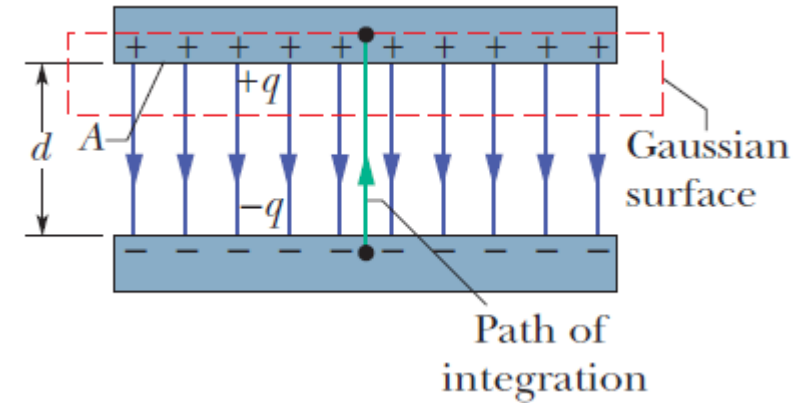
- Notasi beda potensial secara umum:

$$V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Integral dievaluasi sepanjang lintasan antar plat.

Biasanya dipilih lintasan yang berasal dari plat negatif ke plat positif, sehingga  $\vec{E} \cdot d\vec{s}$  akan bernilai  $-Eds$

$$V = V_f - V_i = \int_-^+ Eds$$



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0 + EA + 0 + 0 + 0 + 0 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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

# Kapasitansi Kapasitor Keping Sejajar

- Medan listrik dekat permukaan oleh keping (lempeng) yang sangat besar, bermuatan  $Q$  dan luas permukaan  $A$

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

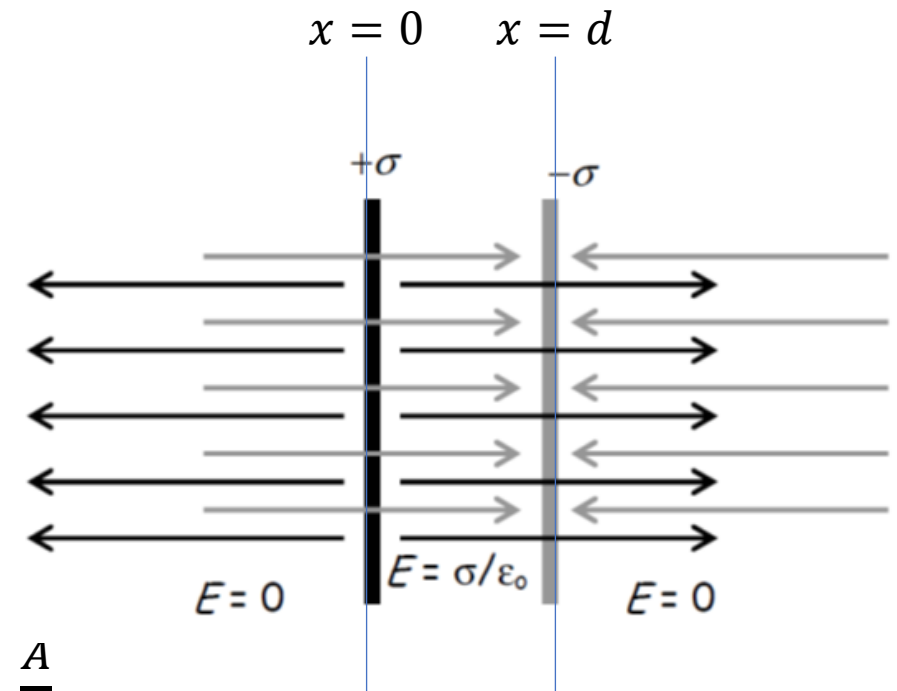
Medan listrik di antara kedua keping lempeng

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

Beda Potensial antar keping:

$$\Delta V = \int_0^d E ds = Ed$$

$$\text{Diperoleh: } C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{E\epsilon_0 A}{Ed} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$





# contoh

Berapakah luas kapasitor plat sejajar yang mempunyai kapasitansi 1F, apabila kedua plat dipisah sejauh 1 m?

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow 1 F = 8,85 \times 10^{-12} \frac{A}{1 m}$$

$$\Rightarrow A = \frac{1}{8,85 \times 10^{-12}} = 1,13 \times 10^{11} m^2$$

Luas Indonesia: 1,905 juta km<sup>2</sup> = 2 × 10<sup>6</sup> × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>

# Kapasitansi Kapasitor Silinder

- Medan listrik pada ruang antar kedua konduktor (jarak  $r$  dari konduktor dalam)

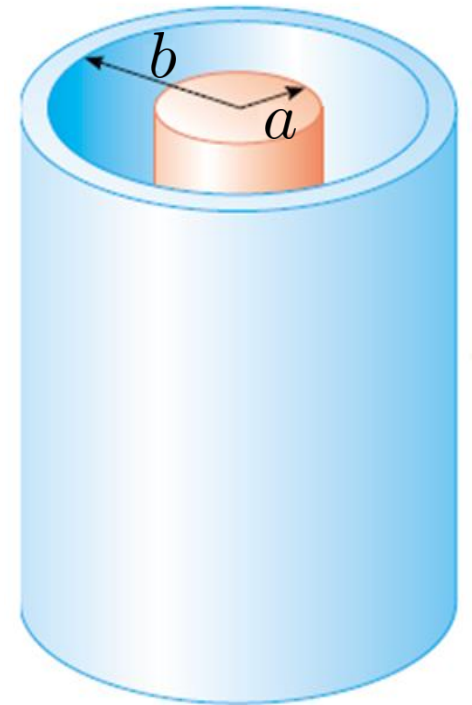
$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r}$$

- Beda potensial antara dua permukaan silinder:

$$\Delta V = \int_{-}^{+} E ds = - \int_b^a \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r} dr$$
$$\Delta V = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

- Sehingga:

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



# Kapasitansi Kapasitor Bola

- Medan listrik pada ruang antara kedua konduktor

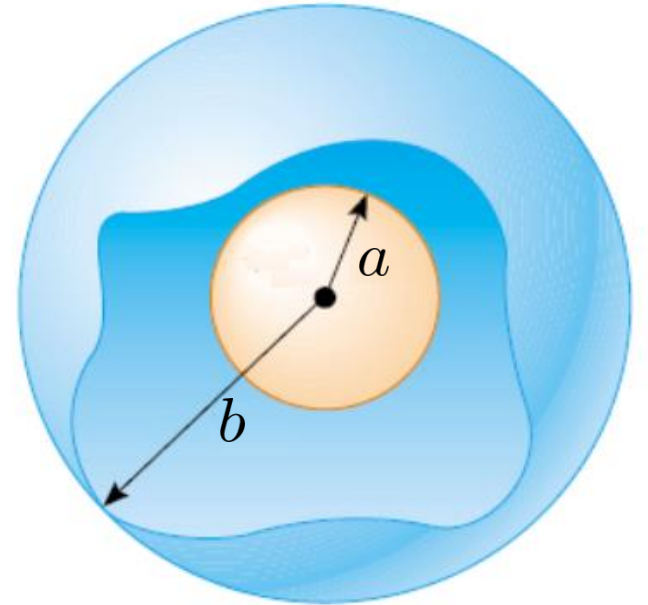
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Beda Potensial:

$$\Delta V = \int_{-}^{+} E ds = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \int_b^a \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

$$\Delta V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{b-a}{ab} \right)$$

$$\text{Kapasitansi: } C = \frac{Q}{\Delta V} = 4\pi\epsilon_0 \left( \frac{ab}{b-a} \right)$$



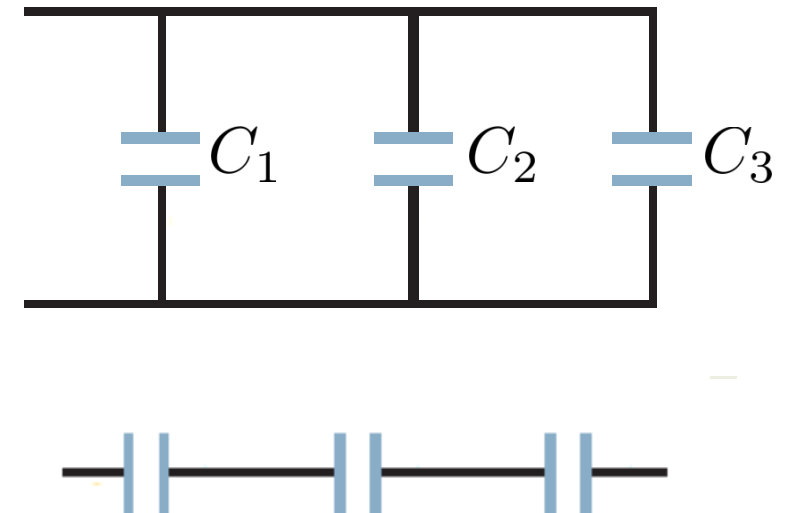
# Kapasitansi Bola terisolasi

- Kita dapat menghitung kapasitansi bola terisolasi jejari  $R$  dengan menganggap plat luar dengan jejari  $b$  memiliki nilai tak hingga.

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{Rb}{b - R} = 4\pi\epsilon_0 \left( \frac{R}{1 - \frac{R}{b}} \right) = 4\pi\epsilon_0 R$$

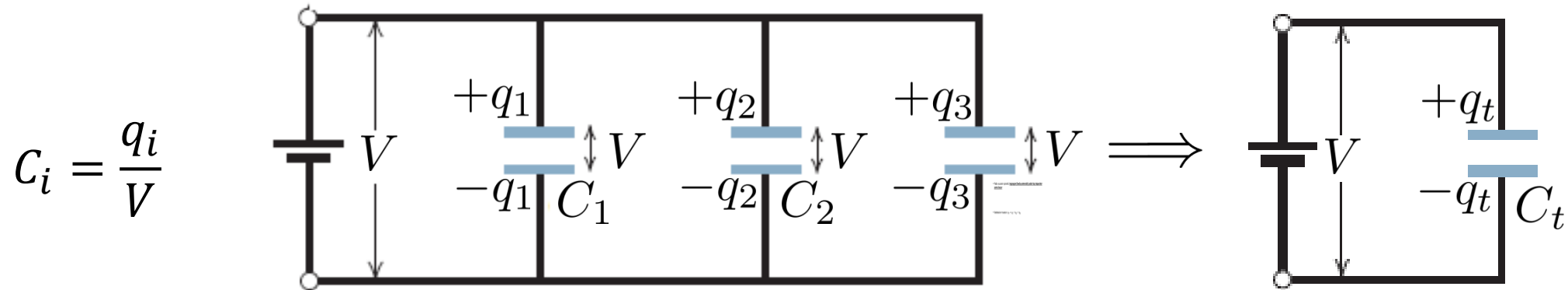
# Susunan Kapasitor

- Dalam rangkaian listrik dua atau lebih kapasitor dikombinasikan. Susunan beberapa kapasitor ini memberikan suatu “kapasitor baru” dengan nilai kapasitansi yang juga baru, diistilahkan sebagai kapasitansi ekuivalen atau kapasitansi pengganti atau kapasitansi total susunan kapasitor
- Ada dua macam kombinasi dasar kapasitor:
  - Kombinasi (susunan) paralel
  - Kombinasi (susunan) seri



# Susunan Kapasitor: paralel

- Pada susunan paralel, **tegangan (beda potensial) pada tiap kapasitor sama besar**



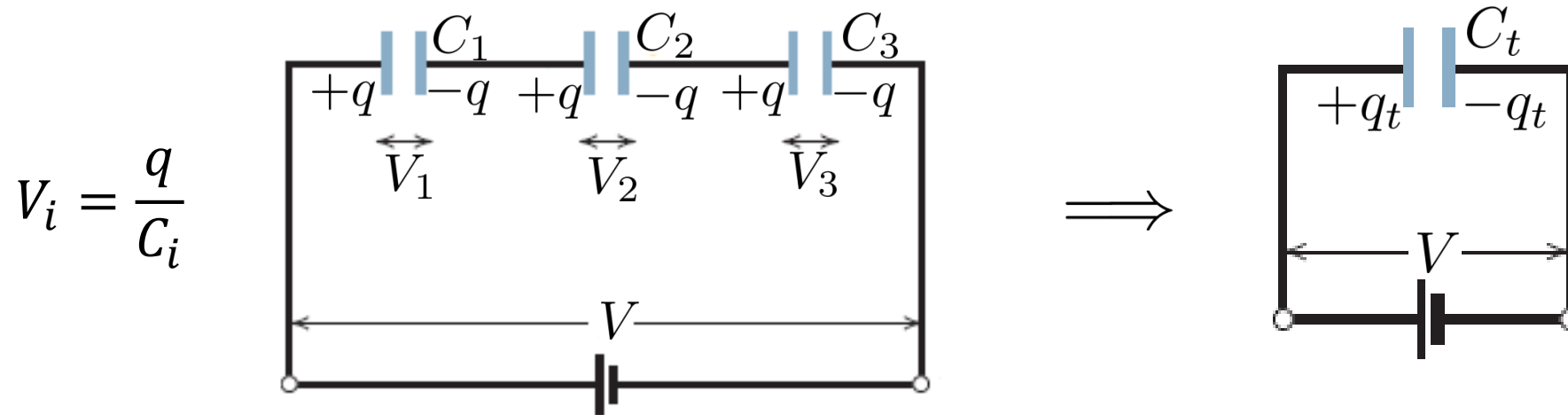
- Kekekalan muatan:  $q_T = q_1 + q_2 + q_3$

$$C_T = \frac{q_T}{V} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{V} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_T = \sum_{i=1}^N C_i$$

# Susunan Kapasitor: serial

- Pada susunan seri, **muatan tiap-tiap kapasitor sama besar**

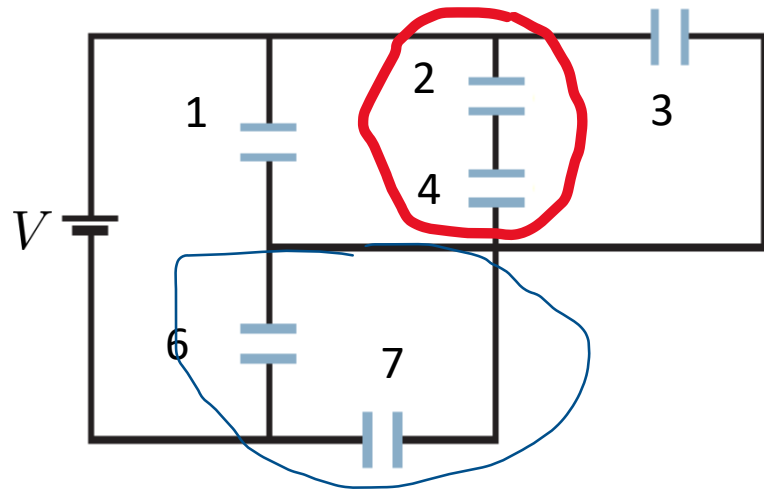


- Penjumlahan tegangan:  $V = V_1 + V_2 + V_3$

$$V = \frac{q}{C_T} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

# contoh

- Jika semua kapasitor identik, berapakah kapasitansi total?



$$C_{1234} = C + \frac{C}{2} + C = \frac{5}{2}C$$

$$C_{67} = C + C = 2C$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{\frac{5}{2}C} \Rightarrow C_T = \frac{10}{9}C$$



# Energi dalam Kapasitor

- Selama proses pengisian kapasitor, dapat dipandang bahwa muatan dipindahkan dari salah satu konduktor ke konduktor lainnya
- Jika muatan sebesar  $q$  dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain yang mempunyai beda potensial  $V$ , maka energi potensial muatan tersebut bertambah sebesar  $qV$
- Ini berarti untuk mengisi kapasitor diperlukan sejumlah usaha (energi). Energi ini kemudian disimpan dalam bentuk energi potensial muatan yang berpindah
- Energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan sebesar  $dq$  pada beda potensial  $V$  adalah

$$dU = V dq$$

# Energi dalam Kapasitor

- Energi yang dibutuhkan untuk mengisi muatan sebesar  $Q$  (dari keadaan kosong)

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

- Energi yang tersimpan dalam kapasitor yang bermuatan  $Q$  dengan kapasitansi  $C$  dan beda potensial  $V$

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

# Energi dalam Kapasitor

Energi yang tersimpan dalam kapasitor menjadi contoh bentuk penyimpanan energi dalam medan listrik

untuk kapasitor keping sejajar:

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

Rapat energi (energi per satuan volum)

$$u = \frac{U}{Volum} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

# Contoh

- Berapakah energi yang tersimpan dalam kapasitor 3  $\mu\text{F}$  bila dihubungkan dengan sumber tegangan 12 V?

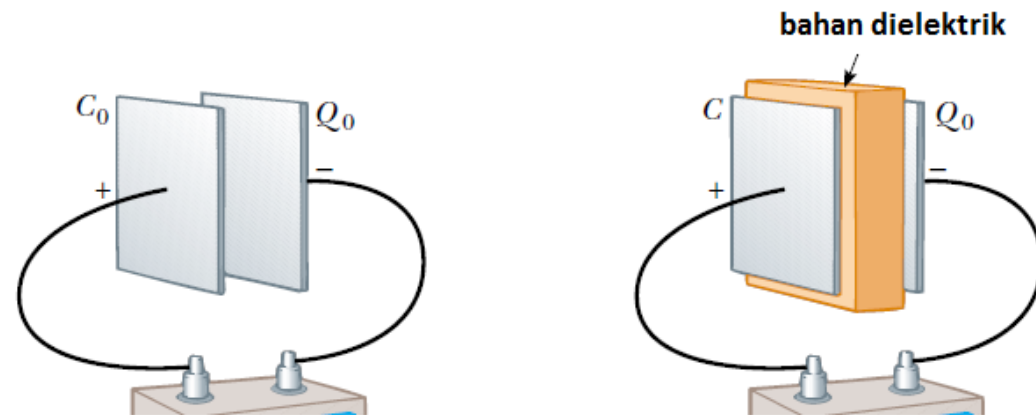
$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(3 \mu\text{F})(144 \text{ V}^2) = 18 \times 10^{-6} \text{ joule}$$

- Kapasitor 3  $\mu\text{F}$  diisi muatan hingga 6  $\mu\text{C}$ . Berapa energi potensial kapasitor tersebut?

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{36 \times 10^{-12} \text{ C}^2}{3 \times 10^{-6} \text{ F}} = 6 \times 10^{-6} \text{ joule}$$

# Bahan Dielektrik

Ruang antara konduktor pada kapasitor biasanya berisi bahan bukan penghantar (*non-conducting*) yang disebut sebagai bahan dielektrik, misalnya kertas, kaca, mika, dll.



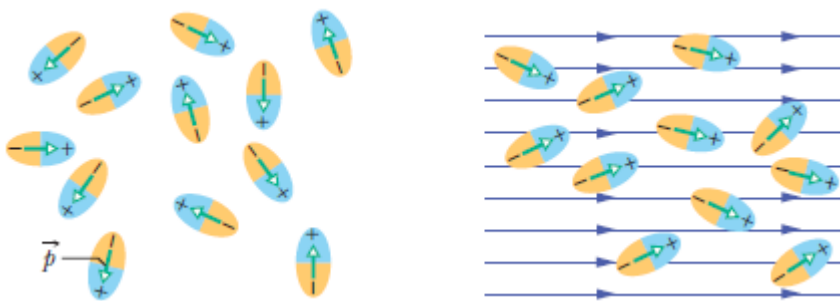
Eksperimen yang dilakukan Faraday menunjukkan bahwa adanya bahan dielektrik menyebabkan kapasitansi suatu kapasitor bertambah

# Bahan Dielektrik

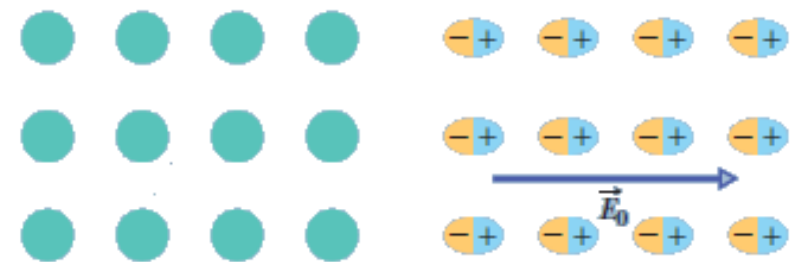
Karakteristik suatu bahan dielektrik dinyatakan dengan besaran yang disebut konstanta dielektrik ( $\kappa = \text{kappa}$ )

Dua jenis:

- Bahan dielektrik polar (*polar dielectrics*), mempunyai momen dipole listrik permanen misalnya air



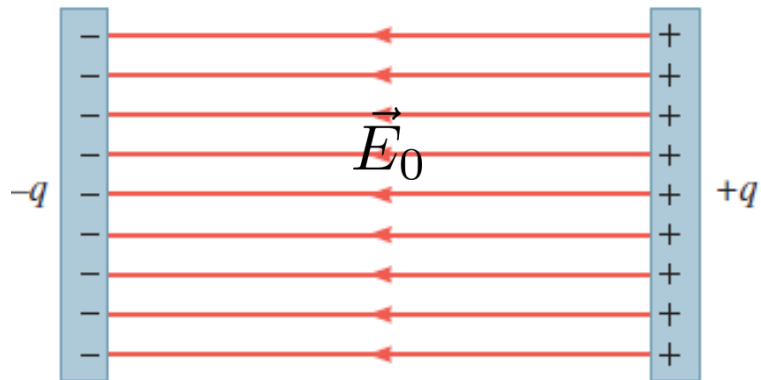
- Bahan dielektrik nonpolar (*nonpolar dielectrics*), momen dipole listrik muncul akibat berada dalam medan listrik



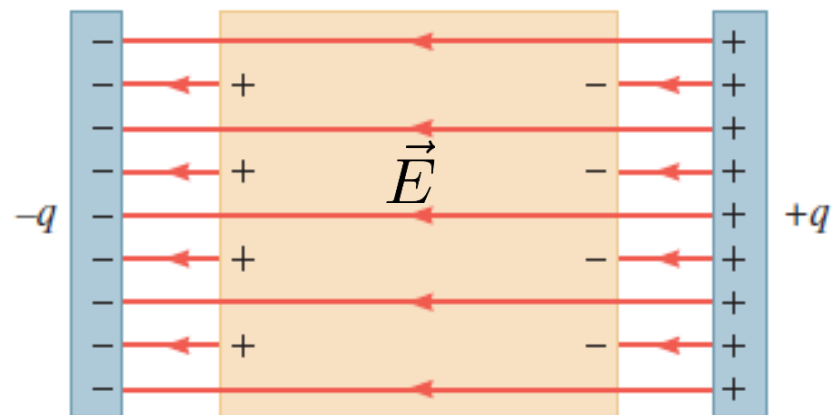
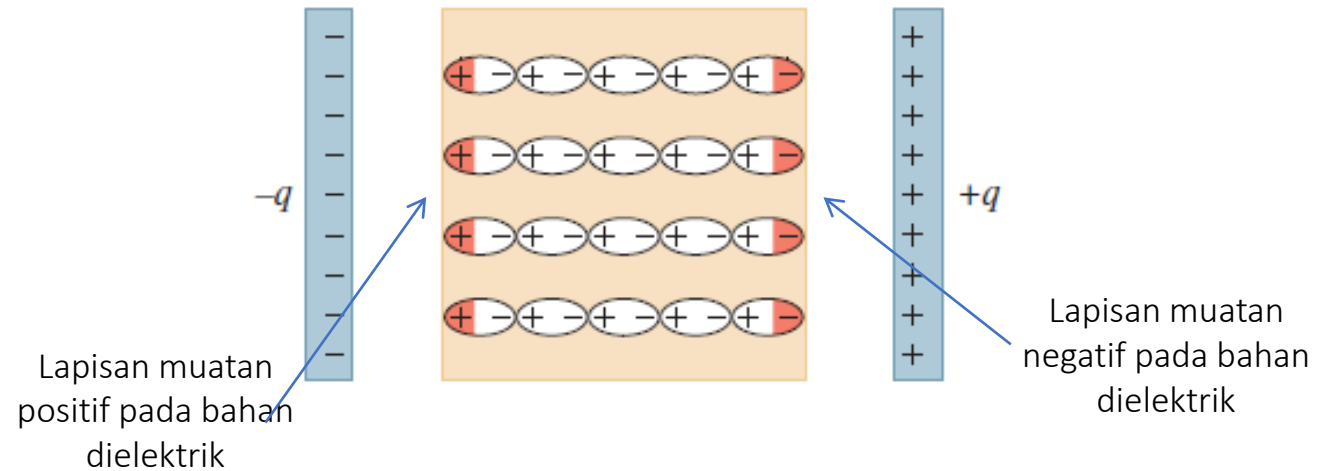
Molekul bahan dielektrik akan terpengaruh medan listrik

# Bahan Dielektrik

Tanpa bahan dielektrik



Dengan bahan dielektrik



Medan listrik total dalam bahan:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{\text{ind.}}$$

karena  $\vec{E}_{\text{ind.}}$  berlawanan dg.  $\vec{E}_0$ , maka

$$|E| < |E_0|$$

# Bahan Dielektrik

Dapat dinyatakan bahwa  $E \propto E_0$ , dengan konstanta pembanding  $\kappa$ , maka

$$E_0 = \kappa E$$

$\kappa$  adalah konstanta dielektrik yang merupakan karakteristik dari bahan.

$$\kappa > 1 \Rightarrow E_0 > E$$

Karena medan listrik  $E$  berkurang menyebabkan beda potensial antara kedua plat juga berkurang  $V = \frac{V_0}{\kappa}$

$$\text{Sehingga: } C = \frac{Q_0}{V} = \frac{Q_0}{V_0/\kappa} = \kappa C_0 \quad C > C_0$$



# Bahan Dielektrik

Konstanta dielektrik terkait besaran permitivitas bahan

$$\varepsilon = \kappa\varepsilon_0$$

Dengan demikian konstanta dielektrik dapat juga dipahami sebagai permitivitas relatif suatu bahan (relatif terhadap medium vakum (*free space*))

Dengan adanya bahan dielektrik pada kapasitor maka ada nilai maksimum beda potensial yang dapat diberikan antara keping kapasitor:  $\Delta V_{\max}$  (disebut juga sebagai *breakdown potential*).

Hal ini terkait dengan karakteristik yang disebut *dielectric strength*, yang menyatakan besar maksimum medan listrik yang masih dapat diterima oleh suatu bahan dielektrik

# contoh

Kapasitor keping sejajar diberi muatan sebesar  $Q_0$  dengan cara dihubungkan dengan beda potensial  $\Delta V_0$ . Kemudian sumber tegangan dilepas dan ruang antara keping pada kapasitor diberi bahan dielektrik  $\kappa$ . Berapakah energi yang tersimpan dalam kapasitor sebelum dan sesudah diberi bahan dielektrik?

Jawab:

Energi yang disimpan dalam kapasitor tanpa bahan dielektrik:

$$U_0 = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_0} = \frac{1}{2} Q_0 V_0$$

Sumber tegangan dilepas, sehingga jumlah muatan pada kapasitor tetap, akibat diberi bahan dielektrik maka kapasitansi akan meningkat, sehingga:

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{\kappa C_0} = \frac{1}{2} \frac{Q_0 V_0}{\kappa} = \frac{U_0}{\kappa}$$

**Table 26.1****Approximate Dielectric Constants and Dielectric Strengths of Various Materials at Room Temperature**

<b>Material</b>	<b>Dielectric Constant <math>\kappa</math></b>	<b>Dielectric Strength<sup>a</sup> (<math>10^6</math> V/m)</b>
Air (dry)	1.000 59	3
Bakelite	4.9	24
Fused quartz	3.78	8
Mylar	3.2	7
Neoprene rubber	6.7	12
Nylon	3.4	14
Paper	3.7	16
Paraffin-impregnated paper	3.5	11
Polystyrene	2.56	24
Polyvinyl chloride	3.4	40
Porcelain	6	12
Pyrex glass	5.6	14
Silicone oil	2.5	15
Strontium titanate	233	8
Teflon	2.1	60
Vacuum	1.000 00	—
Water	80	—

<sup>a</sup> The dielectric strength equals the maximum electric field that can exist in a dielectric without electrical breakdown. Note that these values depend strongly on the presence of impurities and flaws in the materials.