



ITS
SEMANGAT
BARU

Potensial Listrik



www.its.ac.id

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, Surabaya - Indonesia



**2.1 Energi
Potensial Listrik**



**2.2 Potensial
listrik**



2.3 Kapasitor

Bab 2 Potensial Listrik



Energi Potensial Listrik



Potensial Listrik

- Medan gaya Coulomb memiliki kemiripan dengan medan gaya Gravitasi, keduanya memiliki bentuk $F \propto \frac{1}{r^2}$
- Sebagaimana halnya medan gaya gravitasi, medan gaya Coulomb juga merupakan medan gaya yang bersifat **konservatif**
- Gerak partikel bermuatan q dalam ruang bermedan listrik dapat dianalogikan dengan gerak partikel bermassa m dalam ruang bermedan gravitasi
- Untuk medan gaya yang bersifat konservatif, dapat didefinisikan suatu besaran skalar yang disebut “potensial”. Terkait medan listrik, fungsi potensial tersebut adalah **potensial listrik** (*electric potential*)



Energi Potensial Listrik

- Untuk memindahkan suatu muatan dari satu tempat ke tempat lainnya dalam pengaruh medan listrik diperlukan sejumlah usaha
- Usaha yang dilakukan oleh gaya adalah :

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = -\Delta U$$

Gaya Coulomb merupakan gaya konservatif.
Untuk medan gaya konservatif, integral lintasannya hanya bergantung pada posisi awal dan akhir

U mengindikasikan fungsi energi potensial bergantung pada posisi



Energi Potensial Listrik

- Beda energi potensial antara dua buah titik sama dengan usaha yang diperlukan untuk memindahkan benda melawan medan gaya tersebut

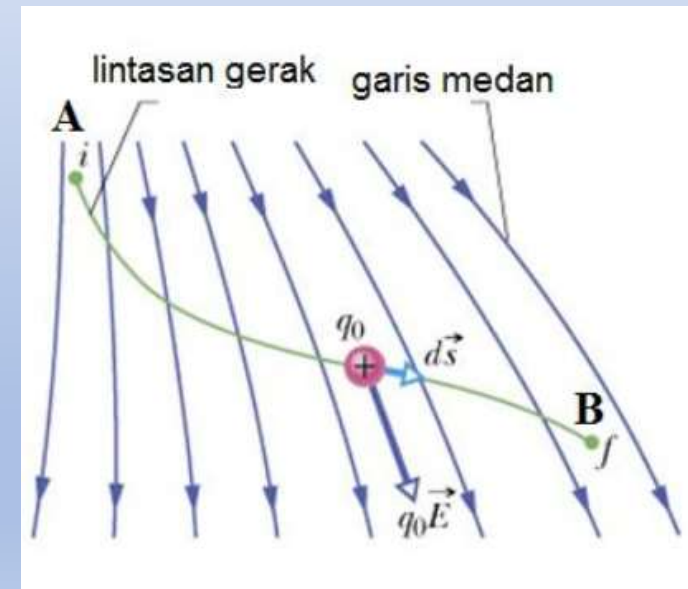
$$U(B) - U(A) = -W_{AB} = -\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

$$U(B) - U(A) = -q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\frac{U(B)}{q} - \frac{U(A)}{q} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V(B) - V(A) = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Energi Potensial
listrik persatuan
muatan →
Potensial Listrik

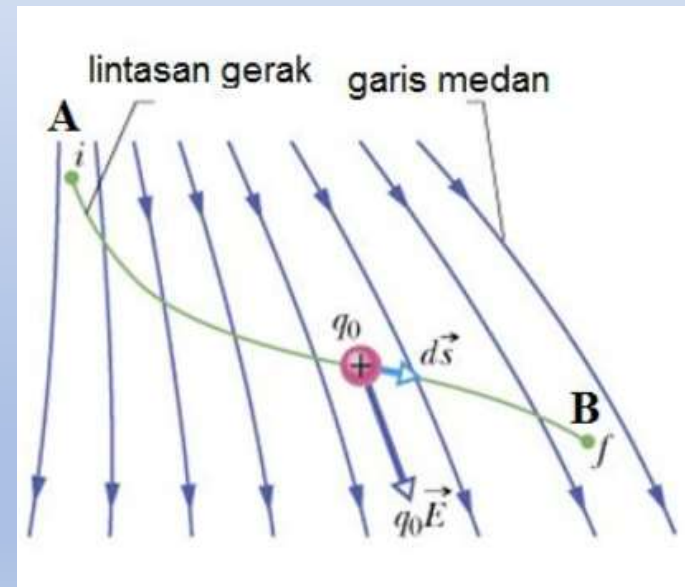




Energi Potensial Listrik

- Beda potensial listrik antara dua titik → usaha yang diperlukan untuk **melawan** medan gaya Coulomb dalam memindahkan satu satuan muatan dari satu titik ke titik lainnya

$$V(B) - V(A) = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$





Potensial Listrik



Potensial Listrik

- Tinjau medan listrik yang yang ditimbulkan oleh muatan titik

$$V(B) - V(A) = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = -kQ \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{r^2} \hat{r} \cdot dr \hat{r} = k \frac{Q}{r} \Big|_{r_A}^{r_B} = KQ \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

- Jika diambil acuan di suatu titik tertentu (misal ∞) dengan potensial tertentu (misal 0), maka

$$0 - V(A) = k \frac{Q}{r} \Big|_{r_A}^{\infty} = KQ \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r_A} \right)$$

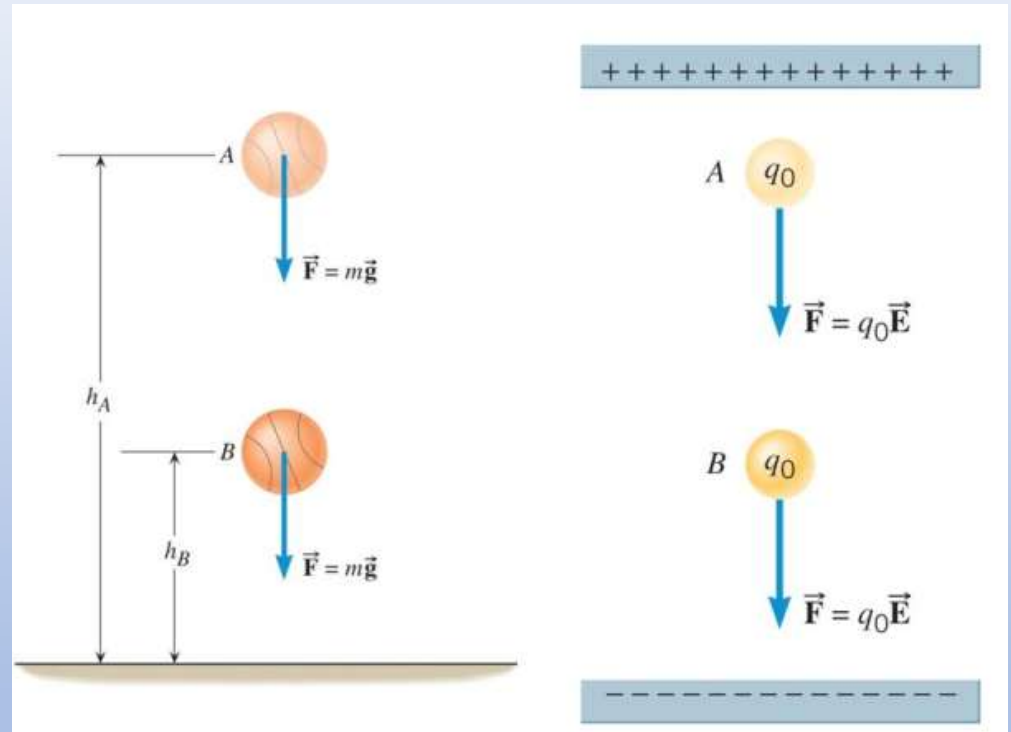
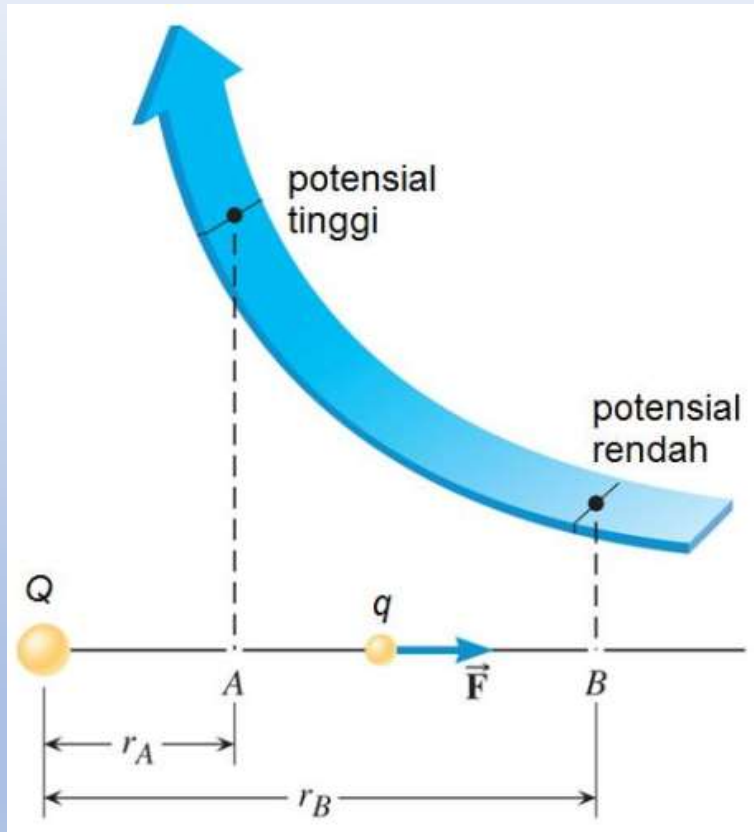
- Diperoleh

$$V(A) = K \frac{Q}{r_A}$$

Potensial listrik pada jarak r_A
dari suatu muatan Q



Potensial Listrik



Analogi potensial listrik dan potensial gravitasi

Potensial Listrik

- Besaran potensial listrik di suatu tempat hanya mempunyai makna jika dibandingkan dengan potensial di tempat lain
- Jadi yang mempunyai makna fisis adalah **beda potensial** (ada tempat yang digunakan sebagai acuan)
- Beda potensial listrik antara dua buah titik merupakan usaha persatuan muatan yang diperlukan untuk memindahkan benda dari satu titik ke titik lainnya melawan medan gaya Coulomb
- Potensial listrik di suatu titik sama dengan usaha persatuan muatan yang diperlukan untuk memindahkan muatan dari titik acuan (biasanya diambil pada ∞) ke titik yang dimaksud

Potensial Listrik Akibat Muatan Titik

- Jika terdapat beberapa muatan titik, maka potensial listrik total di suatu tempat dapat diperoleh menggunakan prinsip superposisi (penjumlahan) potensial listrik yang disebabkan oleh masing-masing muatan titik
- Potensial listrik adalah besaran **skalar**

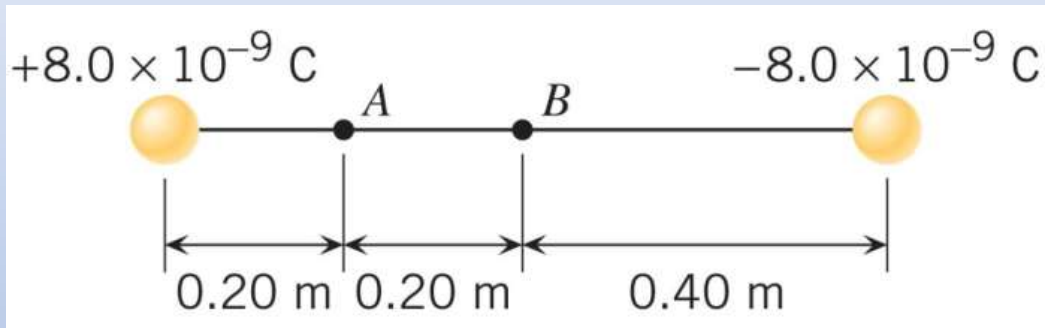
$V(A)$ menotasikan potensial listrik di titik A, sedangkan r_{Aq_i} ialah jarak dari muatan q_i ke titik A tersebut

$$\begin{aligned} V(A) &= V(A)_{q_1} + V(A)_{q_2} + V(A)_{q_3} + V(A)_{q_4} + \dots \\ &= k \frac{q_1}{r_{Aq_1}} + k \frac{q_2}{r_{Aq_2}} + k \frac{q_3}{r_{Aq_3}} + k \frac{q_4}{r_{Aq_4}} + \dots \\ &= k \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{Aq_i}} \end{aligned}$$

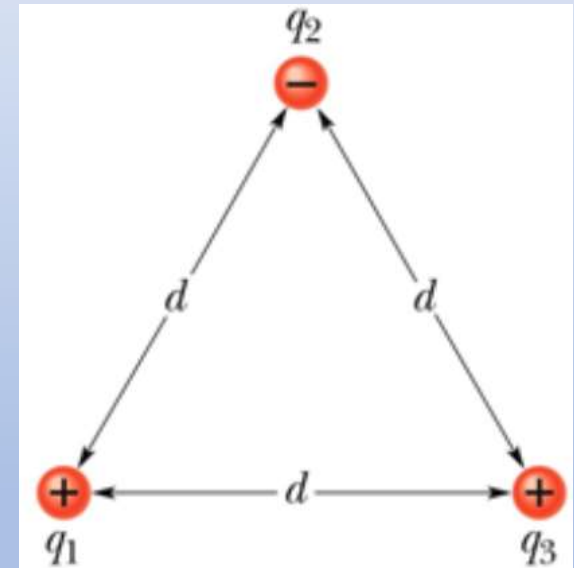
Catatan: potensial acuan sama dengan nol di ambil pada ∞

Contoh

- Tentukanlah potensial listrik di titik A dan B akibat kedua muatan



- Tentukanlah energi potensial sistem tiga muatan berikut, jika $q_1 = +q$, $q_2 = -4q$ dan $q_3 = +2q$ dengan $d = 12 \text{ cm}$ dan $q = 150 \text{ nC}$





Jawaban

- Potensial di titik A

$$V_A = k \frac{Q_1}{r_{A1}} + k \frac{Q_2}{r_{A2}} = k \left(\frac{8 \times 10^{-9}}{0.2} + \frac{-8 \times 10^{-9}}{0.6} \right) \approx 240$$

- Potensial di titik B

$$V_B = k \frac{Q_1}{r_{B1}} + k \frac{Q_2}{r_{B2}} = k \left(\frac{8 \times 10^{-9}}{0.4} + \frac{-8 \times 10^{-9}}{0.4} \right) = 0$$

- Energi potensial sistem sama dengan usaha yang diperlukan untuk menyusun muatan-muatan tersebut

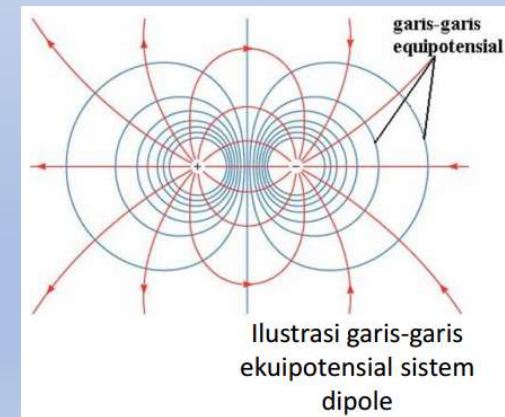
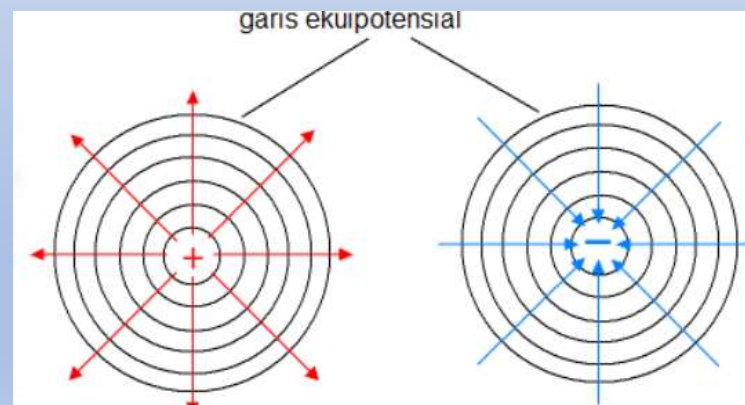
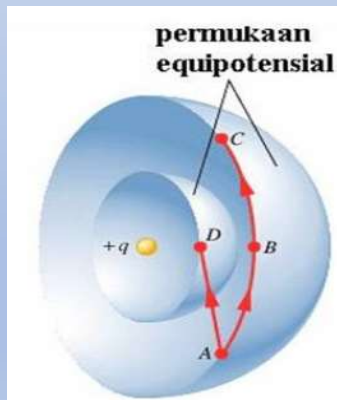
$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23} = q_2 V_{\text{di posisi } q_2 \text{ akibat } q_1} + q_3 V_{\text{di posisi } q_3 \text{ akibat } q_1} + q_3 V_{\text{di posisi } q_3 \text{ akibat } q_2} = k \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

$$= k \left(\frac{-4q^2}{d} + \frac{2q^2}{d} + \frac{-8q^2}{d} \right) = -10k \frac{q^2}{d}$$



Permukaan Ekuipotensial

- Posisi dalam ruang yang mempunyai nilai potensial sama membentuk suatu **permukaan ekuipotensial** (kasus 3 D) atau **garis ekuipotensial** (kasus 2 D).
- Untuk muatan titik dalam ruang (3 D), permukaan ekuipotensialnya berbentuk permukaan bola
- Untuk muatan titik dalam bidang (2 D), garis ekuipotensialnya berupa lingkaran





Potensial Listrik vs Medan Listrik

- Jika diketahui medan listrik \vec{E} , maka potensial listrik dapat diperoleh dengan mengingat pengertian (energi) potensial listrik sebagai berikut:

$$\Delta V = V(B) - V(A) = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

- Untuk medan listrik yang konstan dan berarah searah maka akan diperoleh :

$$\Delta V = V(B) - V(A) = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = -E(\Delta s_{AB})$$
$$E = - \frac{\Delta V}{\Delta s}$$



Potensial Listrik dan Medan Listrik

- Untuk medan listrik konstan dan arah perpindahan muatan yang tegak lurus, telah diperoleh: $E = -\frac{\Delta V}{\Delta s}$
- Komponen vektor medan listrik \vec{E} , pada suatu arah tertentu sama dengan **negatif laju perubahan** (gradien) potensial listrik terhadap jarak pada arah tersebut $E = \frac{\partial V}{\partial s}$
- Dalam koordinat kartesian

$$\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial x}\hat{i} - \frac{\partial V}{\partial y}\hat{j} - \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k} = -\vec{\nabla}V$$
$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z};$$

Potensial Listrik Akibat Dipole Listrik

- Dipole: dua muatan titik dengan besar sama tapi jenis berbeda

$$V_P = k \left(\frac{+q}{r_+} + \frac{-q}{r_-} \right) = kq \left(\frac{r_- - r_+}{r_+ r_-} \right)$$

- Untuk kasus titik P yang jauh dari dipole tersebut ($r \gg d$) dapat digunakan pendekatan

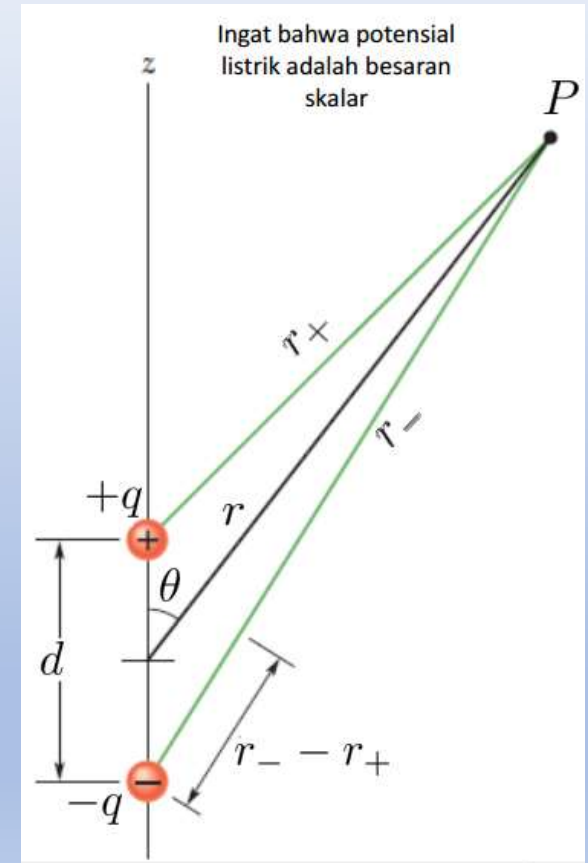
$$r_- \approx r_+ \approx r \text{ dan } r_- - r_+ \approx d \cos \theta$$

$$V_P \approx kq \left(\frac{d \cos \theta}{r^2} \right)$$

$$p = qd$$

$$V_P \approx k \left(\frac{p \cos \theta}{r^2} \right)$$

p (C·m): menotasikan momen dipole





Dipole Listrik

| Substance | μ , D | Substance | μ , D |
|-------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| AlF ₃ | 0 | ClO ₂ | 0.78 |
| AsCl ₃ | 1.97 | Cl ₂ O | 1.69 |
| AsF ₃ | 2.82 | GaF ₃ | 0 |
| AsF ₅ | 0 | NH ₃ | 1.46 |
| BBr ₃ | 0 | NO ₂ | 0.32 |
| BCl ₃ | 0 | N ₂ O | 0.17 |
| BF ₃ | 0 | NOF ₃ | 0.04 |
| BeCl ₂ | 0 | O ₂ | 0 |
| BeF ₂ | 0 | O ₃ | 0.53 |
| BrF ₃ | 1.19 | OF ₂ | 0.30 |
| BrF ₅ | 1.51 | PCl ₃ | 0.78 |
| CCl ₄ | 0 | PCl ₅ | 0 |
| CCl ₂ O | 1.18 | PCl ₂ F ₃ | 0.68 |
| CF ₄ | 0 | PCl ₄ F | 0.21 |
| CO | 0.11 | PSCl ₃ | 1.41 |
| CO ₂ | 0 | SF ₂ | 1.05 |
| COF ₂ | 0.95 | SF ₄ | 0.63 |
| CSCl ₂ | 0.28 | SF ₆ | 0 |
| H ₂ O | 1.86 | SO ₂ | 1.67 |
| H ₂ O ² | 2.26 | PSCl ₃ | 1.41 |
| IF ₅ | 2.28 | PF ₃ | 1.03 |
| NF ₃ | 0.24 | PF ₅ | 0 |
| PH ₃ | 0.58 | SbCl ₅ | 0 |
| POF ₃ | 1.77 | SeF ₄ | 1.78 |
| SO ₃ | 0 | SiCl ₄ | 0 |
| SbBr ₃ | 3.28 | SiF ₄ | 0 |
| SbBr ₅ | 0 | SnF ₄ | 0 |
| SbCl ₃ | 3.93 | XeF ₂ | 0 |

A dipole is a separation of opposite electrical charges. A dipole is quantified by its [dipole moment](#) (p).

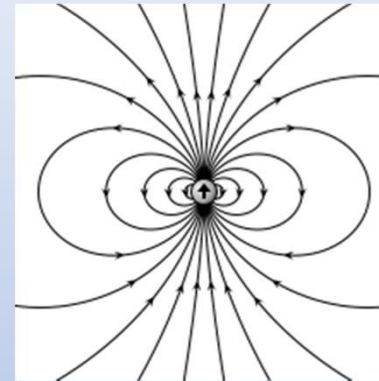
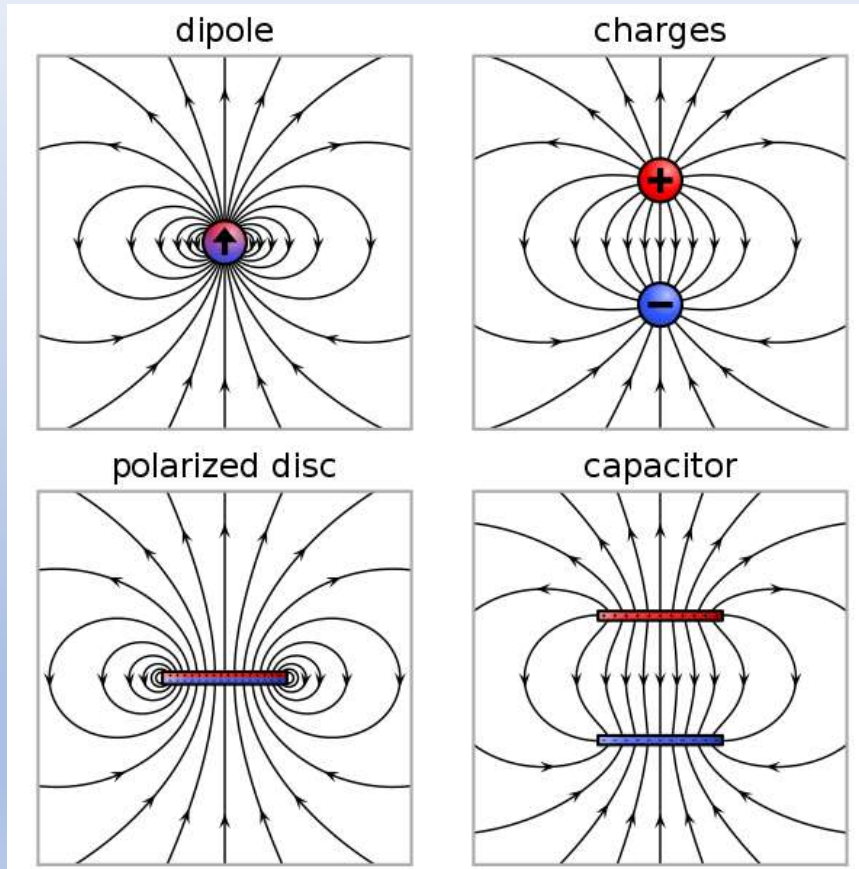
The **electric dipole moment** is a measure of the separation of positive and negative [electrical charges](#) within a system, that is, a measure of the system's overall [polarity](#).

In chemistry, a dipole usually refers to the separation of charges within a molecule between two covalently bonded atoms or atoms that share an ionic bond. For example, a water molecule (H₂O) is a dipole. All polar molecules are dipoles.

In physics, another definition of a dipole is an antenna that is a horizontal metal rod with a wire connected to its center.



The electric field due to a *dipole*





Contoh

- Potensial listrik dalam ruang yang ditimbulkan oleh muatan titik q di (x_0, y_0, z_0) dinyatakan dengan

$$V(x, y, z) = \frac{kq}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}}$$

Tentukanlah bentuk vektor medan listrik $\vec{E}(x, y, z)$ dalam ruang yang ditimbulkan oleh muatan titik tersebut.



Jawaban:

Jika diketahui fungsi potensial listrik, maka

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z};$$

$$\begin{aligned} E_x &= -\frac{\partial V}{\partial x} = -kq \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}} \right) \\ &= kq \frac{(x-x_0)}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} = kq \frac{(y-y_0)}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2)^{3/2}}$$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} = kq \frac{(z-z_0)}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2)^{3/2}}$$

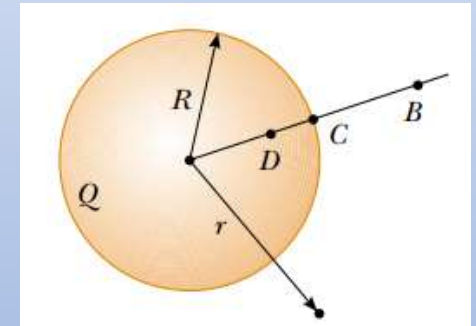
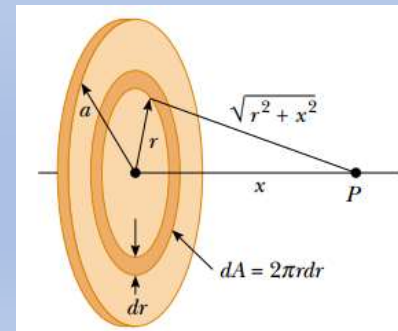
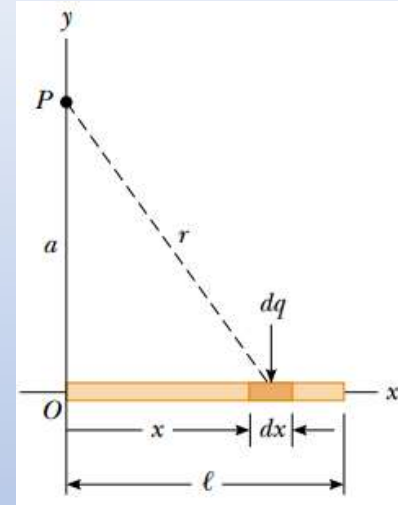
$$\vec{E} = E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k}$$

$$= kq \left(\frac{(x-x_0)\hat{i} + (y-y_0)\hat{j} + (z-z_0)\hat{k}}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2)^{3/2}} \right)$$



Potensial Listrik Akibat Distribusi Muatan

- Muatan terdistribusi dalam satu dimensi (1 D); rapat muatan persatuan panjang (λ) \rightarrow batang bermuatan, cincin
- Muatan terdistribusi dalam dua dimensi (2 D); rapat muatan persatuan luas (σ) \rightarrow permukaan/ lempengan bermuatan
- Muatan terdistribusi dalam tiga dimensi (3 D); rapat muatan persatuan volume (ρ) \rightarrow bola/ silinder/ kubus bermuatan





Potensial Listrik pada batang lurus

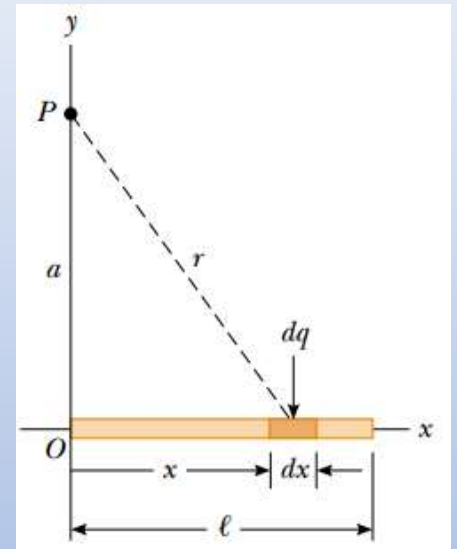
- Potensial listrik pada titik P yang disebabkan oleh muatan serba sama pada batang dari 0 sampai l , dapat dituliskan sebagai:

$$dV = k \frac{dq}{r} = k \frac{\lambda dx}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

- Dengan melakukan integrasi dan mengaplikasikan syarat batasnya, dapat diperoleh:

$$V = k \int_0^l \frac{\lambda dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = k \lambda \ln \left(x + \sqrt{x^2 + a^2} \right) \Big|_0^l = k \lambda \ln \left(\frac{l + \sqrt{l^2 + a^2}}{a} \right)$$

$$V = k \lambda \ln \left(\frac{l + \sqrt{l^2 + a^2}}{a} \right)$$





Potensial Listrik Pada Cincin

- Potensial listrik di titik P yang disebabkan oleh muatan q pada cincin dideskripsikan oleh:

$$V = k \int \frac{dq}{r} = k \int \frac{dq}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

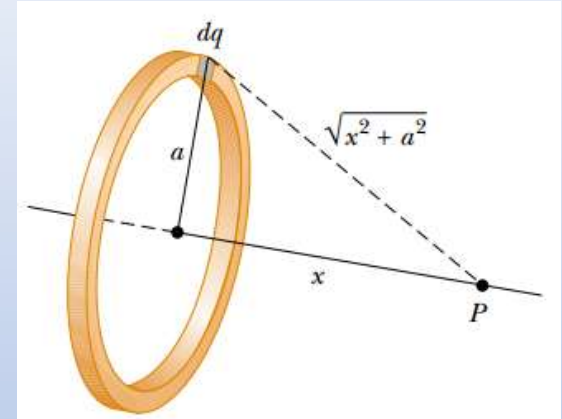
- Karena setiap elemen dq memiliki jarak yang sama dengan P, maka potensial listrik di P dapat ditulis:

$$V = \frac{k}{\sqrt{x^2 + a^2}} \int dq = \frac{kQ}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

$$V = \frac{kQ}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$



$$\begin{aligned} E_x &= -\frac{dV}{dx} = -kQ \frac{d}{dx} (x^2 + a^2)^{-1/2} \\ E_x &= -kQ (-1/2) (x^2 + a^2)^{-3/2} (2x) \\ E_x &= \frac{kQx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \end{aligned}$$



Potensial Listrik pada Piringan

- Potensial listrik pada piringan yang memiliki muatan yang seragam

$$V = k \int \frac{dq}{r} = k \int \frac{\sigma 2\pi r dr}{\sqrt{x^2 + r^2}}$$

$$V = \pi \sigma k \int_0^a \frac{2r dr}{\sqrt{x^2 + r^2}} = \pi \sigma k \int_0^a (x^2 + r^2)^{-1/2} 2r dr$$

$$u = (x^2 + r^2); du = 2r dr$$

$$\int (x^2 + r^2)^{-1/2} 2r dr = \int u^{-1/2} du = 2u^{1/2}$$

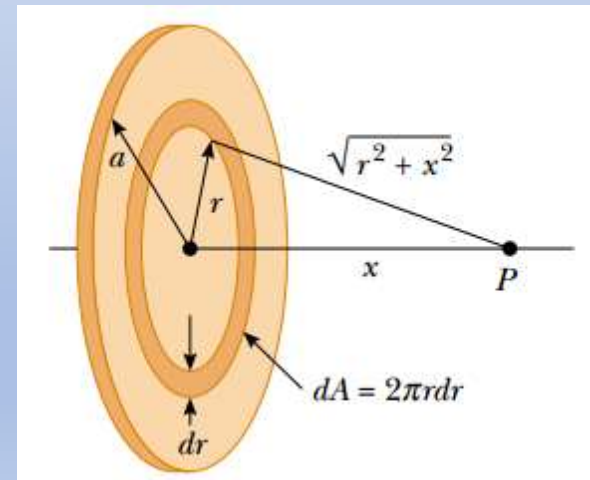
$$V = 2\pi \sigma k (x^2 + r^2)^{1/2} \Big|_0^a$$

- Dengan demikian, potensial listrik pada titik P ialah

$$V = 2\pi \sigma k \left\{ (x^2 + a^2)^{1/2} - x \right\}$$

- Medan listrik di titik P, dapat dihitung melalui:

$$E_x = -\frac{dV}{dx} = 2\pi \sigma k \left\{ 1 - \frac{x}{(x^2 + a^2)^{1/2}} \right\}$$





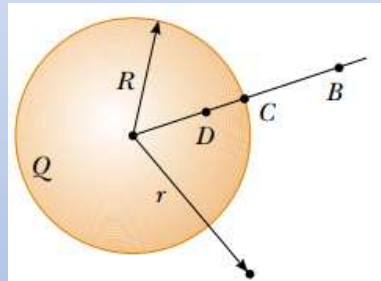
Potensial Listrik pada Bola

- Bola pejal dengan rapat muatan yang merata, pada permukaan bola tersebut memiliki muatan Q .
- Potensial listrik dapat dideskripsikan menjadi beberapa bagian:

$$V(B) - V(A) = -kQ \int_{\infty}^{r_B} \frac{1}{r^2} \hat{r} \cdot d\mathbf{r} \Rightarrow V(B) - 0 = k \frac{Q}{r} \Big|_{\infty}^{r_B} = \frac{kQ}{r_B} \Rightarrow V(B) = \frac{kQ}{r_B} \text{ (untuk } r > R \text{)}$$

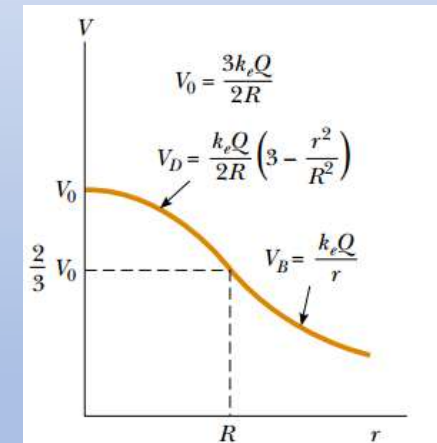
$$V(C) = \frac{kQ}{r_C} \text{ (untuk } r = R \text{)}$$

$$E = k \frac{Qr}{R^3} \text{ (untuk } r < R \text{)}$$



$$V(D) - V(C) = - \int_R^{r_D} E dr = - \int_R^{r_D} \left(k \frac{Qr}{R^3} \right) dr = - \left(k \frac{Q}{R^3} \right) \int_R^{r_D} r dr = \left(k \frac{Q}{2R^3} \right) (R^2 - r_D^2)$$

$$V(D) = \left(k \frac{Q}{2R^3} \right) (R^2 - r_D^2) + \left(k \frac{Q}{R} \right) = \left(k \frac{Q}{2R} \right) \left(3 - \frac{r_D^2}{R^2} \right)$$



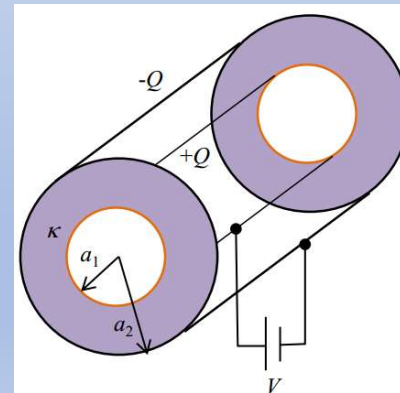
Potensial Listrik pada Silinder

- Silinder konsentris dengan jari-jari a_1 dan a_2 yang memiliki muatan masing-masing $+Q$ dan $-Q$, sebagaimana Gambar.
- Beda potensial antar keduanya:

$$V(a_1) - V(a_2) = - \int_{r_{a_2}}^{r_{a_1}} E dq = - \int_{r_{a_2}}^{r_{a_1}} \left(\frac{1}{2\pi\epsilon_0 r^2} \right) (\lambda r dr) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln(r) \Big|_{r_{a_2}}^{r_{a_1}}$$

$$V(a_1) - V(a_2) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{a_2}{a_1} \right)$$

$$V(a_1) = V(a_2) + \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{a_2}{a_1} \right)$$



Gaya, medan, dan potensial listrik

| | Gaya Listrik | Medan Listrik | Potensial Listrik |
|-----------------|--|--|--------------------------------------|
| Muatan tunggal | $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$ | $\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$ | $V = k \frac{q}{r}$ |
| Muatan diskrit | $\vec{F} = \sum_{i=1}^N k \frac{q q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$ | $\vec{E} = \sum_{i=1}^N k \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$ | $V = \sum_{i=1}^N k \frac{q_i}{r_i}$ |
| Muatan kontinyu | $\vec{F} = \int k \frac{q}{r^2} dq \hat{r}$ | $\vec{E} = \int k \frac{dq}{r^2} \hat{r}$ | $V = \int k \frac{dq}{r}$ |

$$k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Coulomb constant

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

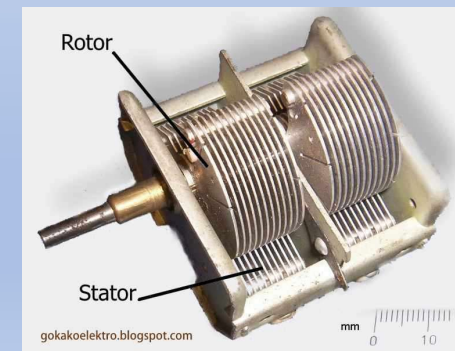
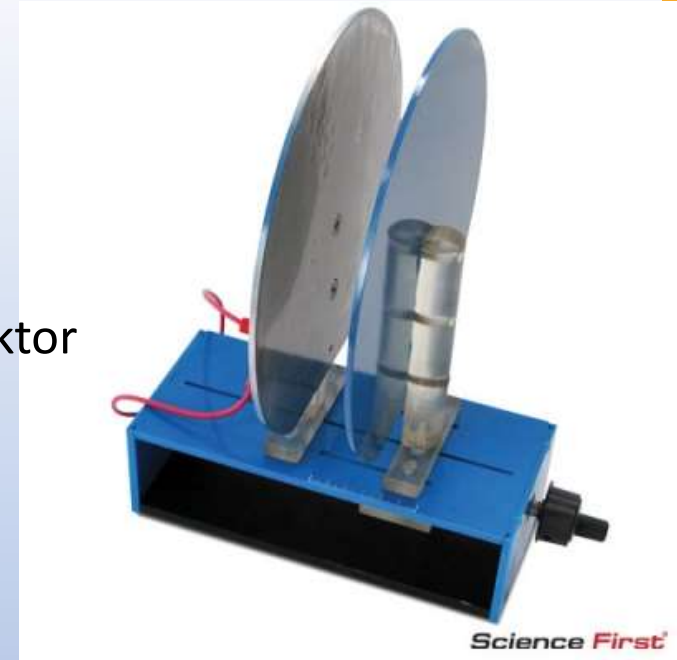
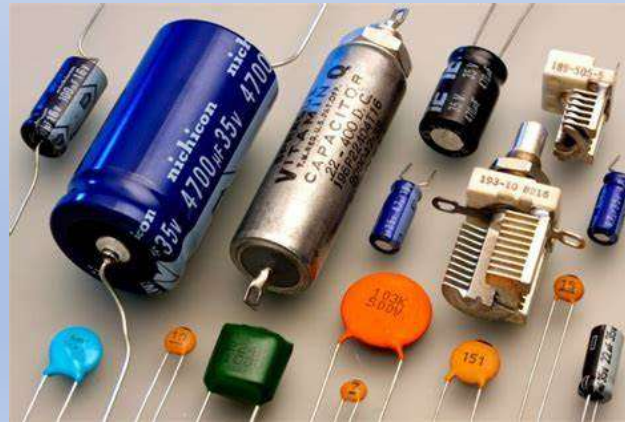


Kapasitor



Kapasitor

- Kapasitor → perangkat yang dapat **menyimpan energi 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.

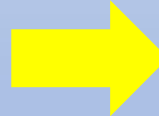




Kapasitas/ Kapasitansi suatu Kapasitor

- 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 ;

$$Q = C\Delta V$$



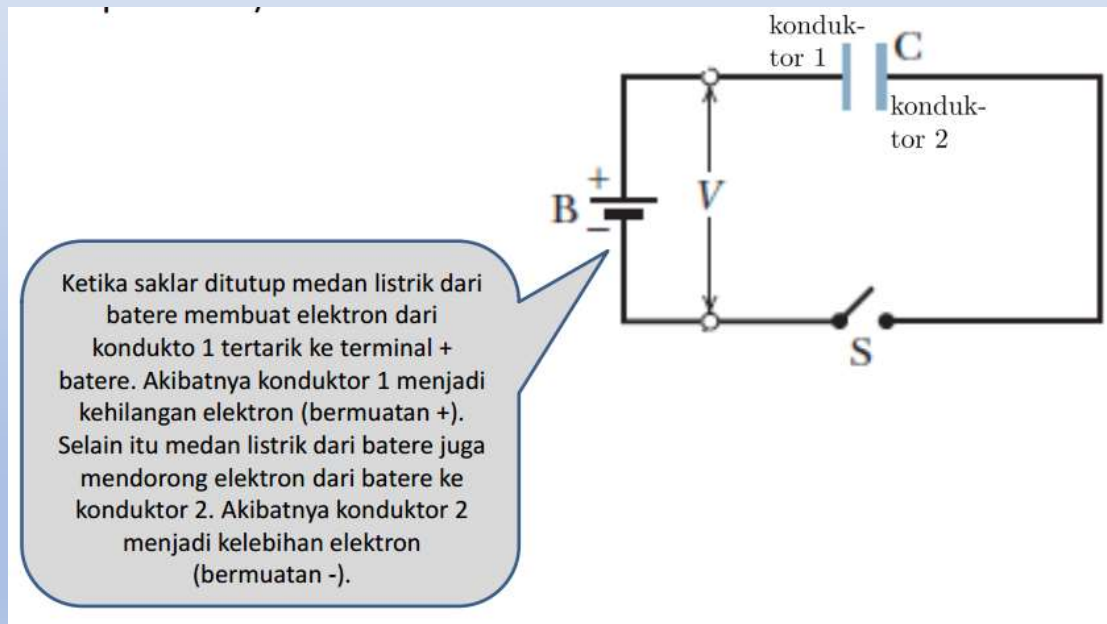
$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

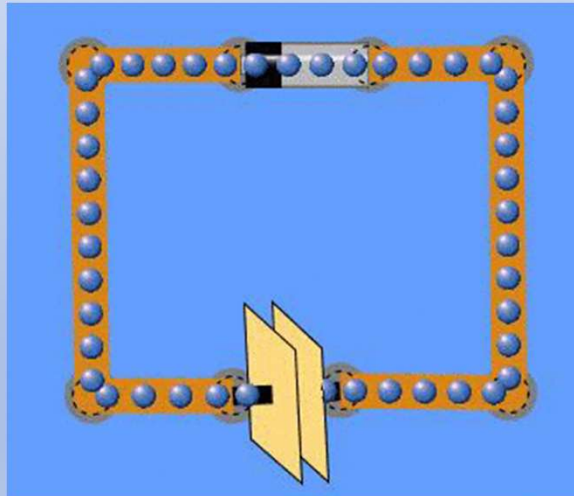
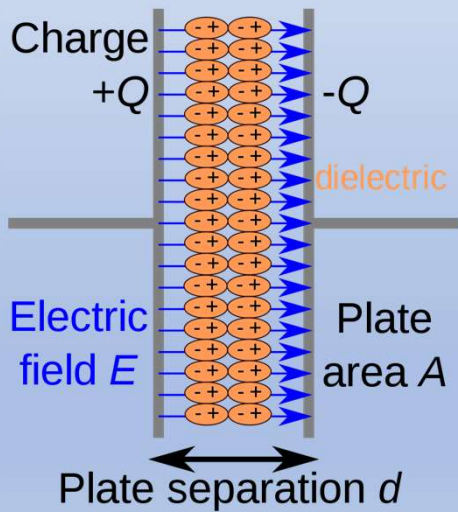
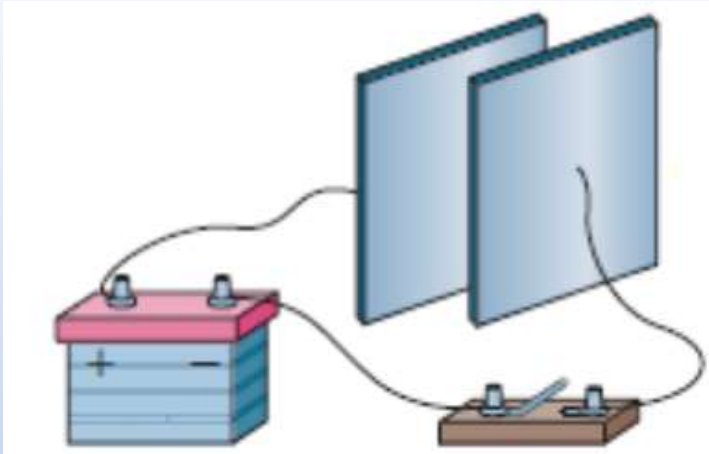
- Satuan kapasitansi [Farad]



Pengisian kapasitor

- Pengisian kapasitor dilakukan dengan menghubungkan konduktor pada kapasitor dengan sumber tegangan (beda potensial)





Cara Mengukur Kapasitor dengan Multimeter Analog



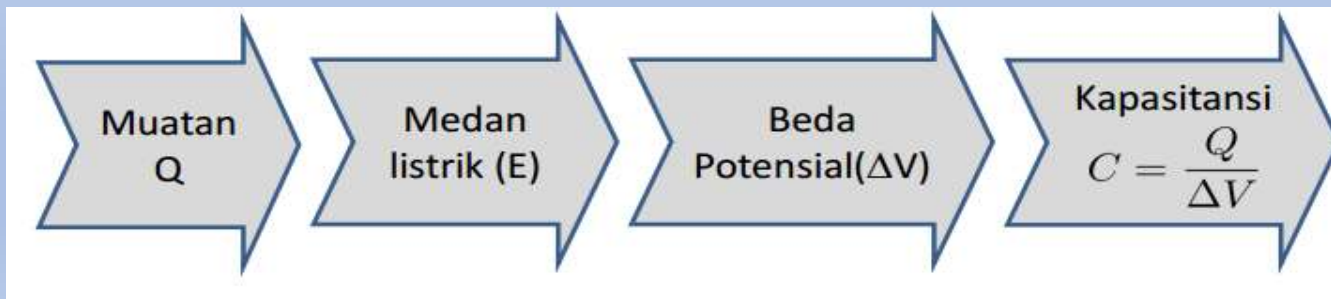
Kapasitor yang baik :
Jarum bergerak ke Kanan (naik) kemudian Kembali lagi.



Kapasitansi berbagai 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





Kapasitor Keping sejajar

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

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

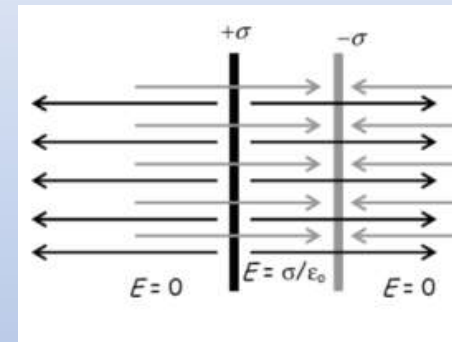
- Medan listrik diantara dua keping lempeng

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

- Beda potensial diantara dua keping

$$V_b - V_a = - \int_a^b E ds$$

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



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



Kapasitansi kapasitor silinder

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

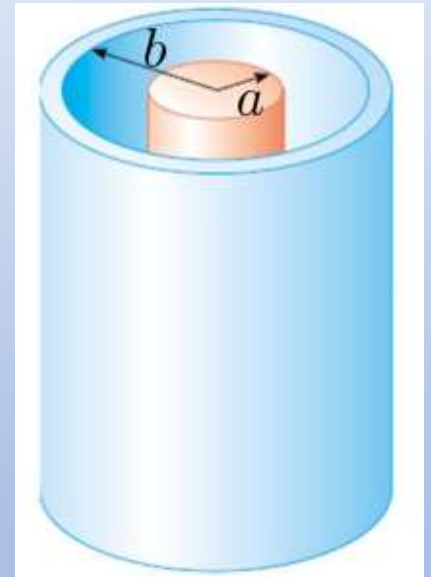
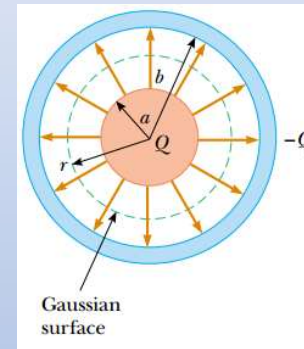
$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r}$$

- Beda potensial antara kedua konduktor

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

- Kapasitansi

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





Kapasitansi Kapasitor Bola

- Medan listrik pada ruang antara kedua konduktor

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

- Beda potensial antara kedua konduktor

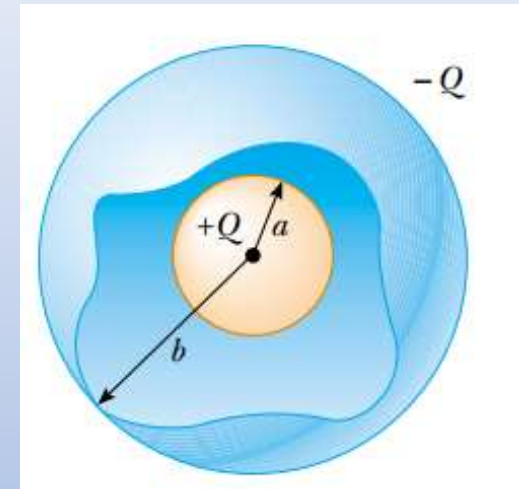
$$V_b - V_a = -\int_a^b E dr = -\int_a^b \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

- Kapasitansi kapasitor bola

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

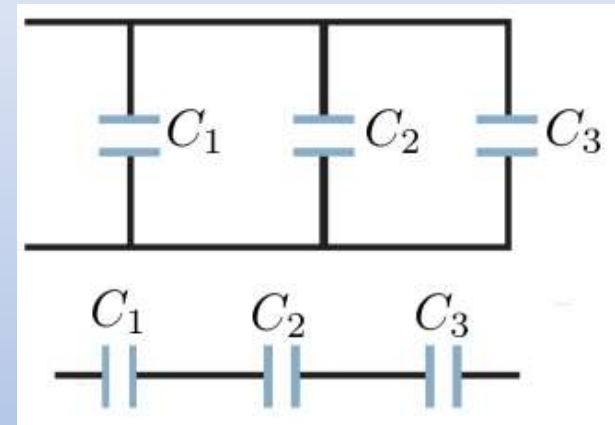


$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{4\pi\epsilon_0 (ab)}{(b-a)}$$



Susunan Kapasitor

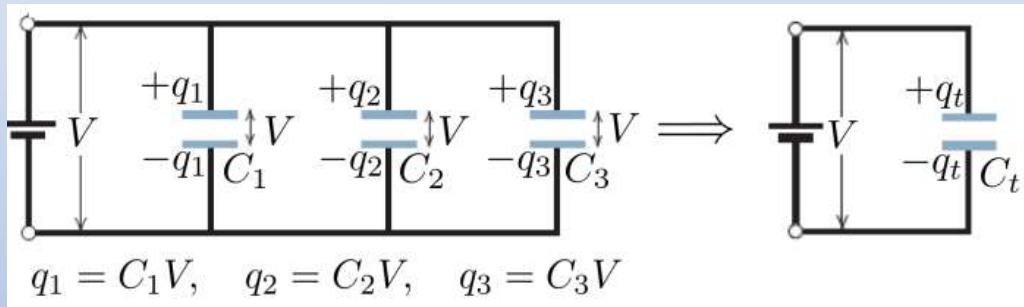
- Dalam rangkaian listrik dua atau lebih kapasitor dikombinasikan. Susunan beberapa kapasitor ini memberikan suatu “kapasitor baru” dengan nilai kapasitansi yang juga baru, diistilahkan sebagai kapasitansi ekivalen atau kapasitansi pengganti atau kapasitansi total susunan kapasitor
- Ada dua macam kombinasi dasar kapasitor: **Seri dan Pararel**
- Kombinasi/ susunan lainnya yang lebih rumit dapat dipandang sebagai gabungan/kombinasi dari seri dan paralel





Susunan Kapasitor: paralel

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



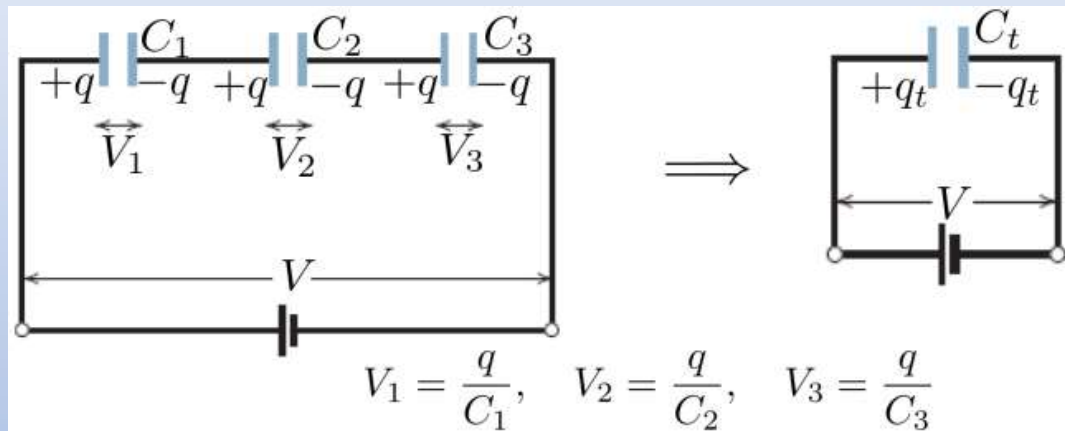
- Kekekalan muatan: $q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$

$$C_{pengganti} = \frac{q_{total}}{V} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{V} = C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow C_{pengganti} = \sum_{i=1}^N C_i$$



Susunan Kapasitor: seri

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



- Penjumlahan tegangan $V_{total} = V_1 + V_2 + V_3$

$$\boxed{V = \frac{q}{C_{pengganti}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{C_{pengganti}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}}$$



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 :

$$dU = Vdq$$



Energi dalam Kapasitor

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

$$U = \int_0^Q dU = \int_0^Q V dq = \int_0^Q \left(\frac{q}{C} \right) dq = \frac{Q^2}{2C}$$

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

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



Energi dalam Kapasitor

- Energi yang tersimpan dalam kapasitor menjadi contoh bentuk penyimpanan energi dalam medan listrik
- Misalnya 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 persatuan volume**)

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

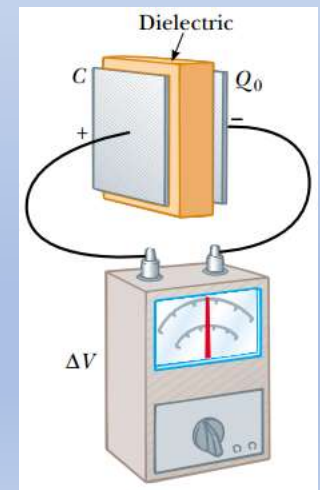
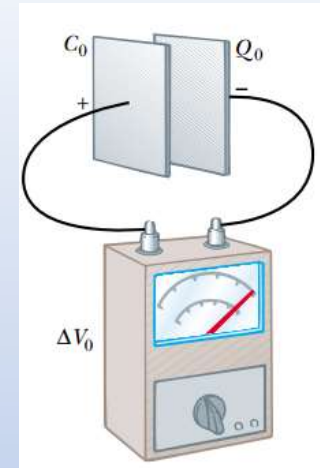


Bentuk yang sama juga dapat diperoleh untuk kapasitor lainnya (tidak cuma kapasitor keping sejajar)



Bahan Dielektrik

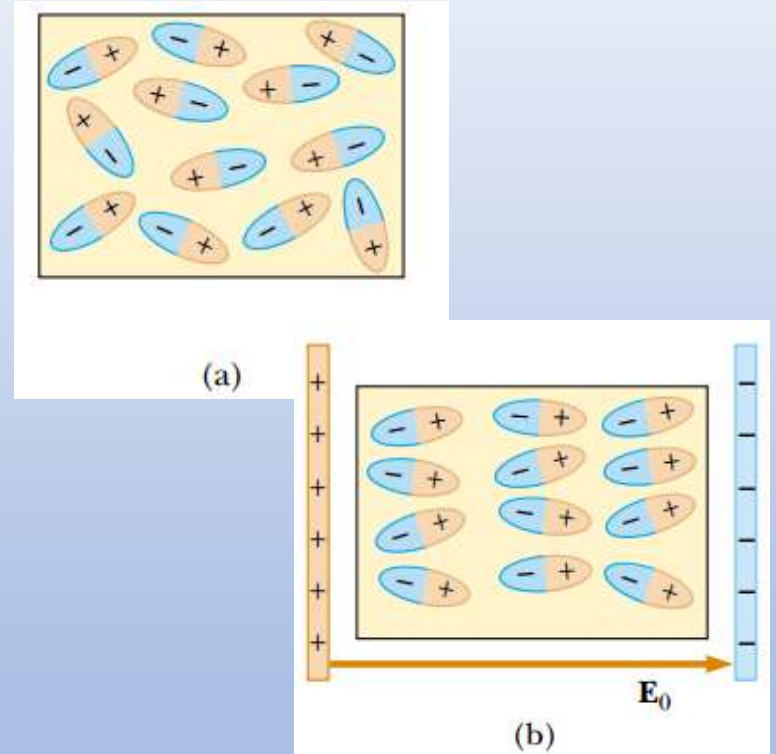
- Ruang antara konduktor pada kapasitor biasanya berisi bahan bukan penghantar (*non-conducting*) yang disebut sebagai bahan dielektrik, misalnya kertas, kaca, mika, dll.
- Eksperimen yang dilakukan Faraday menunjukkan bahwa adanya bahan dielektrik menyebabkan kapasitansi suatu kapasitor bertambah
- Adanya bahan dielektrik menyebabkan medan listrik dalam ruang di antara konduktor pada kapasitor menjadi berkurang





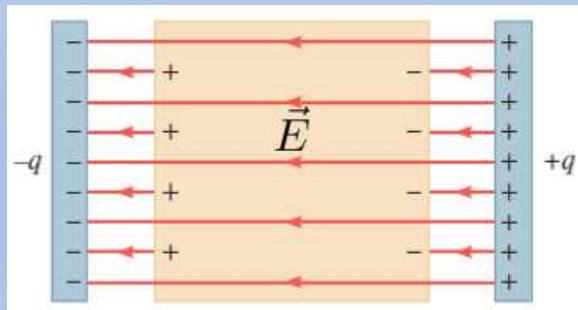
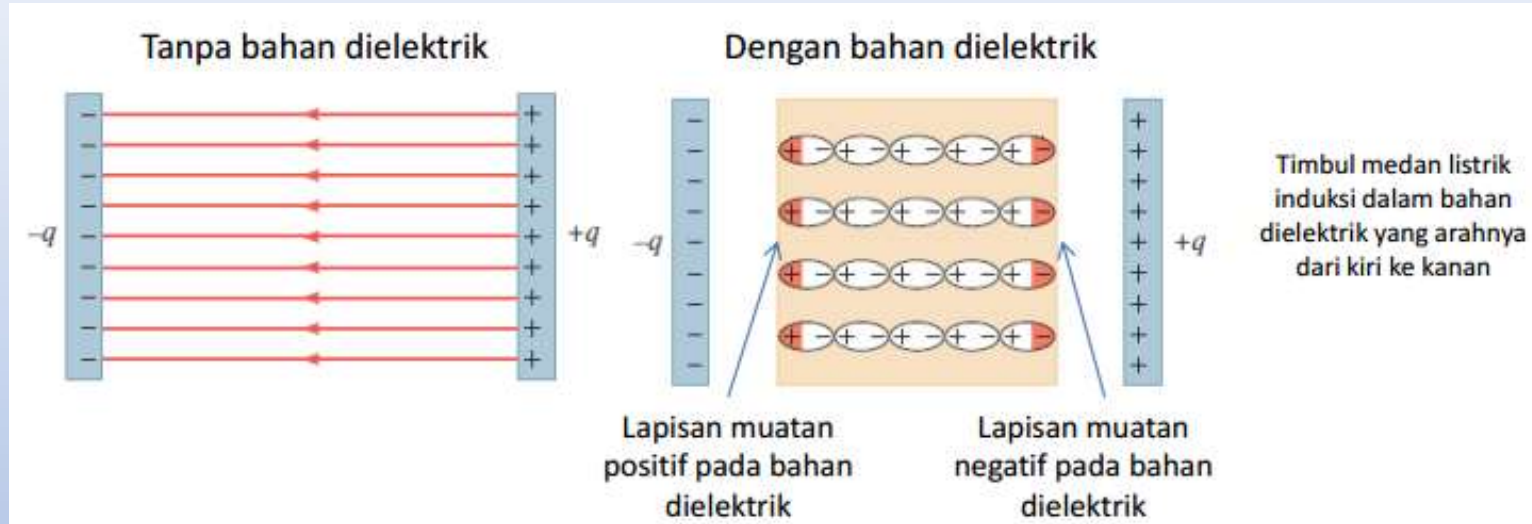
Bahan Dielektrik

- Karakteristik suatu bahan dielektrik dinyatakan dengan besaran yang disebut konstanta dielektrik (κ)
- Dua jenis: polar dan nonpolar
 - a) Bahan dielektrik polar (*polar dielectrics*), mempunyai momen dipole listrik permanen misalnya air
 - b) Bahan dielektrik nonpolar (*nonpolar dielectrics*), momen dipole listrik muncul akibat berada dalam medan listrik
- Molekul bahan dielektrik akan terpengaruh medan listrik





Bahan Dielektrik



- Medan magnetik total dalam bahan

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

$$\Rightarrow \vec{E}_{ind} \text{ arahnya berlawanan dengan } \vec{E}_0$$

$$|\vec{E}| < |\vec{E}_0|$$



Bahan Dielektrik

- Dapat dinyatakan bahwa $E \propto E_0$, atau $E_0 = \kappa E$
- Karena medan listrik berkurang, maka beda potensial juga berkurang (untuk jumlah muatan yang tetap)

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

- Kapasitansi kapasitor dengan dielektrik

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

**Karena $\kappa > 1$
maka $C > C_0$**

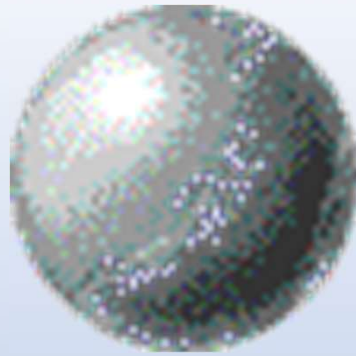
κ konstanta dielektrik \rightarrow karakteristik bahan

$\kappa > 1 \rightarrow E_0 > E$



Bahan Dielektrik

- Konstanta dielektrik terkait besaran permitivitas bahan $\epsilon = \kappa \epsilon_0$
- 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: ΔV_{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





ITS
SEMANGAT
BARU



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

- Terimakasih -



www.its.ac.id

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, Surabaya - Indonesia