

Selamat Datang di:

Perkuliahan

PLPG Fisika

tahun 2009

Muatan Listrik

- Dua jenis muatan listrik: positif dan negatif
- Satuan muatan adalah **coulomb** [C]
- Muatan elektron (negatif) atau proton (positif) adalah

- Muatan terkuantisasi $\pm e, \quad e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Muatan kekal

$$Q = \pm Ne$$

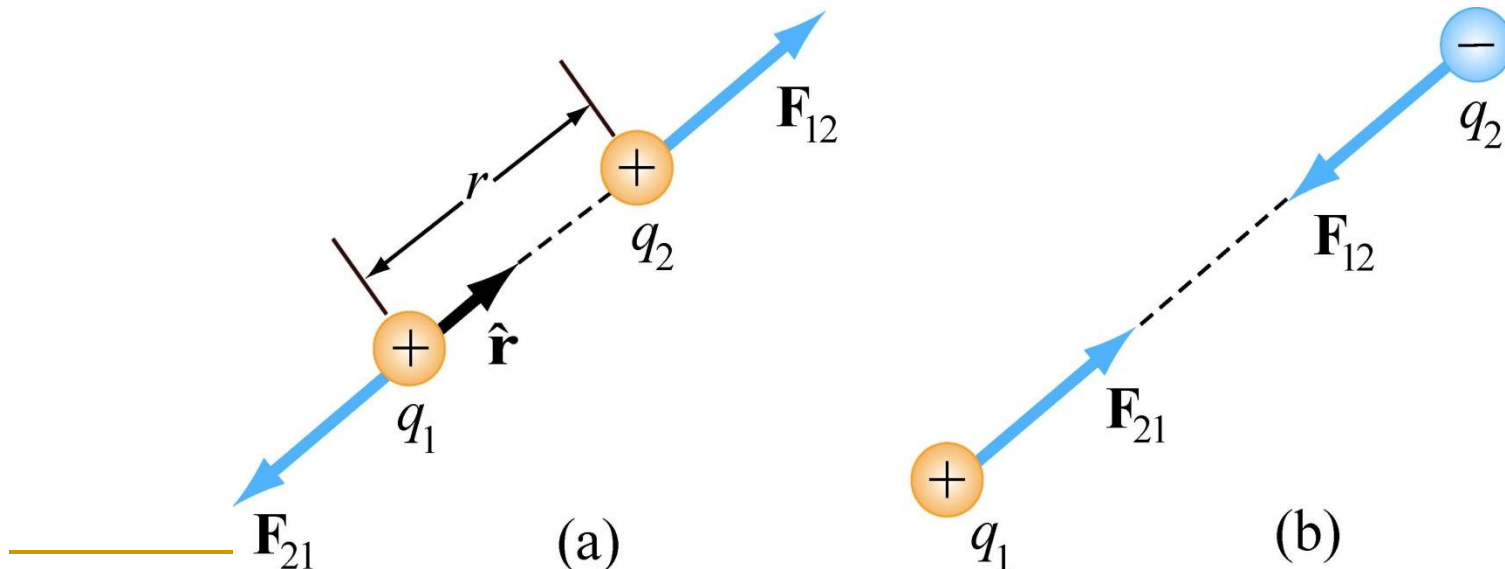


Gaya Listrik

Gaya listrik antara muatan q_1 dan q_2 adalah

(a) tolak-menolak jika muatan-muatan bertanda sama

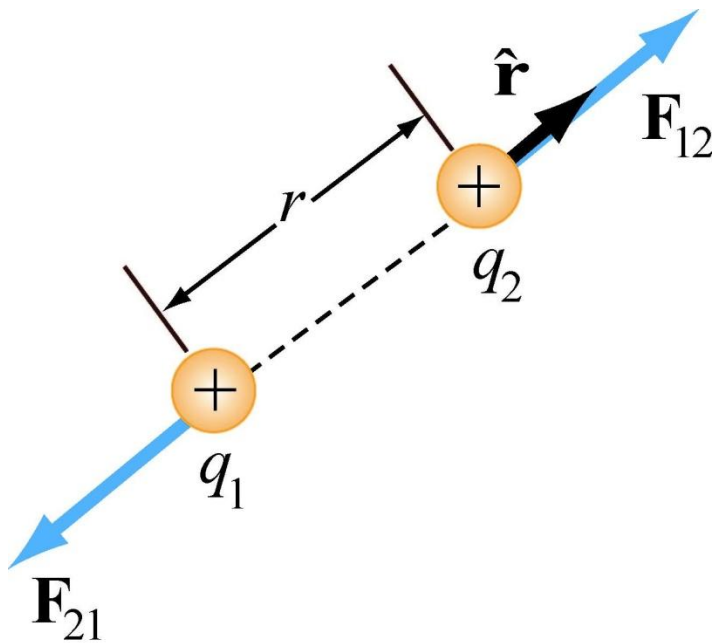
(a) tarik-menarik jika muatan-muatan berlainan tanda



Hukum Coulomb

- Hukum Coulomb: Gaya oleh q_1 pada q_2

$$\vec{\mathbf{F}}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

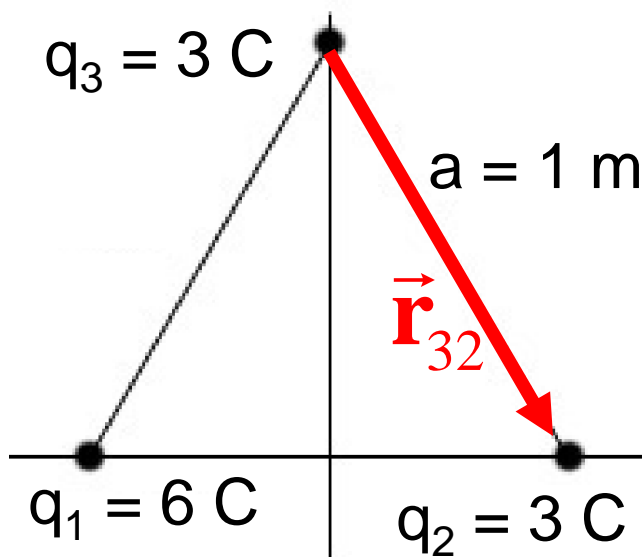


$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

$\hat{\mathbf{r}}$: vektor satuan dari q_1 ke q_2

$$\hat{\mathbf{r}} = \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r} \Rightarrow \vec{\mathbf{F}}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{\mathbf{r}}$$

Contoh Hukum Coulomb



$$\vec{\mathbf{F}}_{32} = ?$$

$$\vec{\mathbf{r}}_{32} = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{i}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \hat{\mathbf{j}} \text{ m}$$

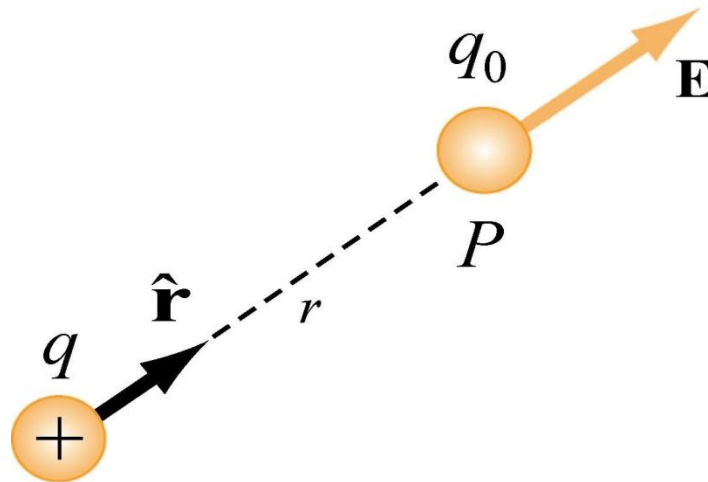
$$r = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \vec{\mathbf{F}}_{32} &= k_e q_3 q_2 \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r^3} = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2 \quad 3\text{C} \quad 3\text{C} \quad \frac{\frac{1}{2} \hat{\mathbf{i}} - \sqrt{3} \hat{\mathbf{j}} \text{ m}}{1\text{m}^3} \\ &= \frac{81 \times 10^9}{2} \hat{\mathbf{i}} - \sqrt{3} \hat{\mathbf{j}} \text{ N} \end{aligned}$$

Medan Listrik

- Medan listrik pada suatu titik adalah gaya yang bekerja pada muatan uji q_0 pada titik tersebut, dibagi dengan muatan q_0 :

$$\vec{\mathbf{E}} \equiv \frac{\vec{\mathbf{F}}}{q_0}$$

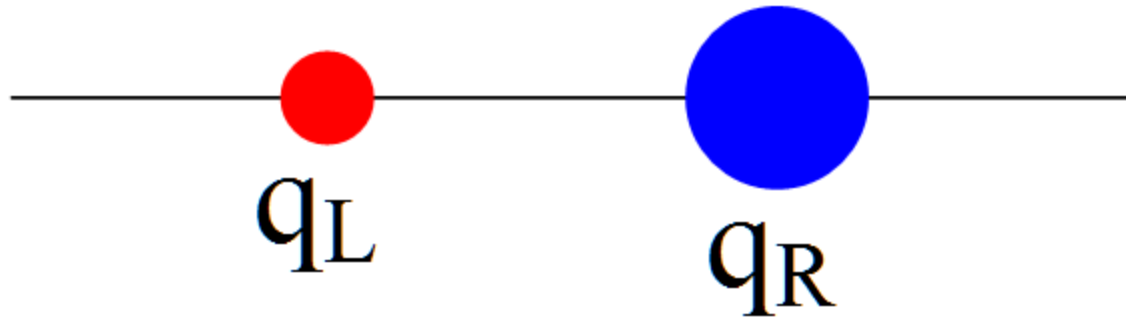


Untuk sebuah muatan titik q : $\vec{\mathbf{E}} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$

Satuan: N/C, juga Volt/meter

Tes konsep: Medan Listrik

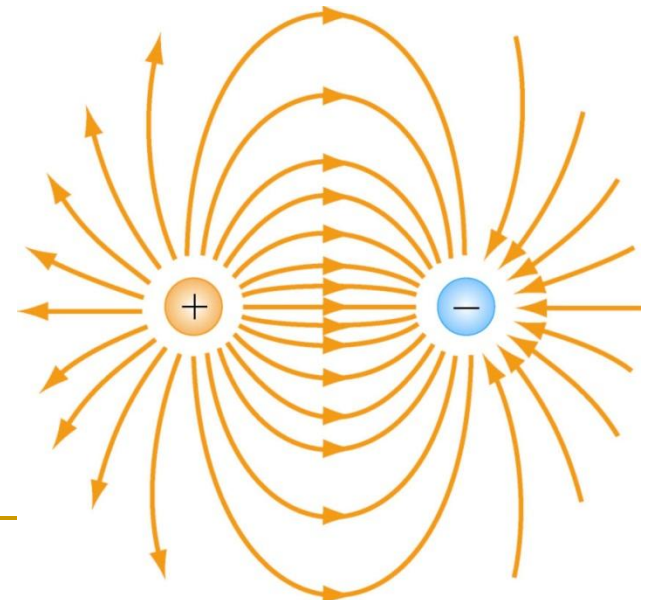
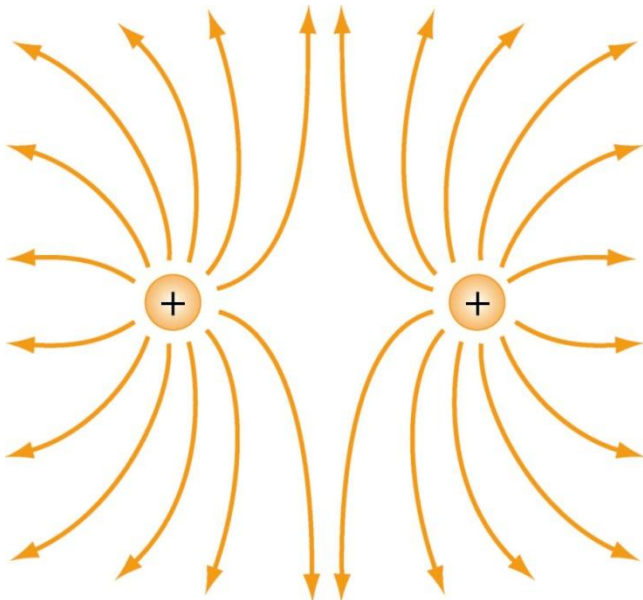
Dua muatan berbeda jenis ditempatkan dalam satugaris. Muatan q_R tiga kali lebih besar dari muatan q_L . Selain di takhingga, dimanakah titik yang medan listriknya nol?



1. Diantara dua muatan
2. Di sebelah kanan muatan q_R
3. Disebelah kiri muatan q_L
4. Tidak ada
5. Tidak cukup informasi – perlu tahu yang mana yang positif
6. Tidak tahu

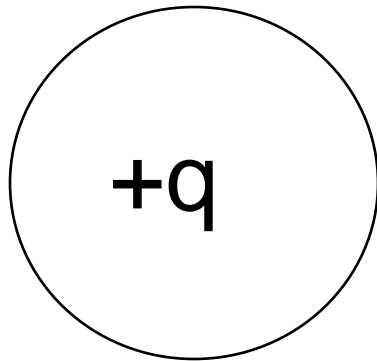
Garis Medan Listrik

1. Arah garis medan listrik pada suatu titik adalah menyinggung medan pada titik tersebut
2. Garis medan meninggalkan titik muatan positif dan menuju muatan negatif
3. Garis medan tidak pernah saling berpotongan

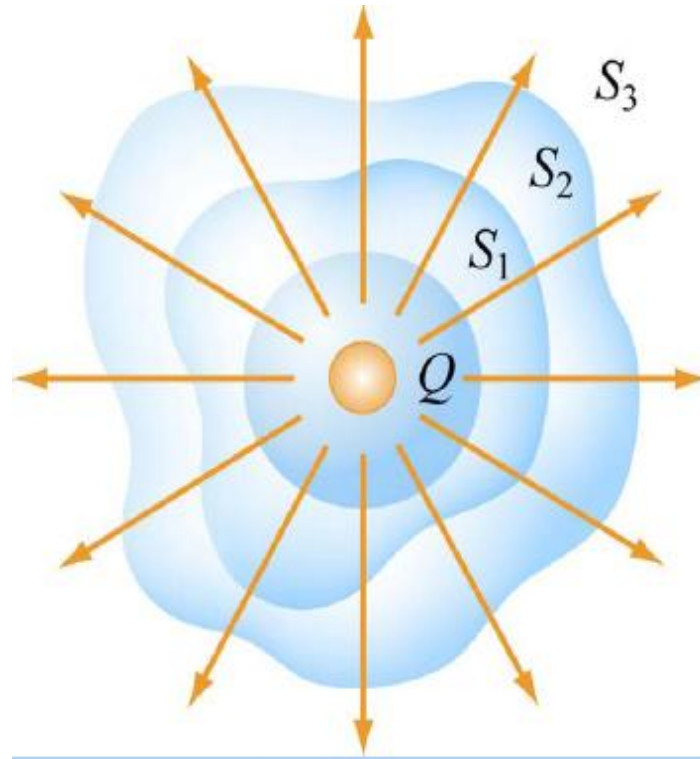


Bagaimana anda memperoleh benda bermuatan?

- Gesekan
- Transfer (Sentuhan)
- Induksi



Hukum Gauss – Idenya



Total “flux” yang menembus setiap permukaan adalah sama dan hanya bergantung pada jumlah muatan di dalam permukaan tersebut

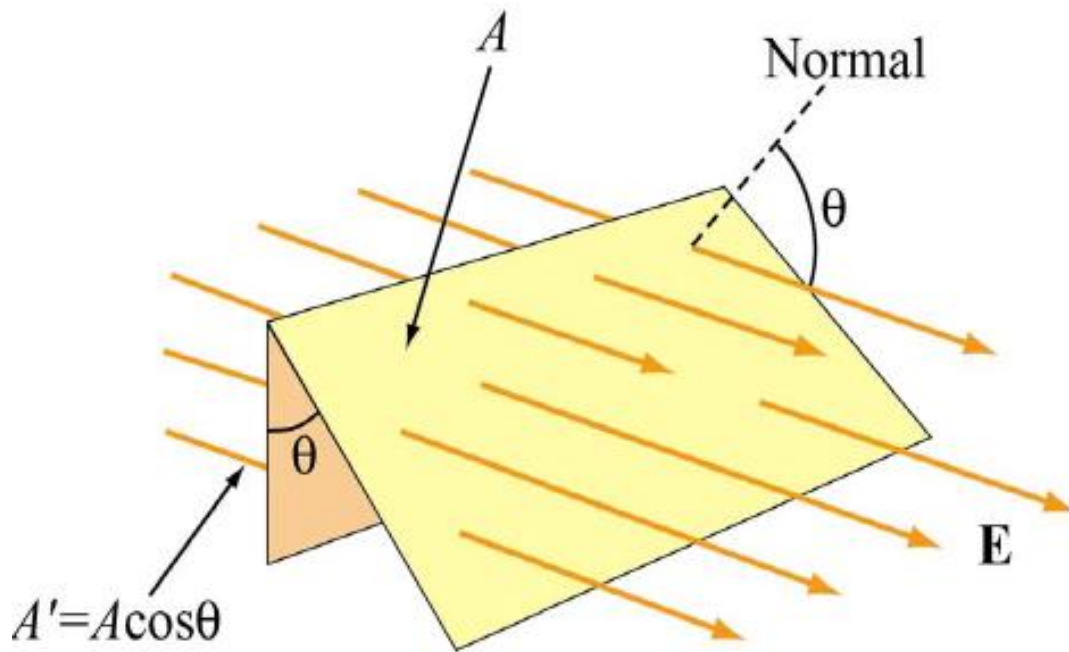
Hukum Gauss – Persamaan

$$\Phi_E = \oiint_{\text{closed surface } S} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

Fluks Listrik Φ_E (Integral permukaan dari \mathbf{E} mencakup permukaan tertutup S) adalah berbanding lurus dengan muatan yang berada di dalam volume yang diselimuti oleh S

Fluks Listrik Φ_E

Kasus II: \mathbf{E} merupakan medan vektor konstan membentuk sudut θ terhadap bidang dengan permukaan S dan luasnya A



$$\Phi_E = \iint \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

$$\Phi_E = EA \cos \theta$$

Langkah Penggunaan Hukum Gauss

1. Identifikasi daerah yang akan ditentukan \mathbf{E} nya.

2. Tentukan permukaan Gauss S : Simetri.

3. Hitung fluks listrik

$$\Phi_E = \oiint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

4. Hitung q_{in} , muatan yang dilingkupi oleh permukaan S .

5. Gunakan Hukum Gauss untuk menghitung \mathbf{E} :

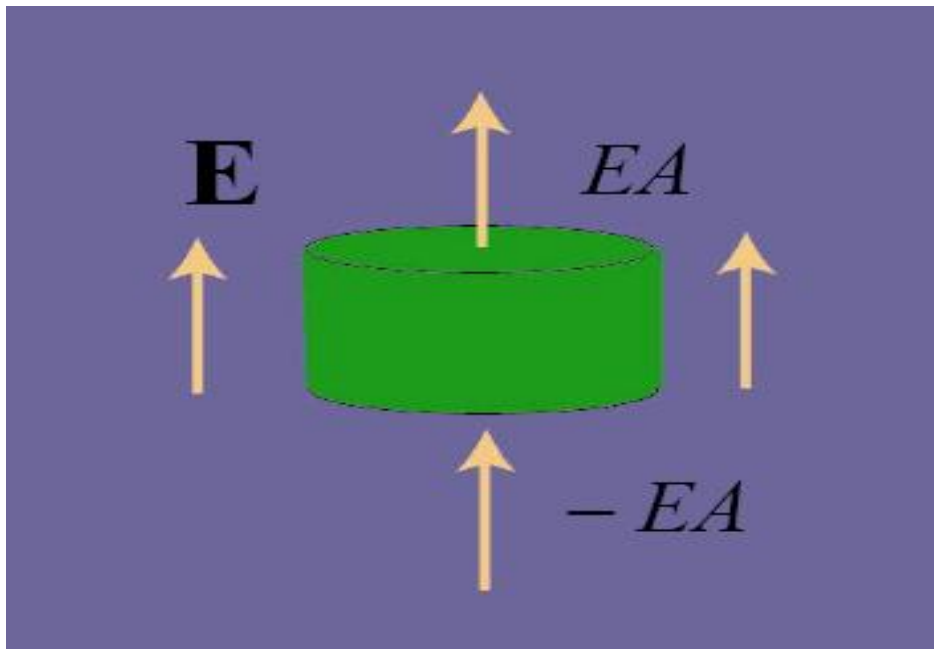
$$\Phi_E = \oiint_{\text{closed surface } S} \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

Pemilihan Permukaan Gauss

Pilihlah permukaan dimana \mathbf{E} tegak lurus & konstan. Sehingga fluksnya adalah EA atau $-EA$.

ATAU

Pilihlah permukaan dimana \mathbf{E} paralel. Sehingga fluksnya nol



Contoh: Medan Uniform

- Di permukaan atas, fluks bernilai EA
- Di permukaan bawah, fluks bernilai $-EA$
- Pada sisi-sisi permukaan, fluks bernilai nol

Energi Potensial dan Potensial

Gravitasi - Elektrostatik

Mass M

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

Charge q (\pm)

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

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

Kedua gaya adalah konservatif, sehingga...

$$\Delta V_g = -\int_A^B \vec{g} \cdot d\vec{s}$$

$$\Delta U_g = -\int_A^B \vec{F}_g \cdot d\vec{s}$$

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

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

Potensial & Energi

$$\Delta V \equiv -\int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$

Satuan:
Joule/Coulomb
= Volt

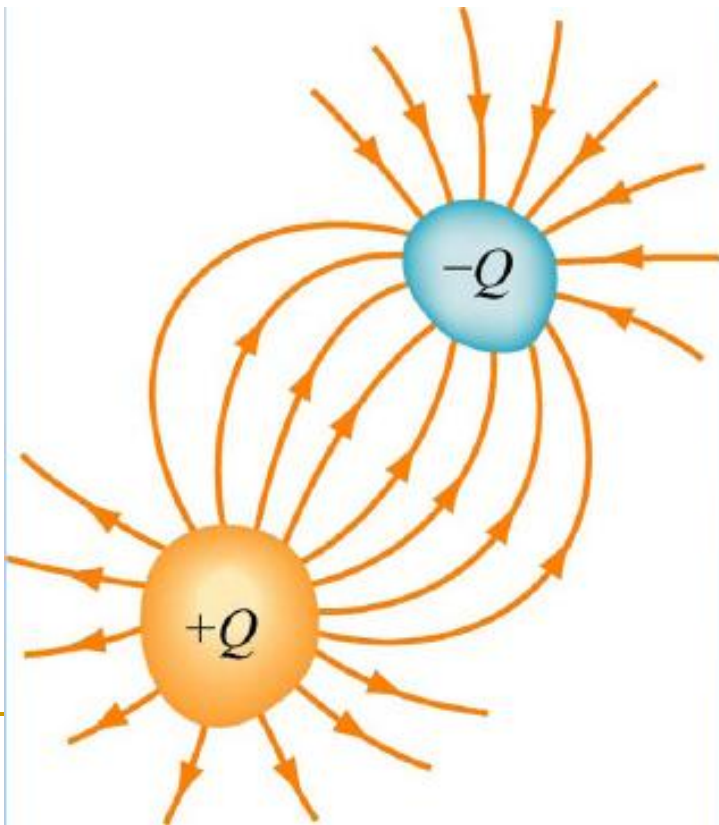
Usaha untuk memindahkan q dari A ke B :

$$\begin{aligned} W_{ext} &= \Delta U = U_B - U_A \\ &= q\Delta V \quad \text{Joules} \end{aligned}$$

Kapasitor dan Kapasitansi

Kapasitor: Penyimpanan Muatan & Energi Listrik

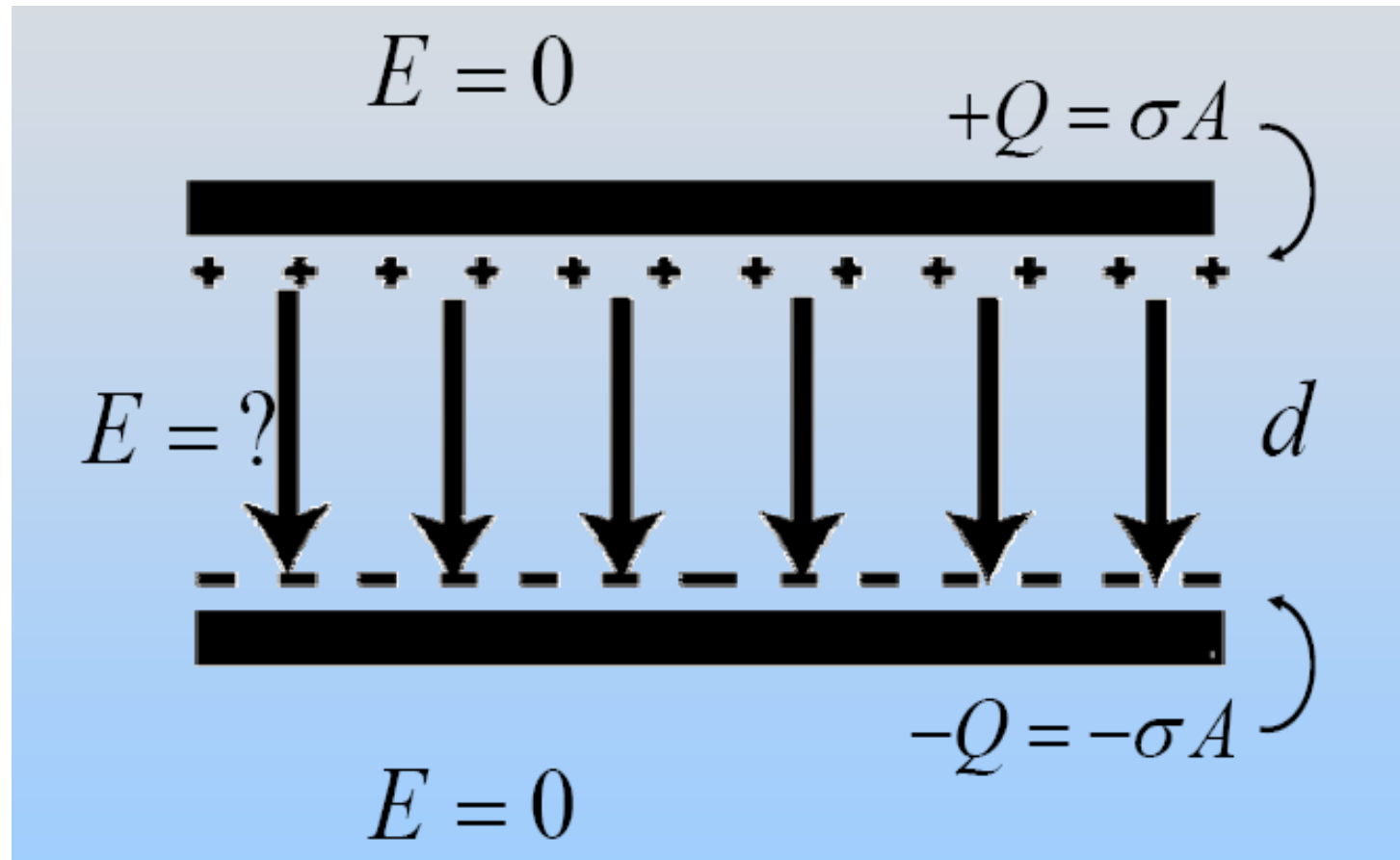
Kapasitor: dua konduktor terisolasi dengan muatan yang sama Q dan berbeda tanda dan beda potensial ΔV diantaranya.



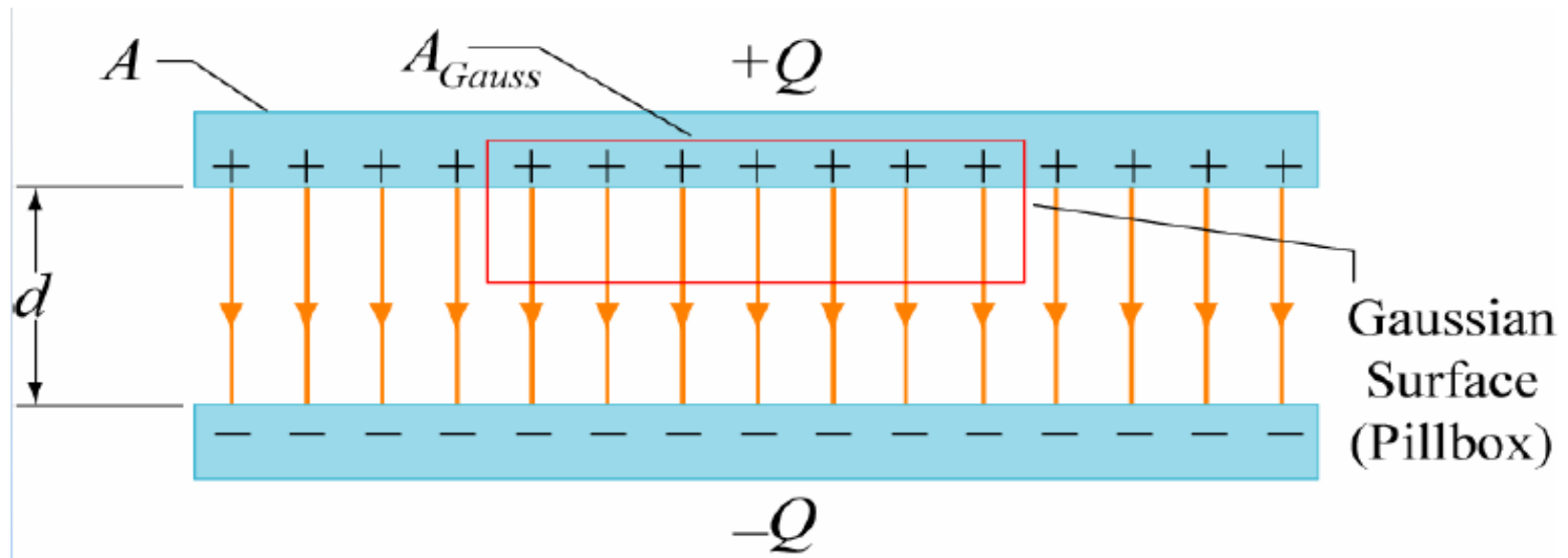
$$C = \frac{Q}{|\Delta V|}$$

**Satuan: Coulomb/Volt
atau Farad**

Kapasitor Plat Sejajar



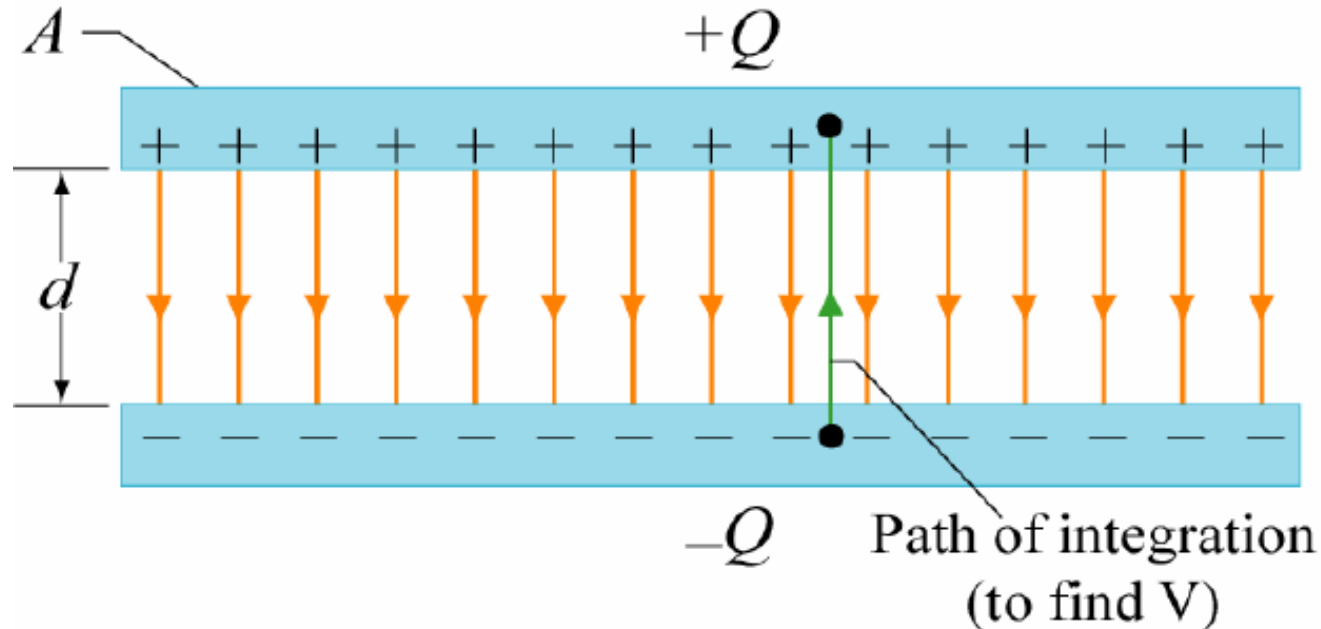
Menghitung E (Hukum Gauss)



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

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

Kapasitor Plat Sejajar



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

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

C hanya bergantung pada faktor geometri A dan d

Energ yang Tersimpan dalam Kapasitor

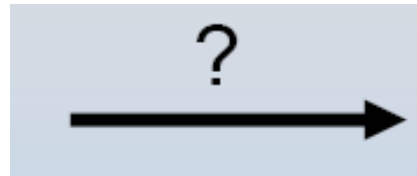
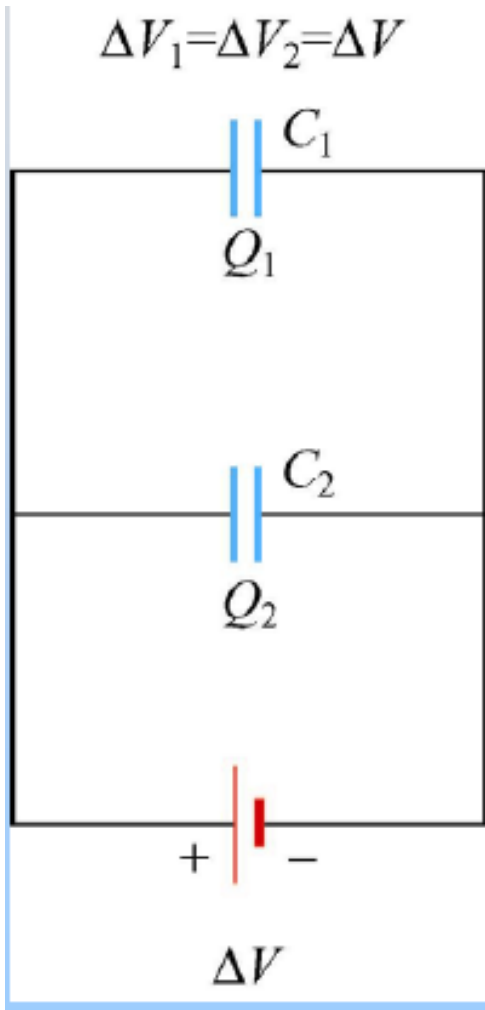
Karena

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

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

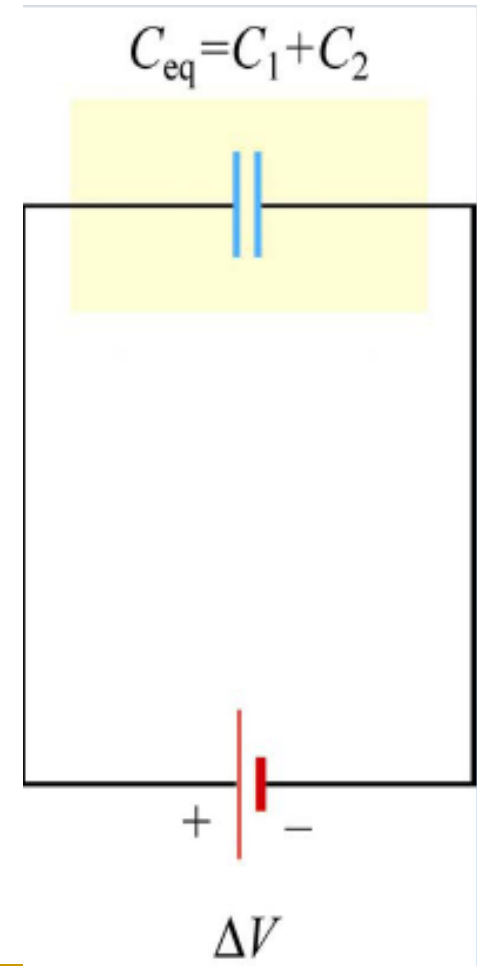
Dimanakah energi tersimpan???

Kapasitansi Equivalen



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

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



Kapasitansi Equivalen

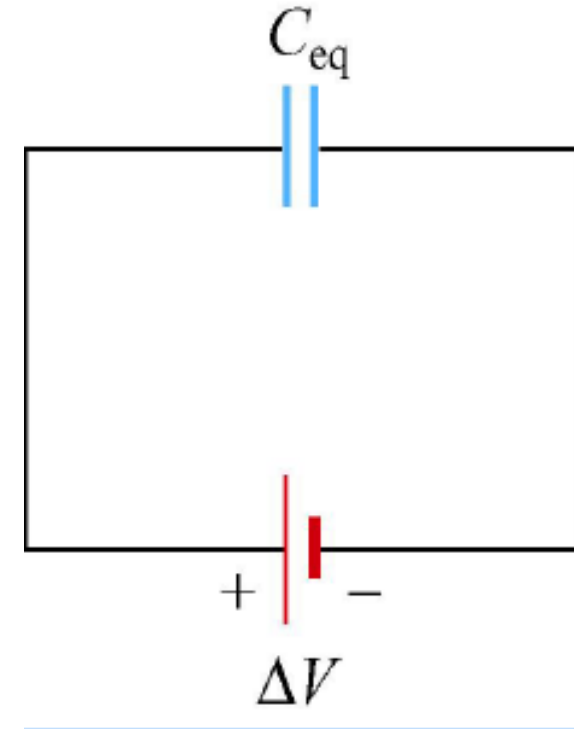
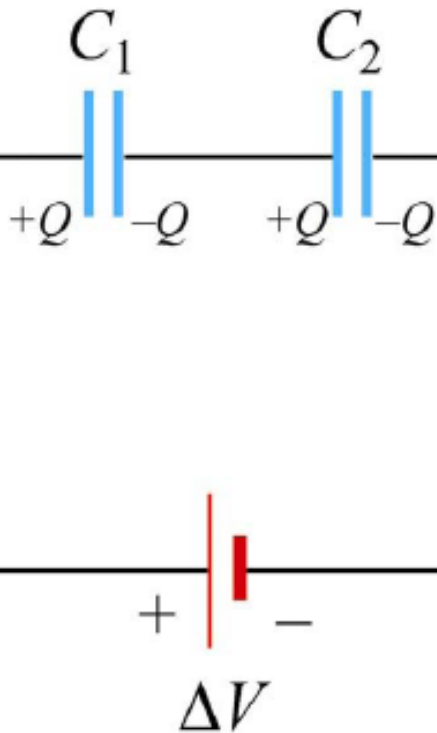
$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

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

(Tegangan dijumlahkan pada susunan seri)

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

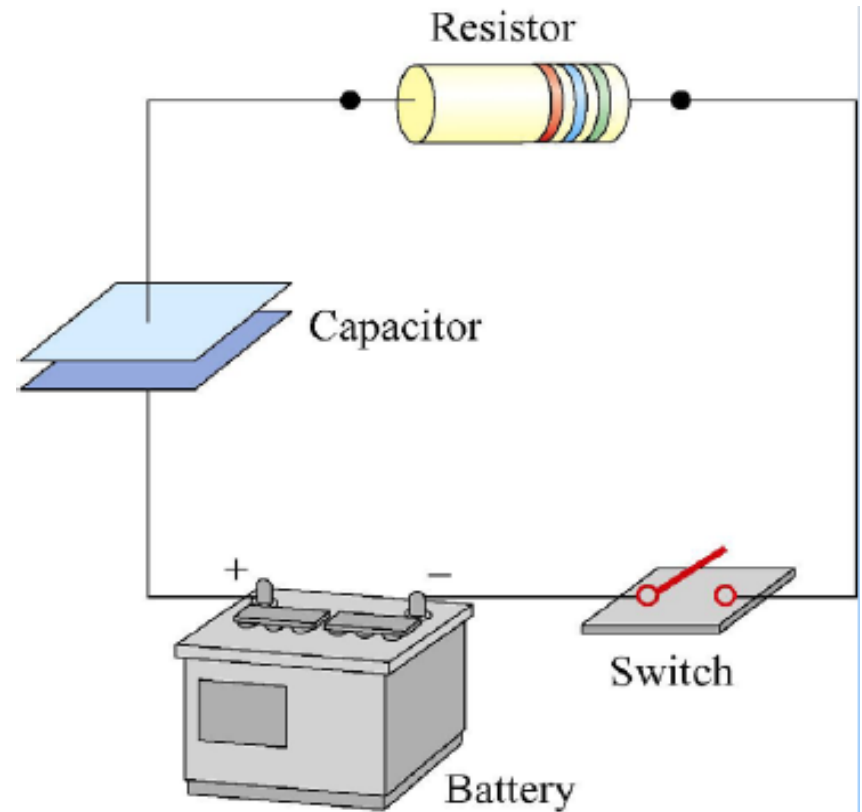
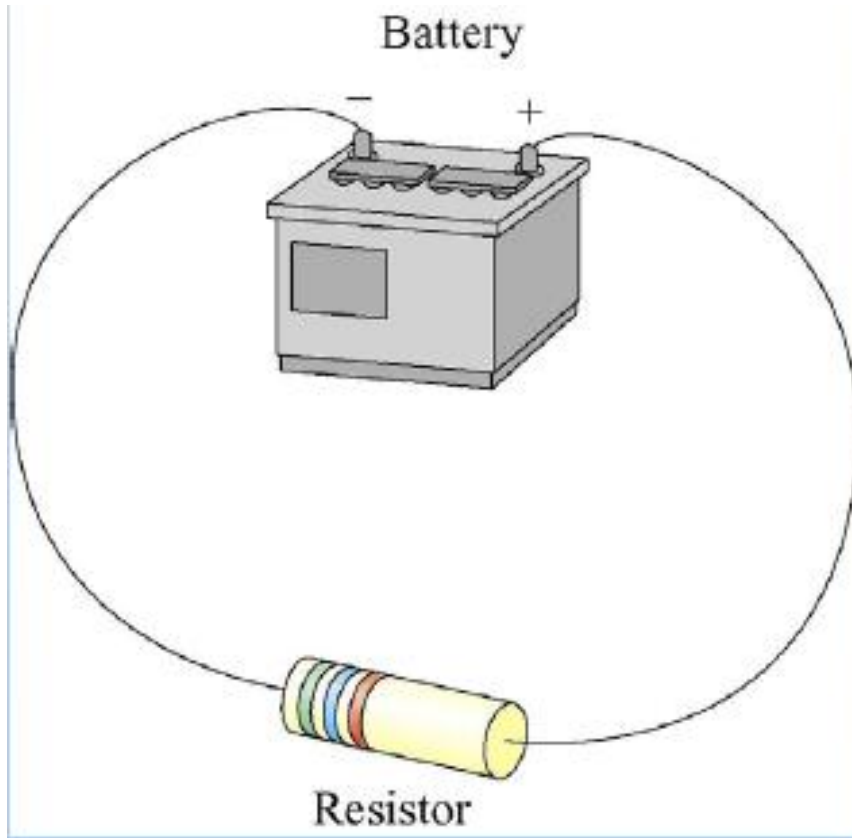
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Hambatan & Arus Listrik

Rangkaian DC

Contoh Rangkaian



Arus: Aliran muatan

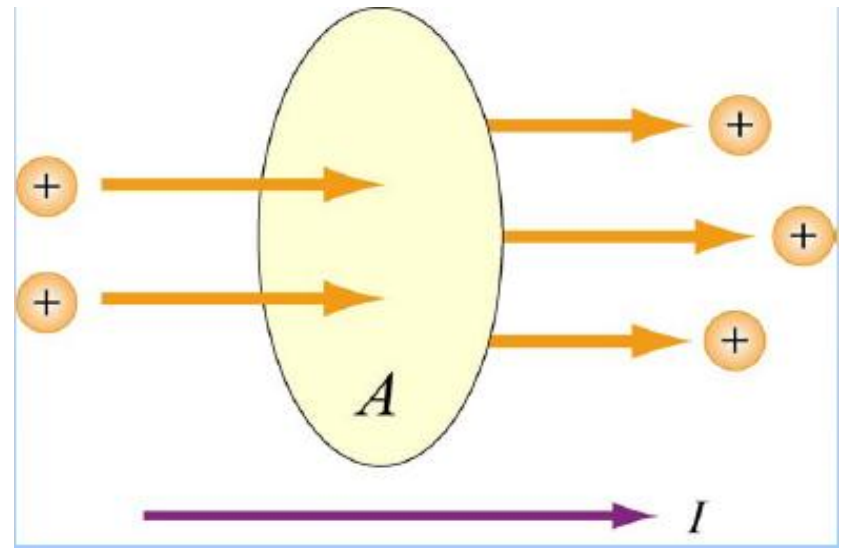
Arus rata-rata I_{av} : Muatan ΔQ yang mengalir melalui luas A dalam waktu Δt

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Arus sesaat :

limit $\Delta t \rightarrow 0$ dari I_{av}

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

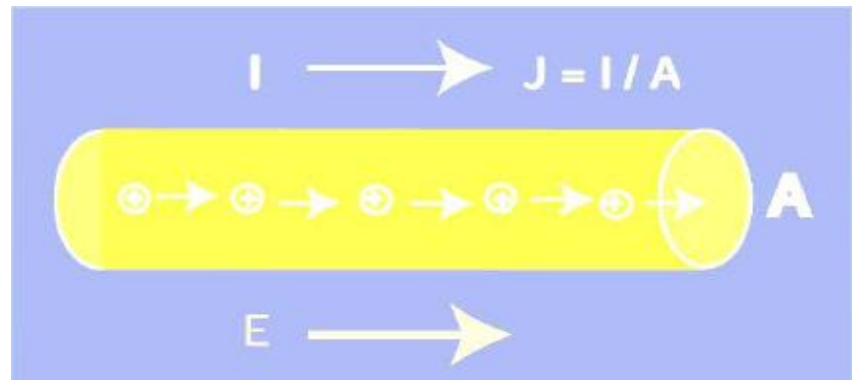


Satuan arus: Coulomb/sekon = Ampere

Hukum Ohm Mikroskopik

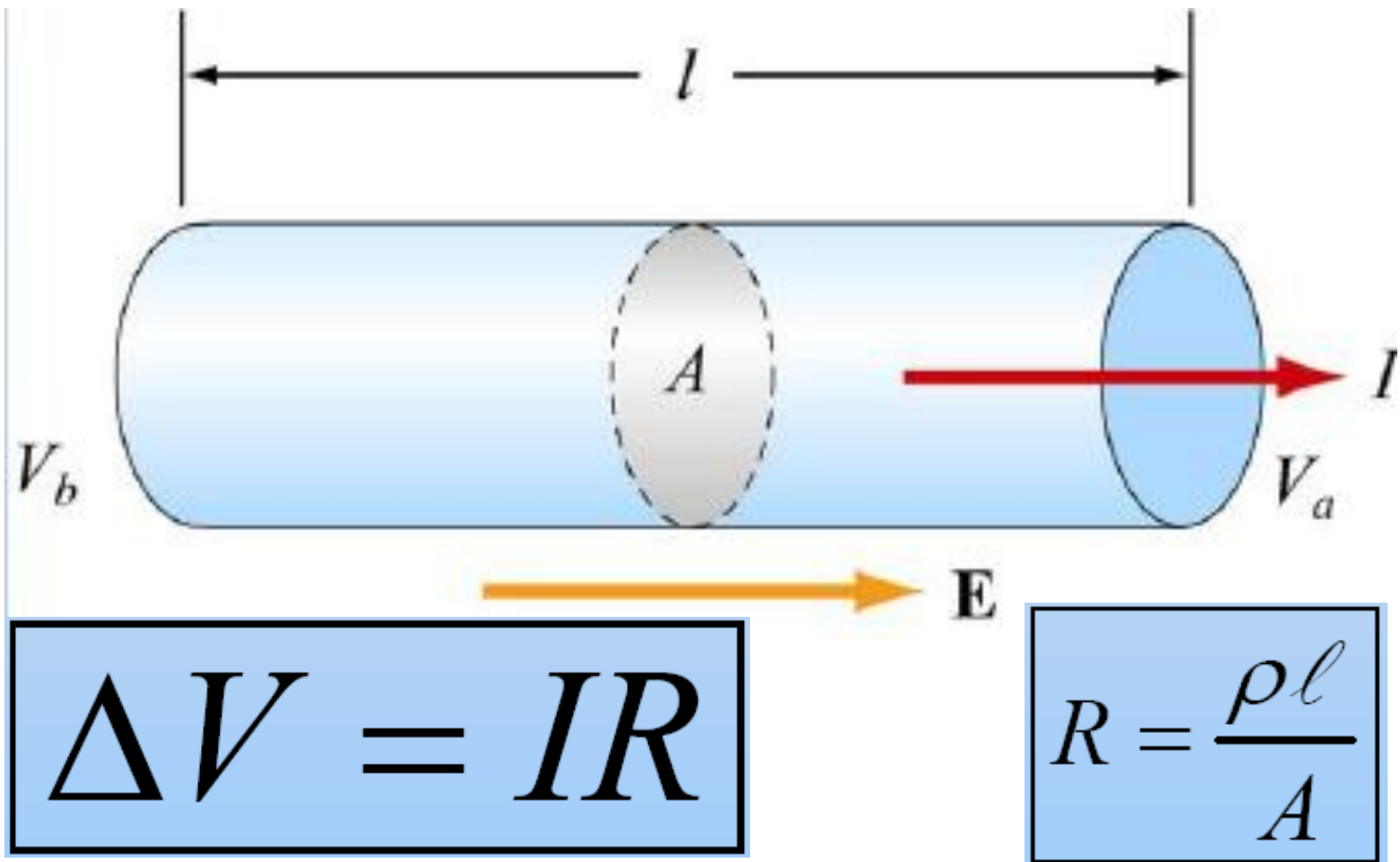
$$\vec{\mathbf{E}} = \rho \vec{\mathbf{J}} \quad \text{or} \quad \vec{\mathbf{J}} = \sigma \vec{\mathbf{E}}$$

$$\rho \equiv \frac{1}{\sigma}$$



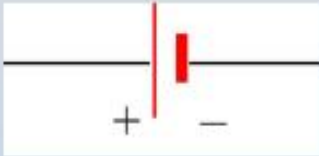



ρ dan σ hanya bergantung pada sifat mikroskopis bahan, bukan pada bentuk.

Hukum Ohm



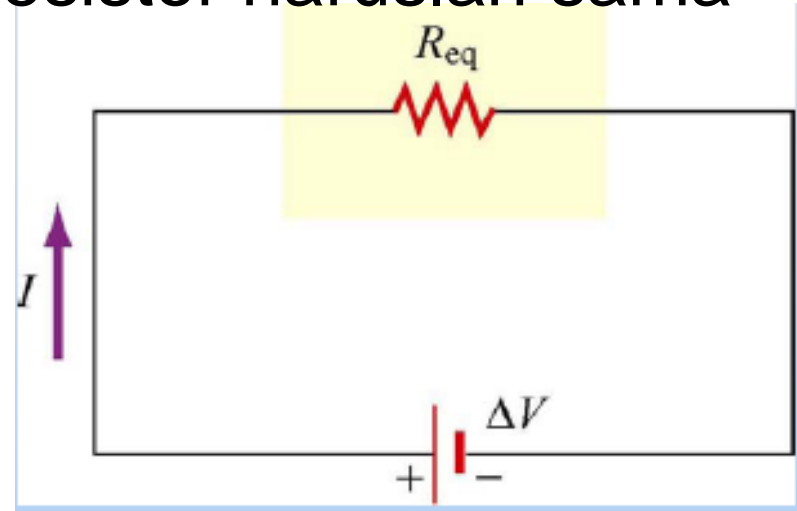
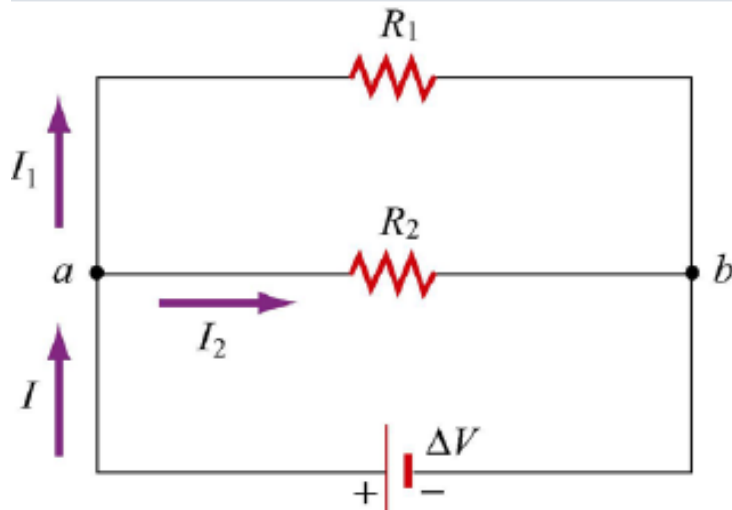
R memiliki satuan Ohm (Ω) = Volt/Amp

Simbol untuk Elemen Listrik pada Rangkaian

Battery	
Resistor	
Capacitor	
Switch	

Susunan Resistor Paralel

Tegangan pada tiap resistor haruslah sama



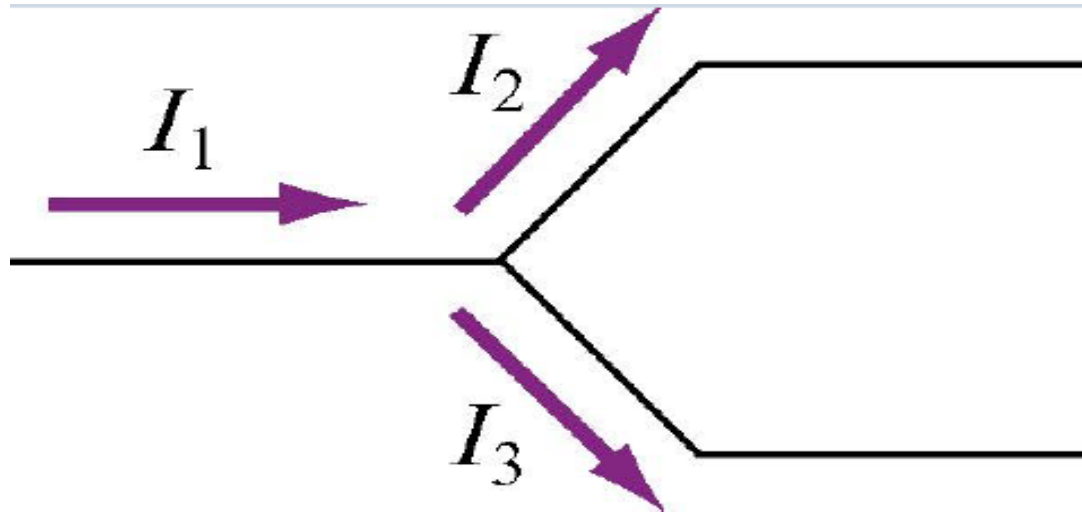
$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I R_{eq}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Hukum Kirchhoff

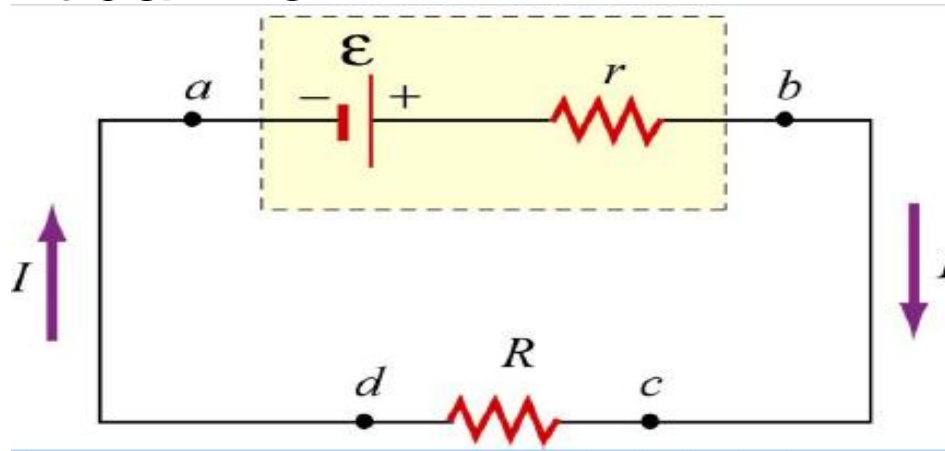
1. Jumlah arus yang masuk pada suatu persimpangan haruslah sama dengan jumlah arus yang keluar dari persimpangan.



$$I_1 = I_2 + I_3$$

Hambatan Dalam

Batrei nyata memiliki hambatan dalam r , yang sangat kecil tetapi tidak nol



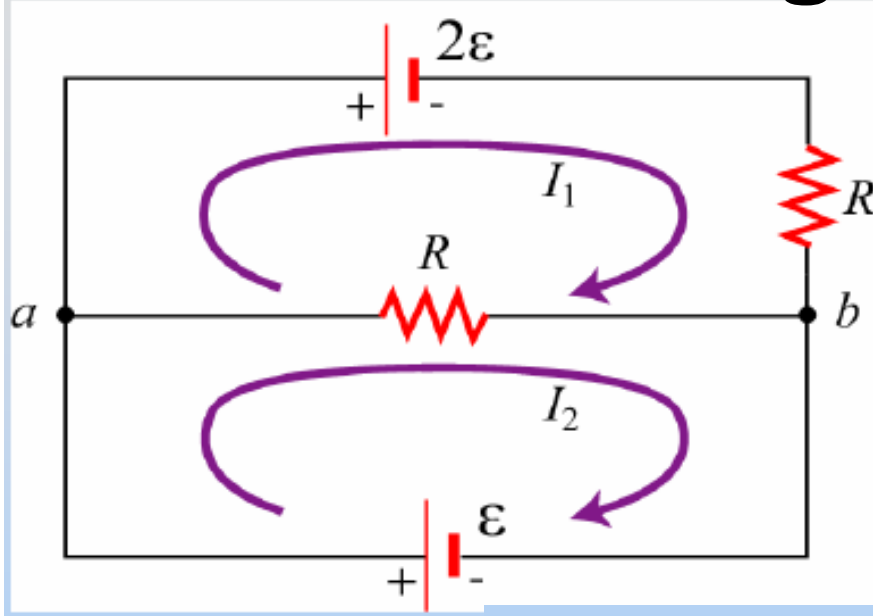
Animasi 6.5

Tegangan Terminal:

$$\Delta V = V_b - V_a = \mathcal{E} - I r$$

(Meskipun anda hubung singkatkan ujung-ujungnya, anda tidak akan memperoleh arus takhingga)

Contoh: Rangkaian Sederhana



Langkah 2, 3 dan 4:

Langkah 5:

$$-2\varepsilon - I_1 R - (I_1 - I_2) R = 0$$

$$-(I_2 - I_1) R + \varepsilon = 0$$

Langkah 6: $-2\varepsilon - I_1 R + \varepsilon = 0 \rightarrow I_1 = \frac{-\varepsilon}{R}$

Harga I_2 : $(I_2 - I_1) R = \varepsilon \rightarrow I_2 = \frac{\varepsilon}{R} + I_1$

$$I_2 = 0$$

Daya Listrik

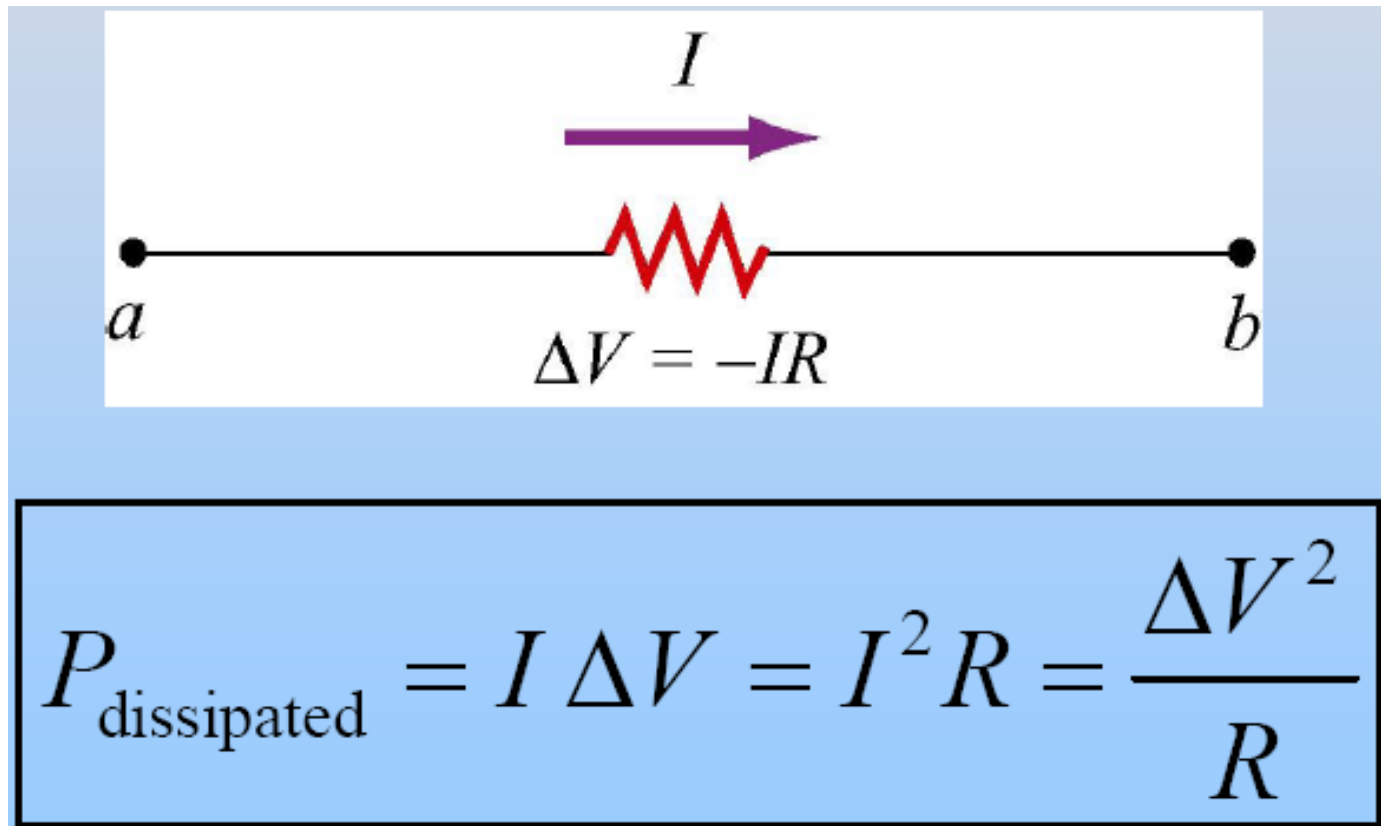
Daya adalah perubahan energi tiap satuan waktu.

$$P = \frac{d}{dt}U = \frac{d}{dt}(q\Delta V) = \frac{dq}{dt}\Delta V$$

$$P = I \Delta V$$

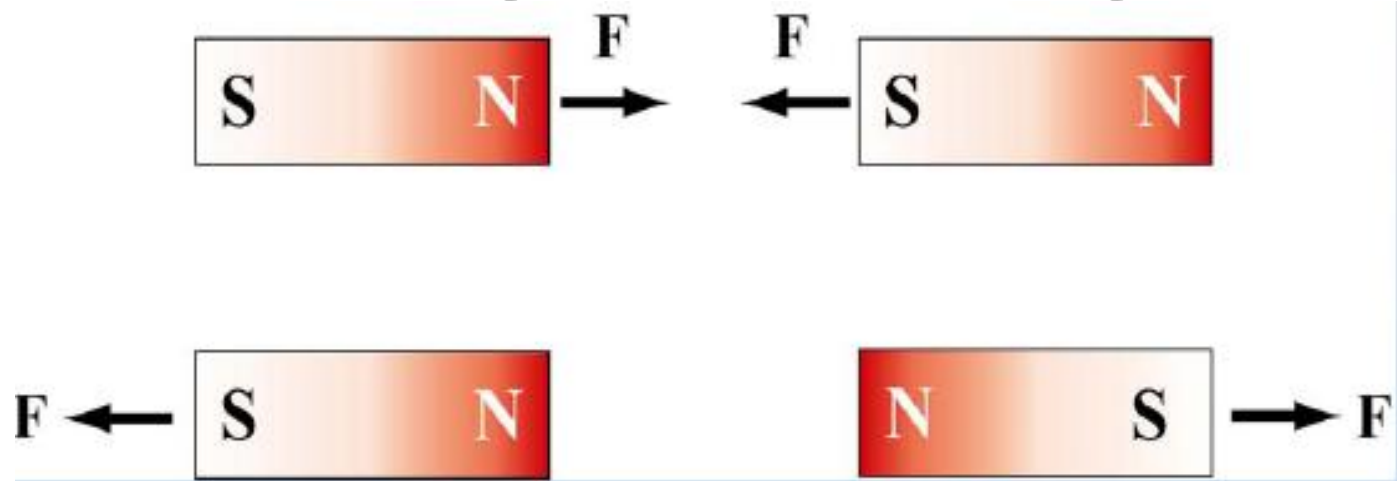
Daya - Resistor

Bergerak melalui resistor searah dengan arah arus: potensial **menurun**. Resistor selalu **mendisipasi** daya



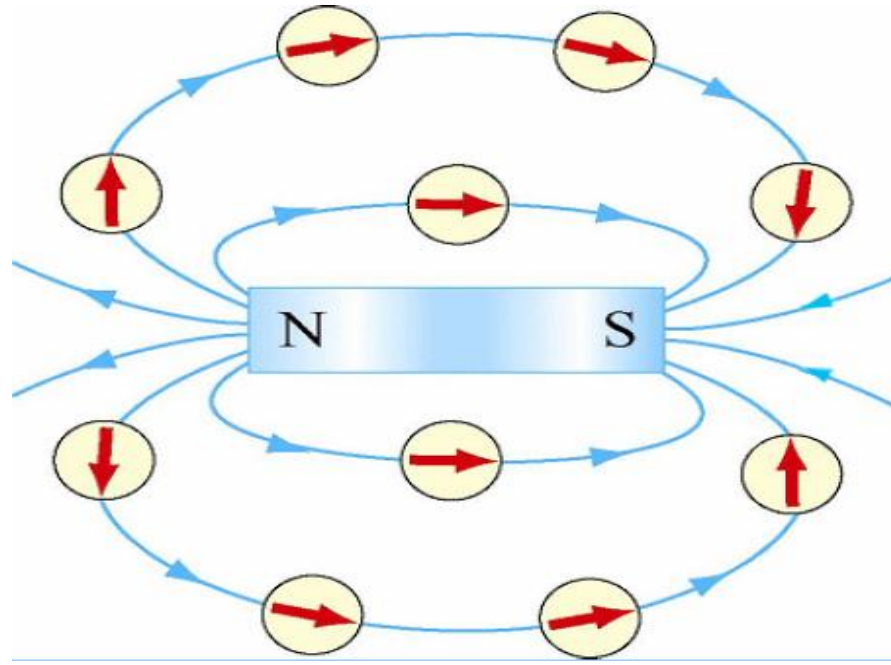
Medan dan Gaya Magnet

Magnet Batang



Kutub sejenis tolak menolak, berlawanan jenis tarik menarik

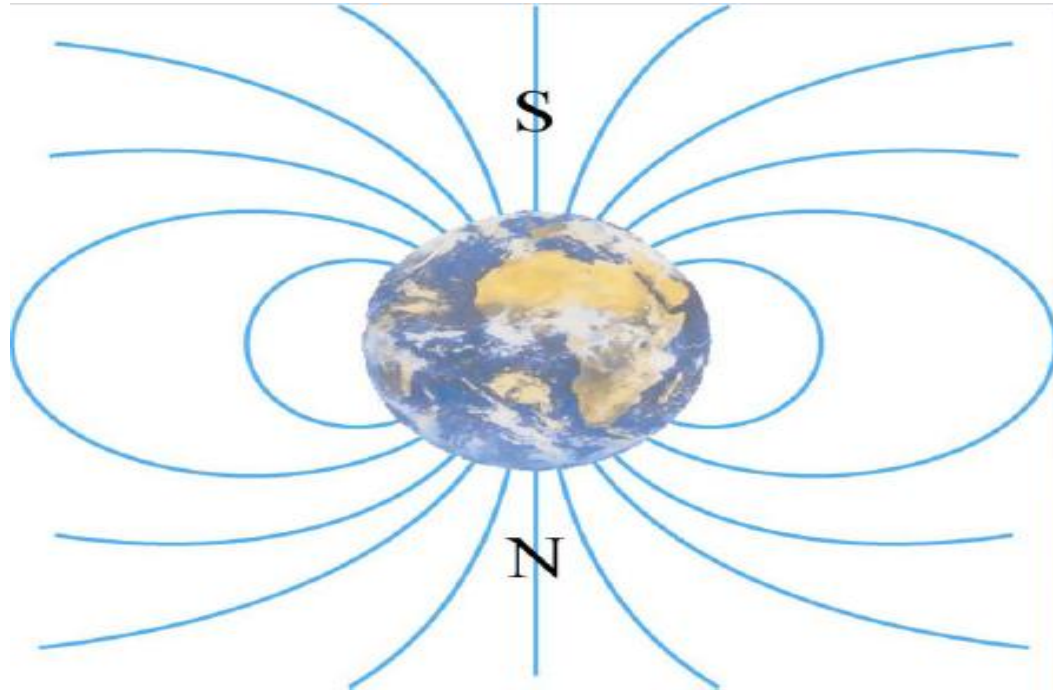
Medan Magnet dari Magnet Batang



- (1) Sebuah magnet mempunyai dua kutub, North (N) dan South (S)
- (2) Arah medan Magnet meninggalkan N, berakhir di S

Apa lagi yang termasuk magnet?

Medan Magnet Bumi

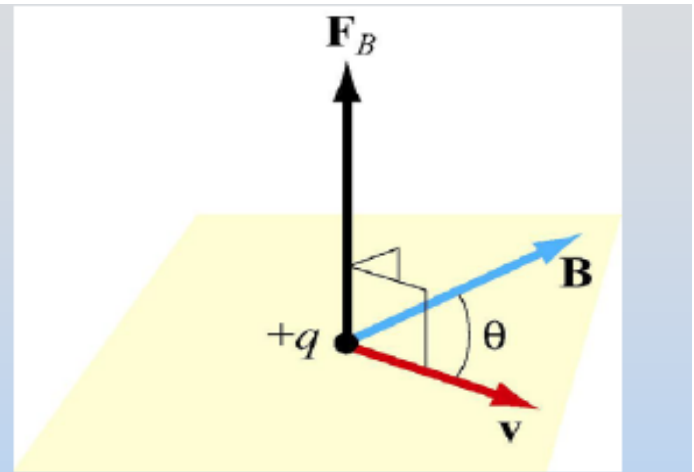
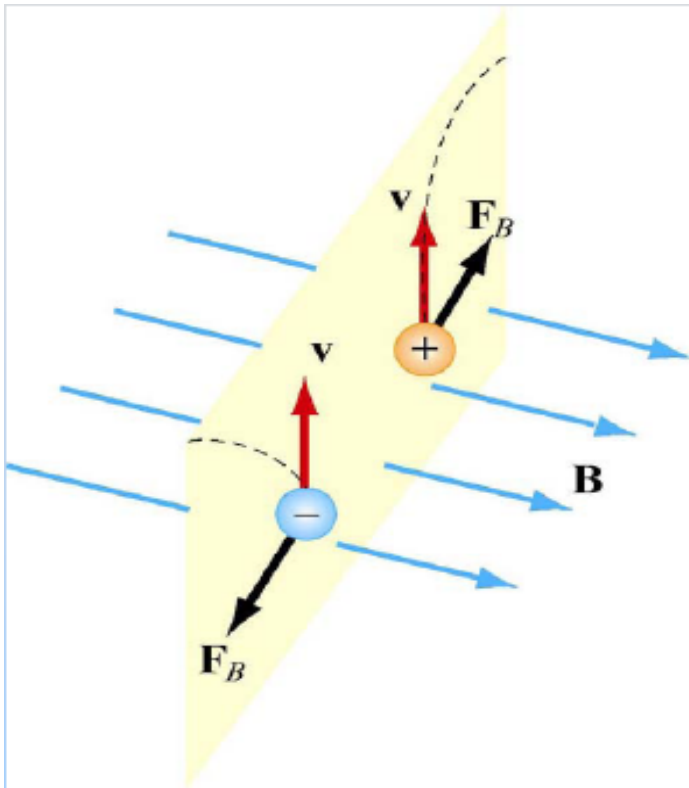


Juga
merupakan
dipol
magnet

Kutub utara magnet adalah kutub selatan bumi

Gaya Magnet

Muatan yang Bergerak Merasakan Gaya Magnet



$$\vec{\mathbf{F}}_B = q \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}$$

Gaya magnet tegak lurus terhadap:

Kecepatan \mathbf{v} dari muatan dan medan magnet \mathbf{B}

Medan Magnet B: Satuan

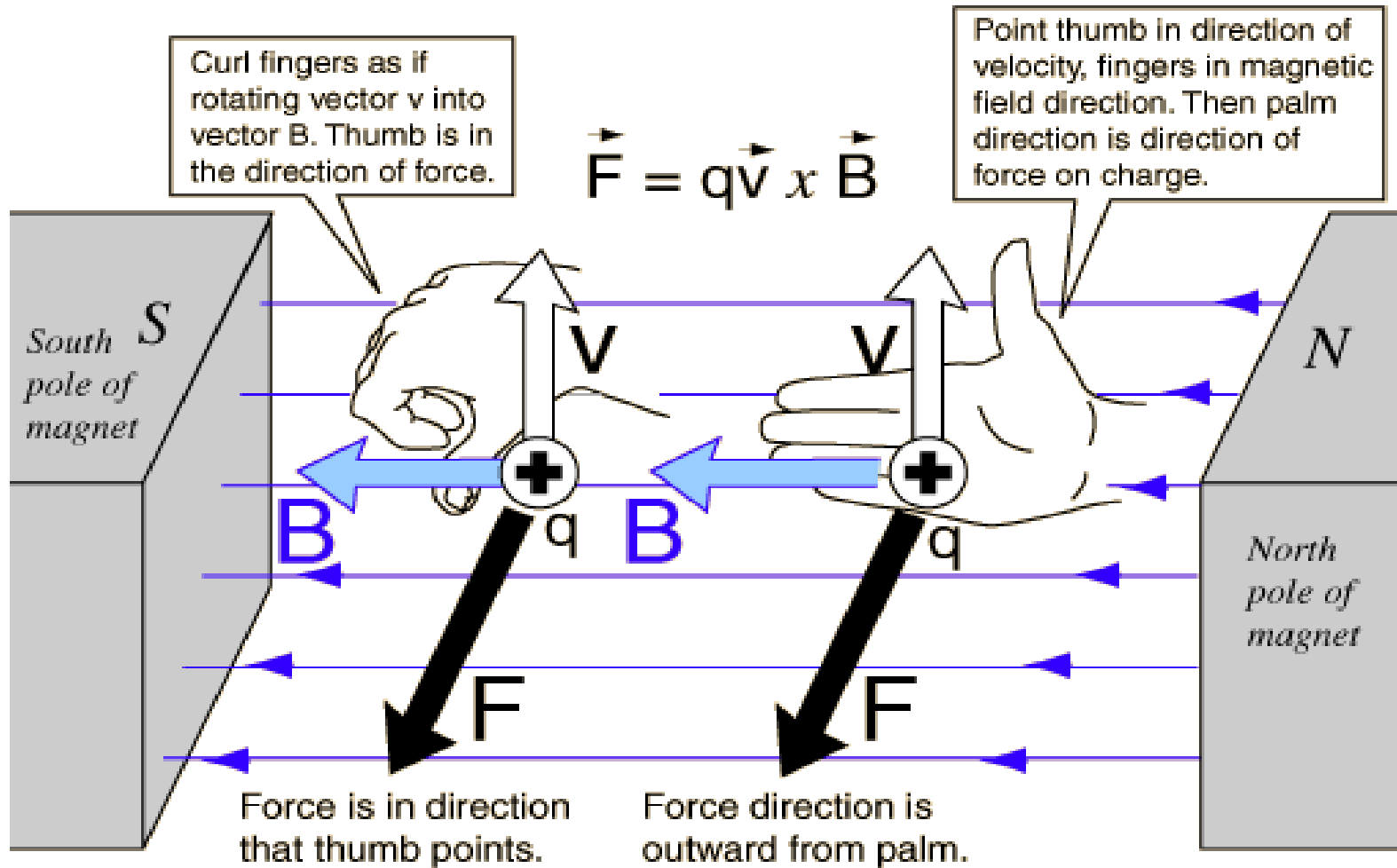
Karena $\vec{\mathbf{F}}_B = q \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}$

$$\text{B Units} = \frac{\text{newton}}{(\text{coulomb})(\text{meter/second})} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m/s}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

This is called 1 Tesla (T)

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss (G)}$$

Aturan Tangan Kanan 1



Gaya Magnet + Gaya Listrik: = Gaya Lorentz

Muatan merasakan...

$$\vec{\mathbf{F}}_E = q\vec{\mathbf{E}} \qquad \vec{\mathbf{F}}_B = q\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}$$

Medan Listrik

Medan Magnet

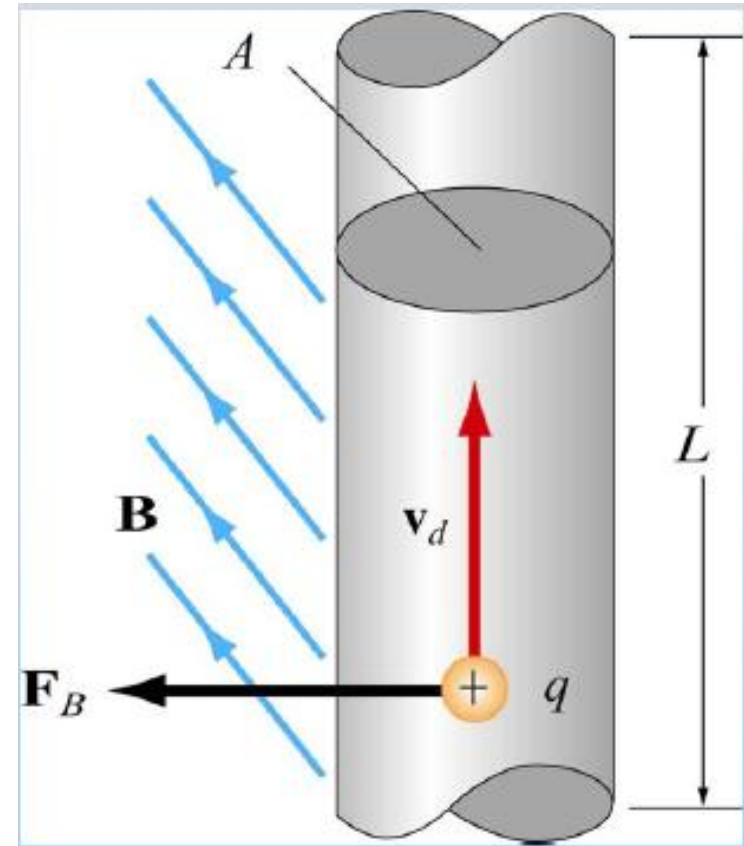
$$\vec{\mathbf{F}} = q \left(\vec{\mathbf{E}} + \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \right)$$

Kawat Berarus

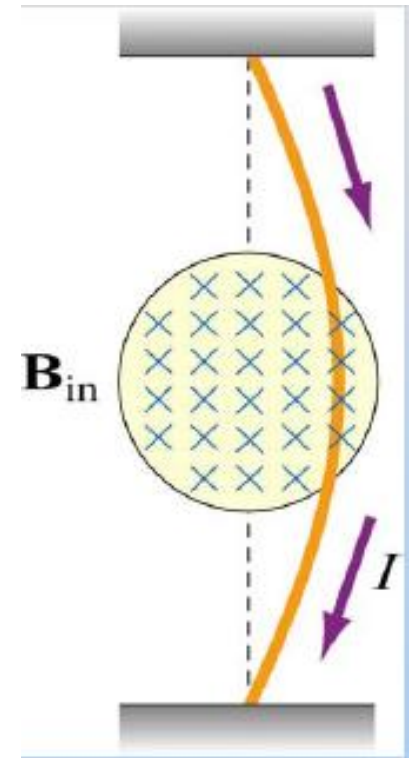
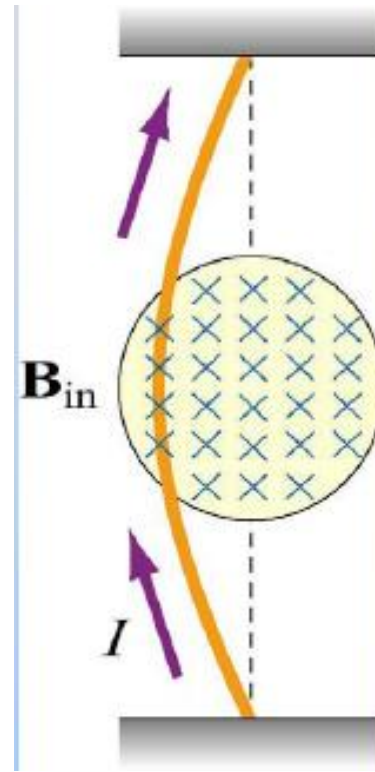
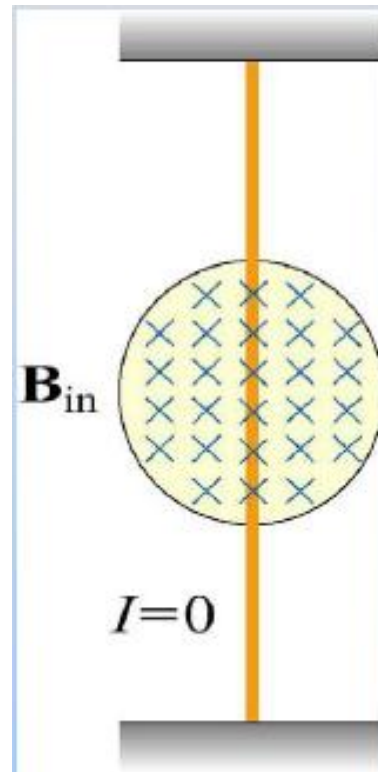
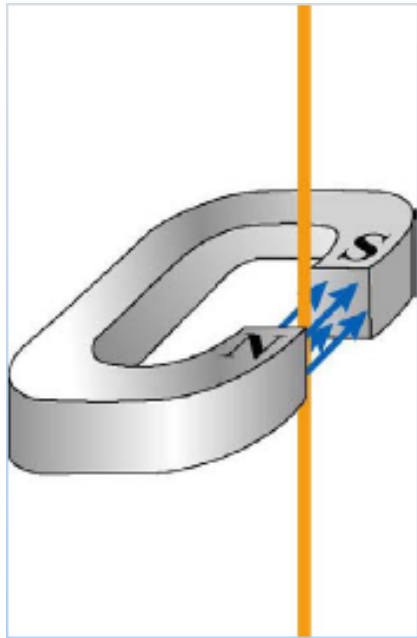
Gaya Magnet pada Kawat Berarus

$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{F}}_B &= q\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \\ &= (\text{charge}) \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \vec{\mathbf{B}} \\ &= \frac{\text{charge}}{\text{s}} \text{m} \times \vec{\mathbf{B}}\end{aligned}$$

$$\vec{\mathbf{F}}_B = I (\vec{\mathbf{L}} \times \vec{\mathbf{B}})$$



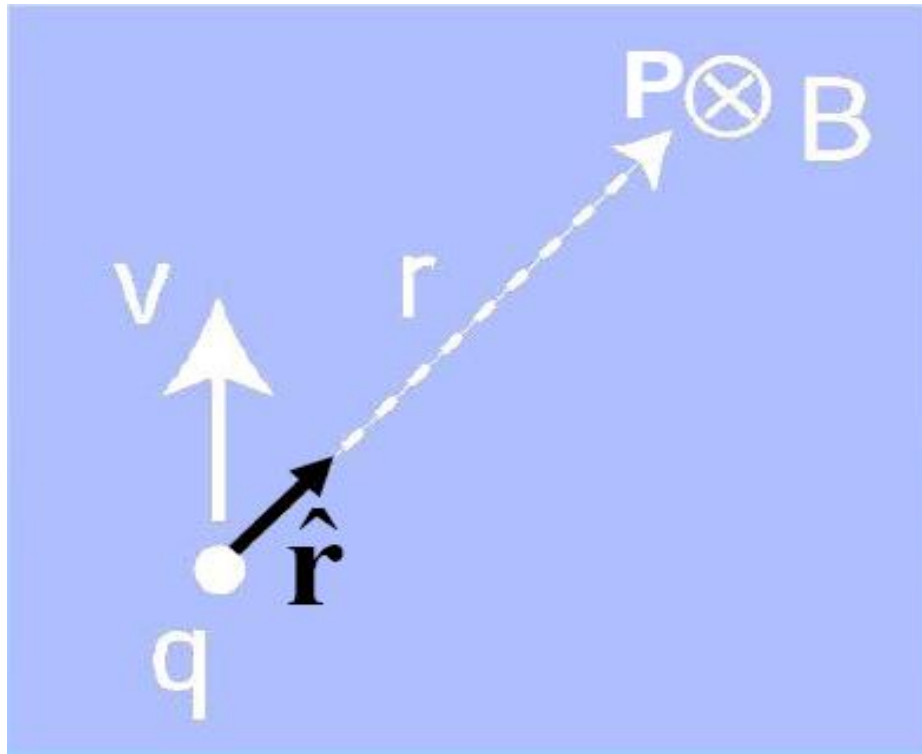
Gaya Magnet pada Kawat Berarus



Arus adalah muatan yang bergerak, dan kita ketahui bahwa muatan yang bergerak **merasakan** gaya dalam suatu medan magnet

Medan Magnet oleh Muatan yang Bergerak

Muatan yang bergerak dengan kecepatan \mathbf{v} menghasilkan medan magnet:



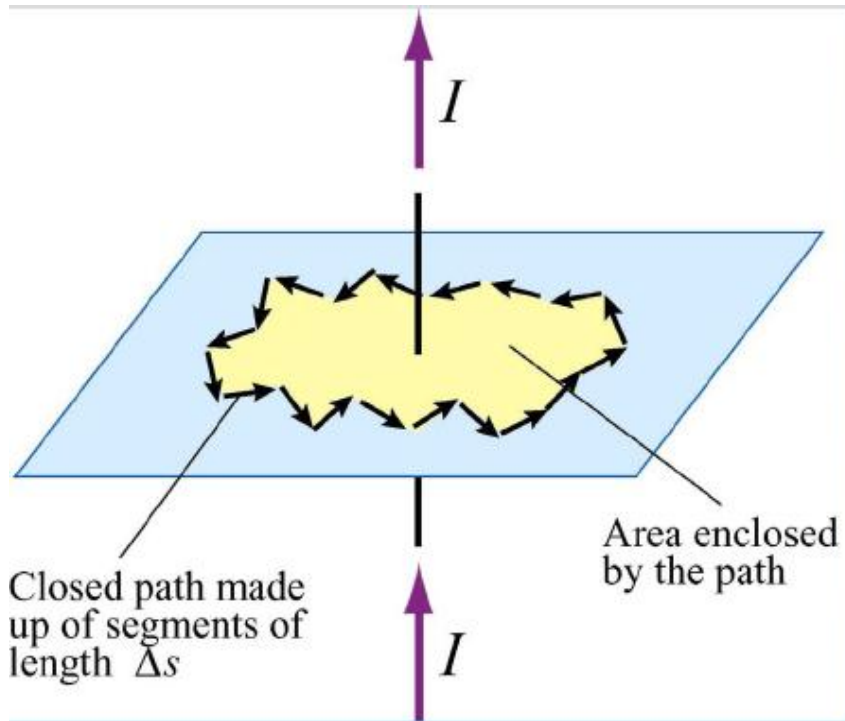
$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vec{\mathbf{v}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$\hat{\mathbf{r}}$: Vektor satuan
berarah dari q ke P

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ permeabilitas vakum

Hukum Ampere: Persamaan

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = \mu_0 I_{enc}$$



Integral garisnya sepanjang lintasan tertutup yang mengelilingi sebuah permukaan terbuka S .

I_{enc} adalah arus yang menembus S :

$$I_{enc} = \int_S \vec{\mathbf{J}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

Biot-Savart vs. Ampere

Hukum
Biot-Savart

$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Sumber arus umum
(sembarang)
contoh: kawat
berhingga, kawat
loop

Hukum
Ampere

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = \mu_0 I_{enc}$$

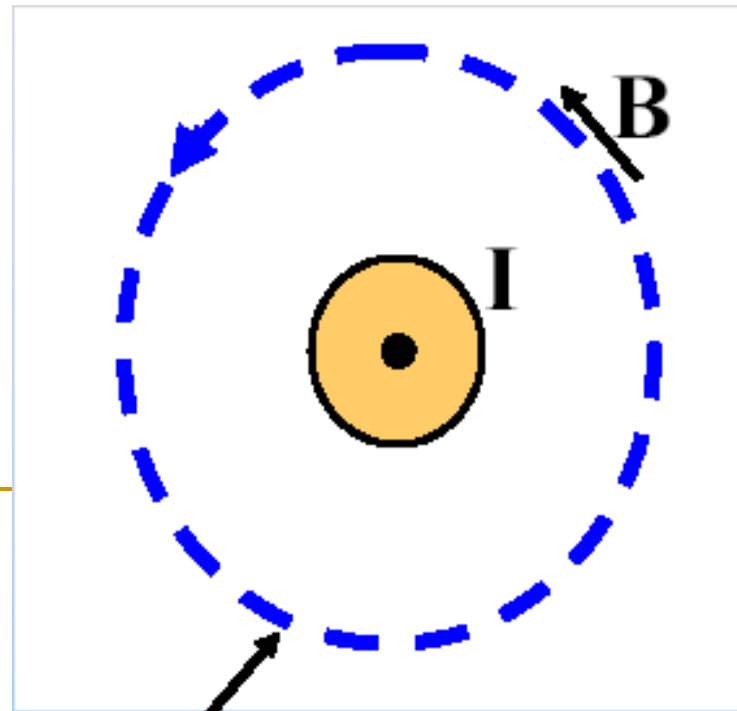
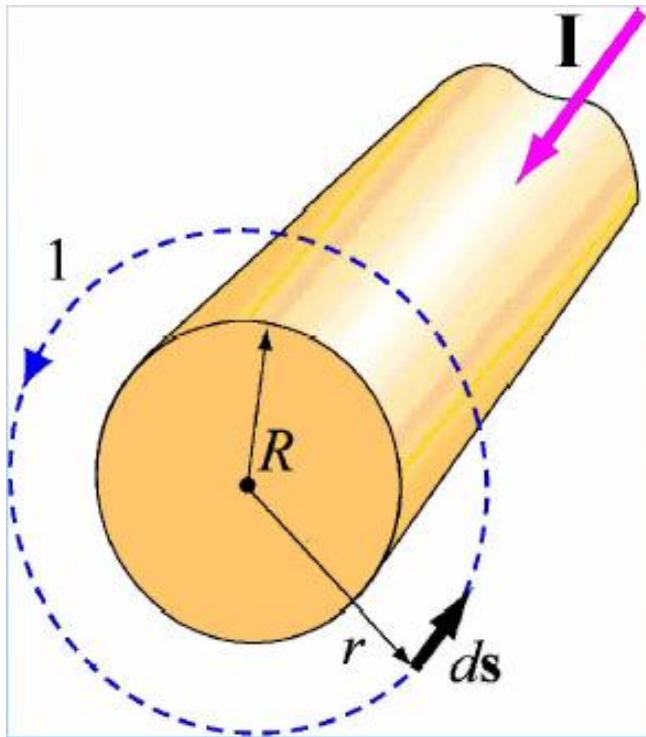
Sumber arus simetri
contoh: kawat
takberhingga,
lembaran arus
takhingga

Penggunaan Hukum Ampere

1. Identifikasi daerah yang akan dihitung medan B nya
Mencari arah B dengan aturan tangan kanan
2. Pilih lintasan Ampere S: Simetri
B = 0 atau konstan pada lintasan Ampere!
3. Hitung $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$
4. Hitung arus yang dilingkupi lintasan Ampere S
5. Gunakan hukum Ampere untuk mencari B

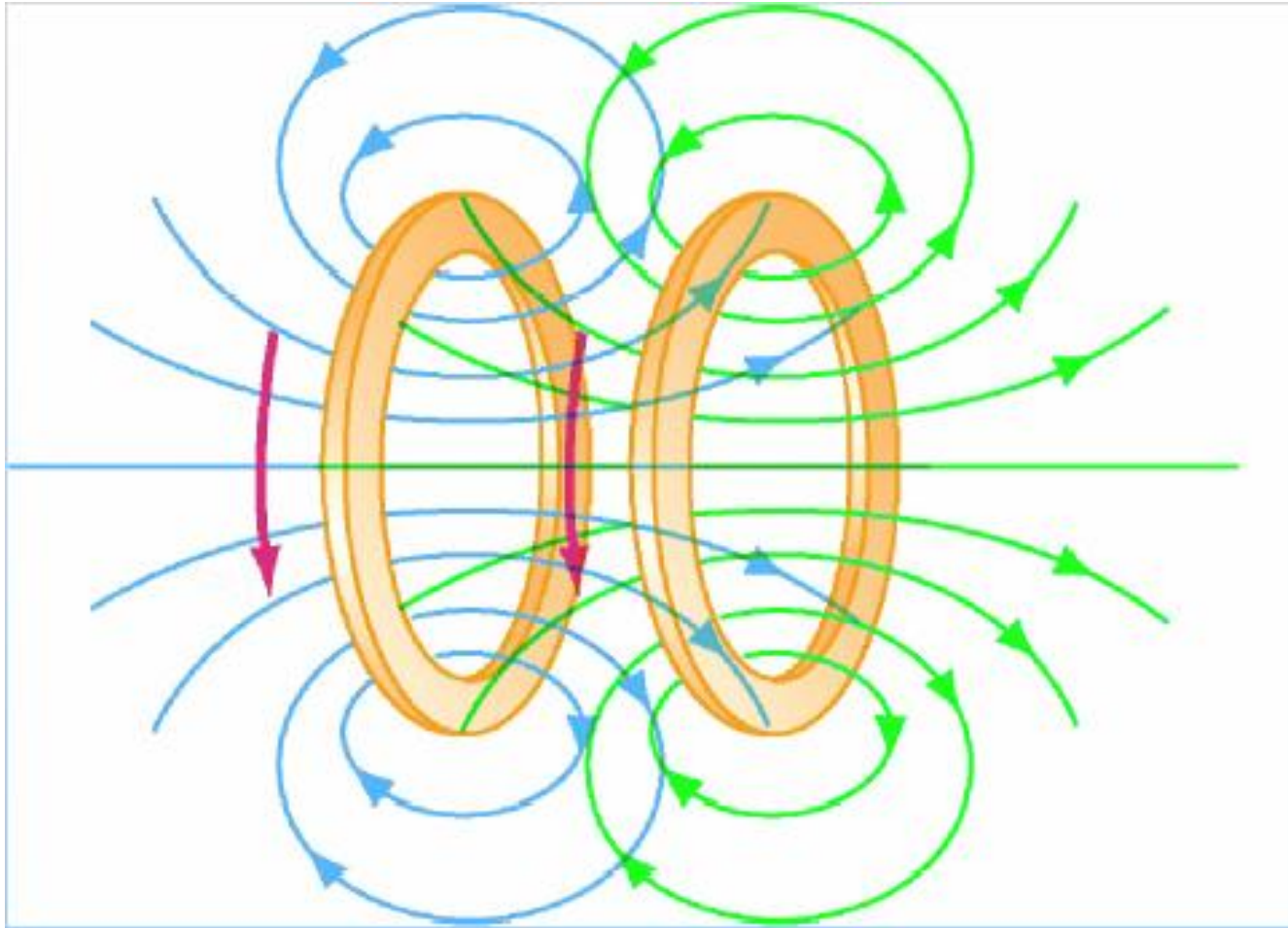
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{enc}$$

Contoh Hukum Ampere: Kawat Taktingga

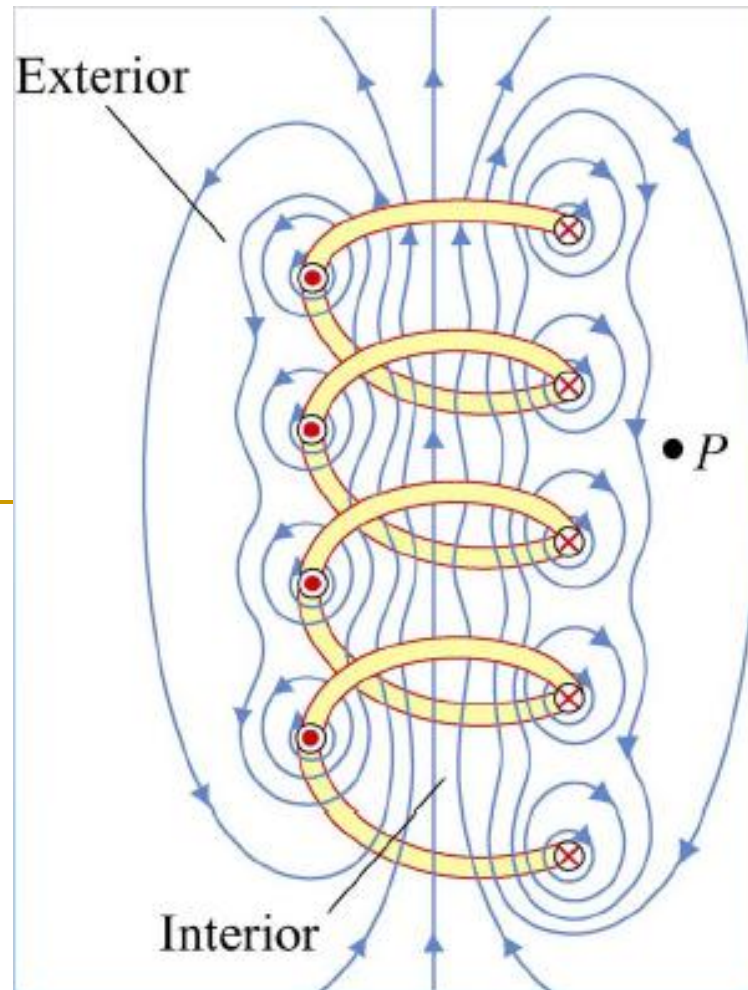


Lintasan Ampere:
 B konstan & sejajar
 I terlingkupi

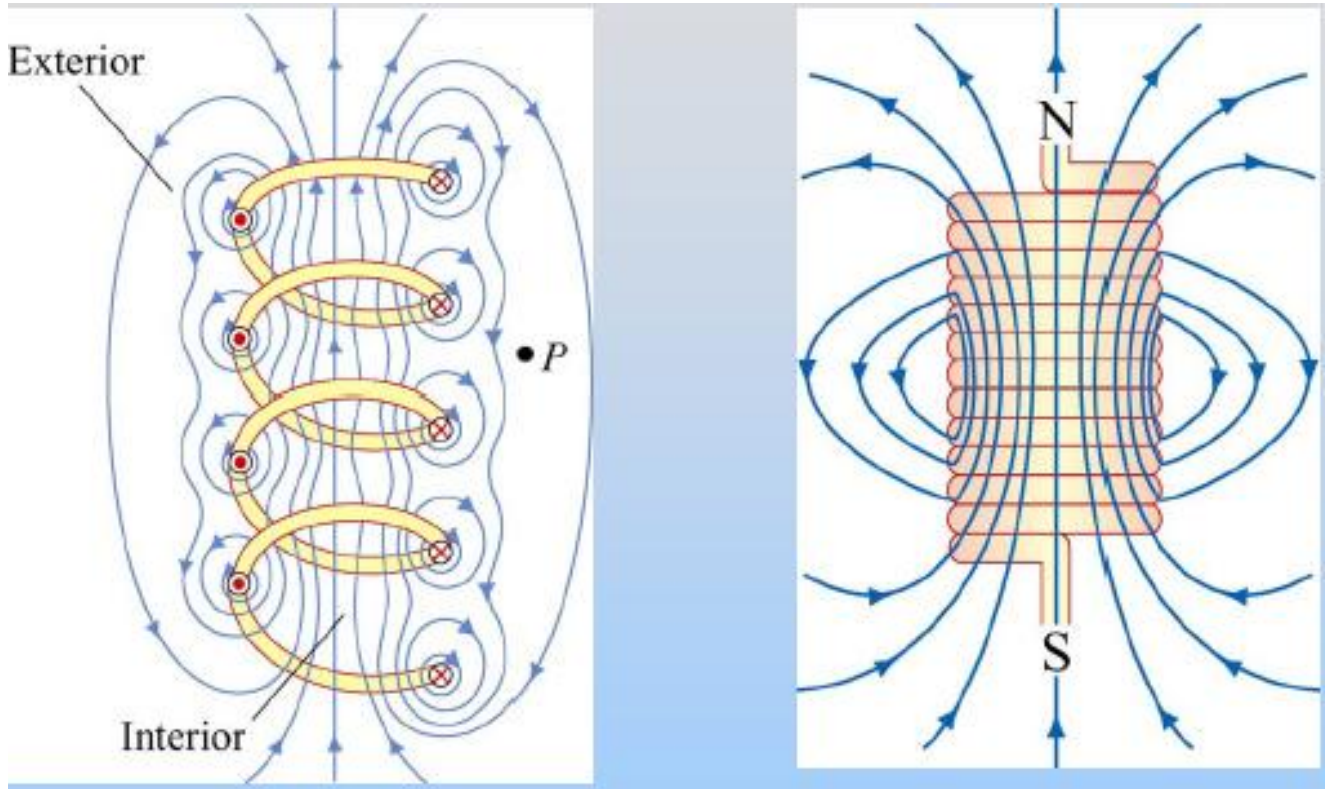
Koil Helmholtz dengan Jarak Lebih Dekat



Lilitan Kawat – Solenoid



Medan Magnet dari Solenoid

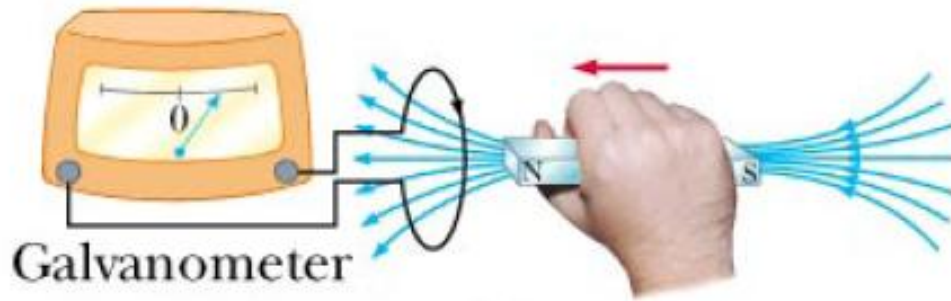


Gulungan renggang

Gulungan rapat

Untuk solenoid ideal, B uniform di dalam & nol di luar

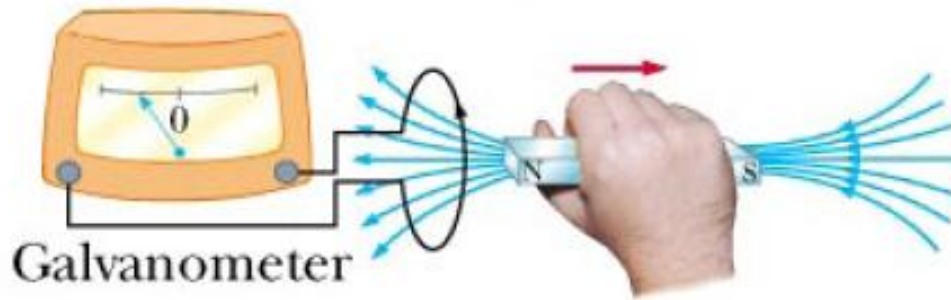
Induksi Elektromagnetik



(a)



(b)



(c)

Hukum Faraday tentang Induksi

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Perubahan fluks magnet
menginduksi GGL

Apa Itu GGL?

$$\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$

$$\mathcal{E} = \int \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$

tetapi $\oint \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = 0$

Elektrostatik,
E Medan listrik konservatif

$$\oint_C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

E Medan listrik non konservatif

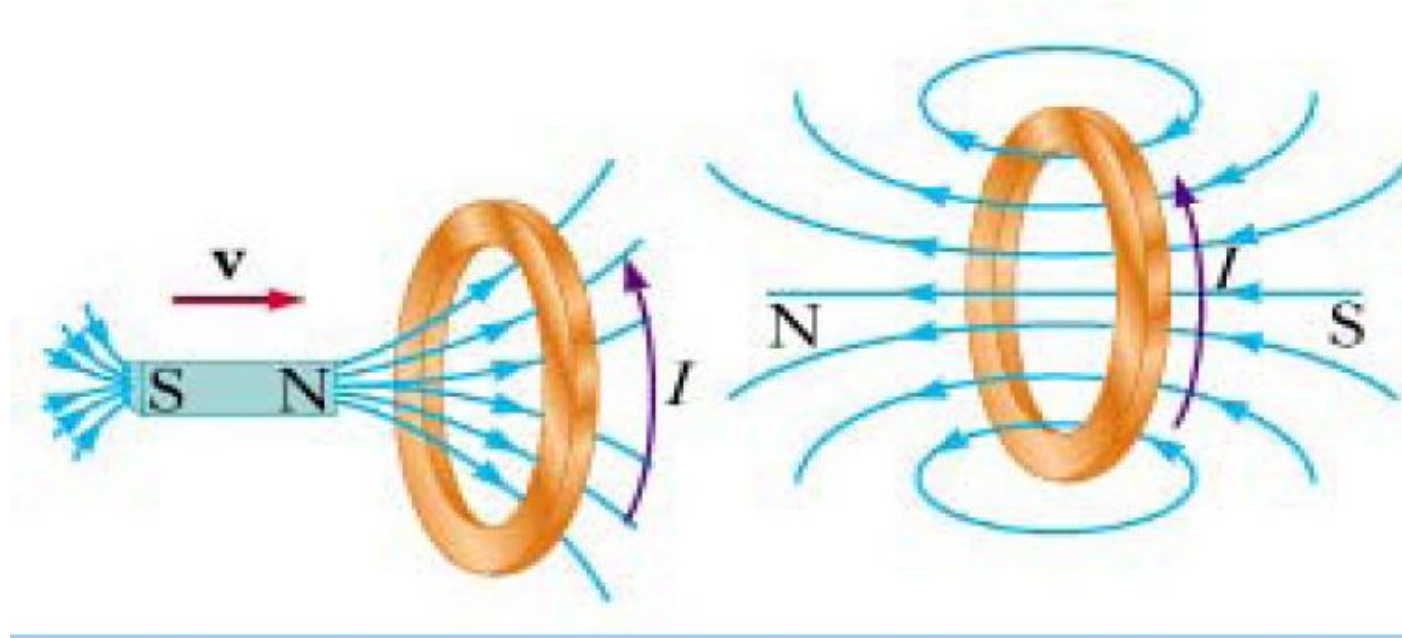
Hukum Faraday tentang Induksi

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Perubahan fluks magnet
menginduksi GGL

Tanda Negatif? Hukum Lenz

GGL Induksi yang muncul berarah melawan perubahan fluks yang menyebabkannya



Hukum Lenz: Arus induksi menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan fluks magnet yang menghasilkan arus induksi tersebut

Cara untuk Menginduksi GGL

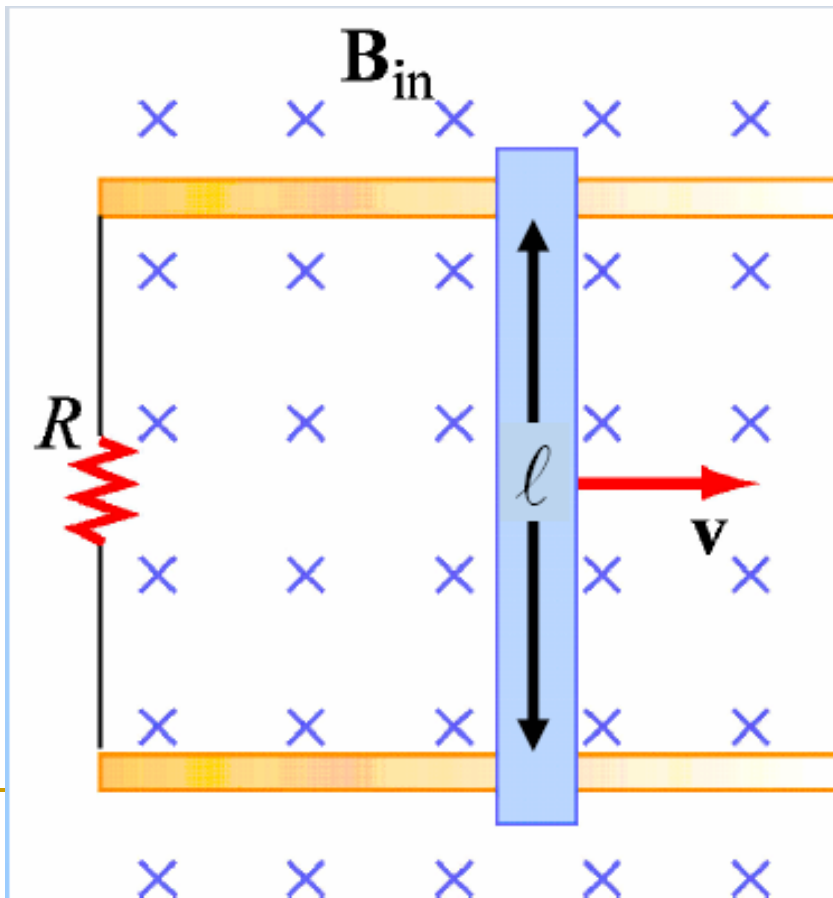
$$\mathcal{E} = -N \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

Kuantitas yang berubah terhadap waktu:

1. Besar B
2. Luas A yang dilingkupi loop
3. Sudut θ antara B dan normal loop

Problem: Perubahan Luas

Batang konduktor ditarik sepanjang dua rel konduktor dalam daerah bermedan magnet uniform B dengan kecepatan konstan v



1. Arah arus induksi?
2. Arah resultan gaya?
3. Besar GGL?
4. Besar arus?
5. Daya eksternal yang harus disuplai agar batang bergerak dengan kecepatan konstan v ?

Persamaan Maxwell

Penghasil Medan Listrik:

$$\oiint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$$

Hukum Gauss

$$\oint_C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Hukum Faraday

Penghasil Medan Magnet:

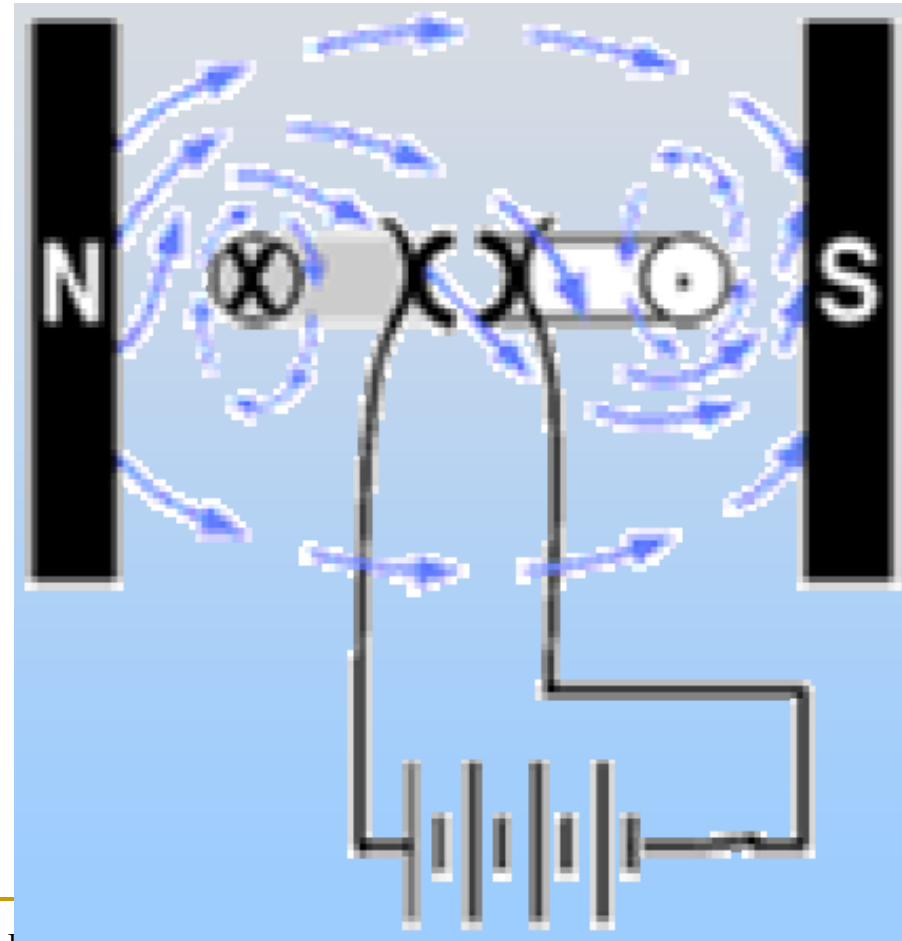
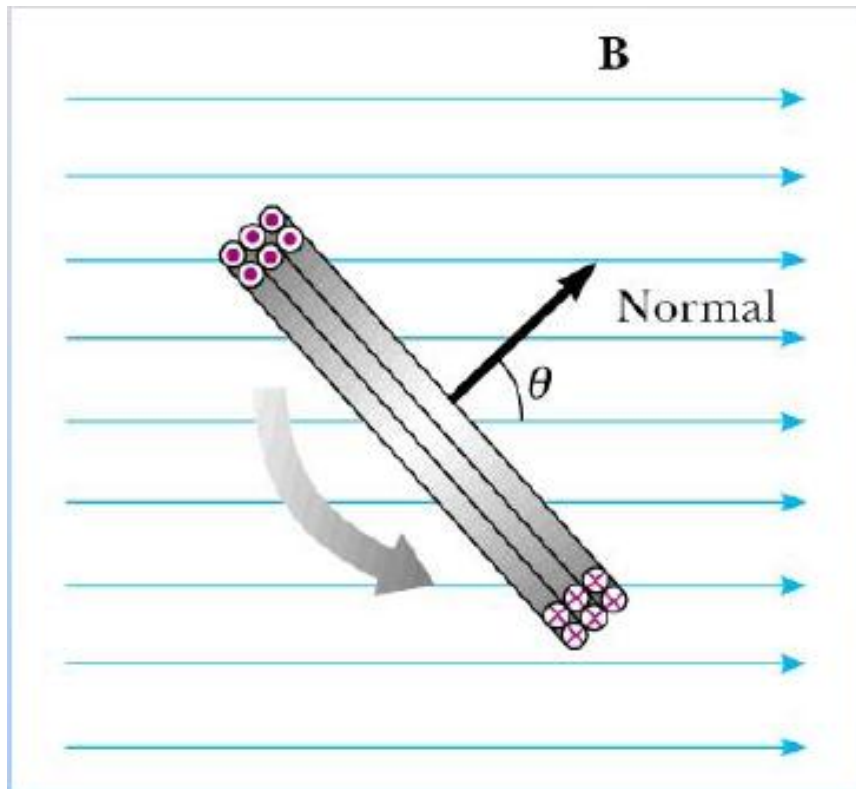
$$\oiint_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = 0$$

Hukum Gauss Magnet

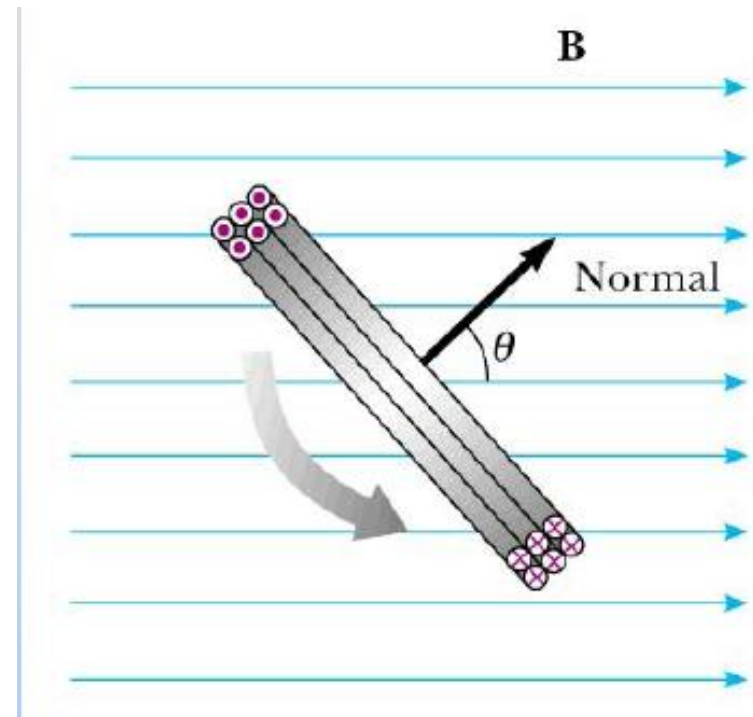
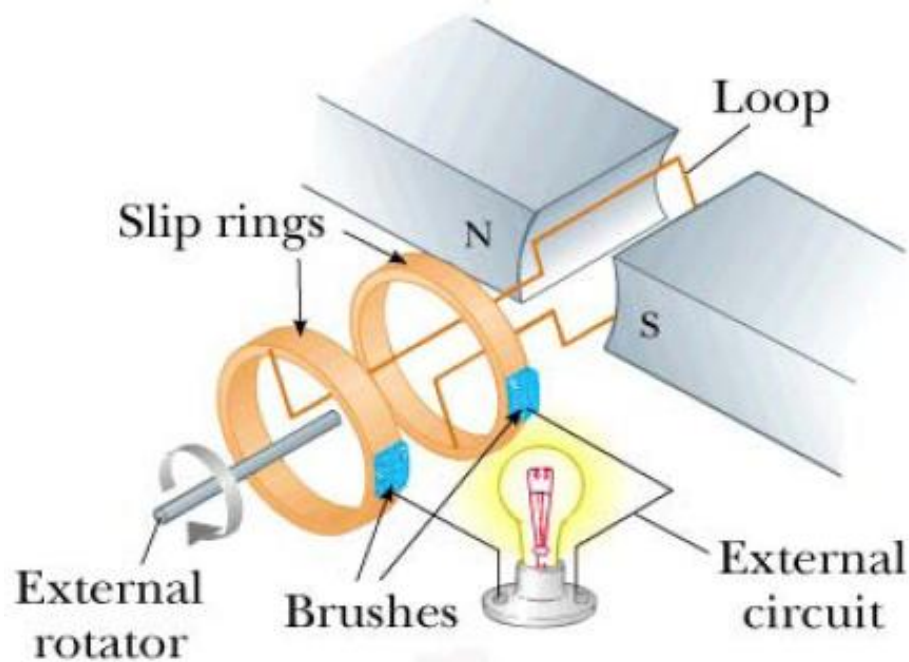
$$\oint_C \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = \mu_0 I_{enc}$$

Hukum Ampere

DC Motor (magnetostatik)



Motor & Generator

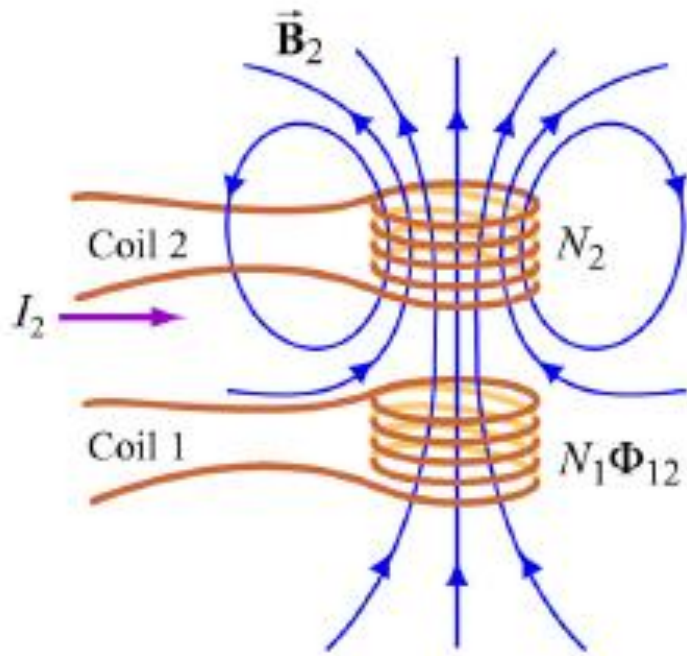


$$\Phi_B = BA \cos \theta = BA \cos \omega t$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -NAB \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = NAB \omega \sin \omega t$$

Induktansi Bersama

Kebalikannya:



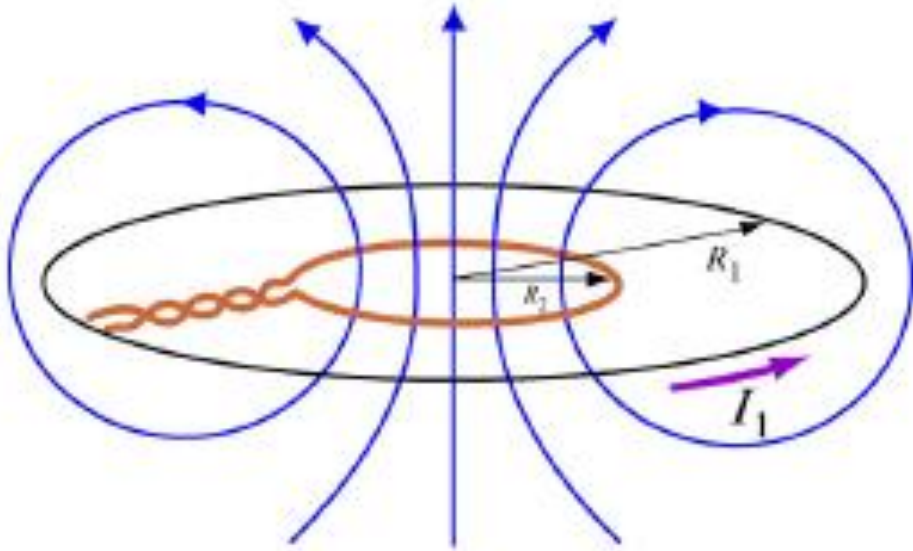
$$\mathcal{E}_{12} = -N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{\text{coil 1}} \vec{B}_2 \cdot d\vec{A}_1$$

$$N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

$$M_{12} = \frac{N_1\Phi_{12}}{I_2}$$

$$M_{12} = M_{21} \equiv M$$

Induktansi Bersama



Carilah induktansi bersamanya ($R_1 > R_2$)!

Jawab:

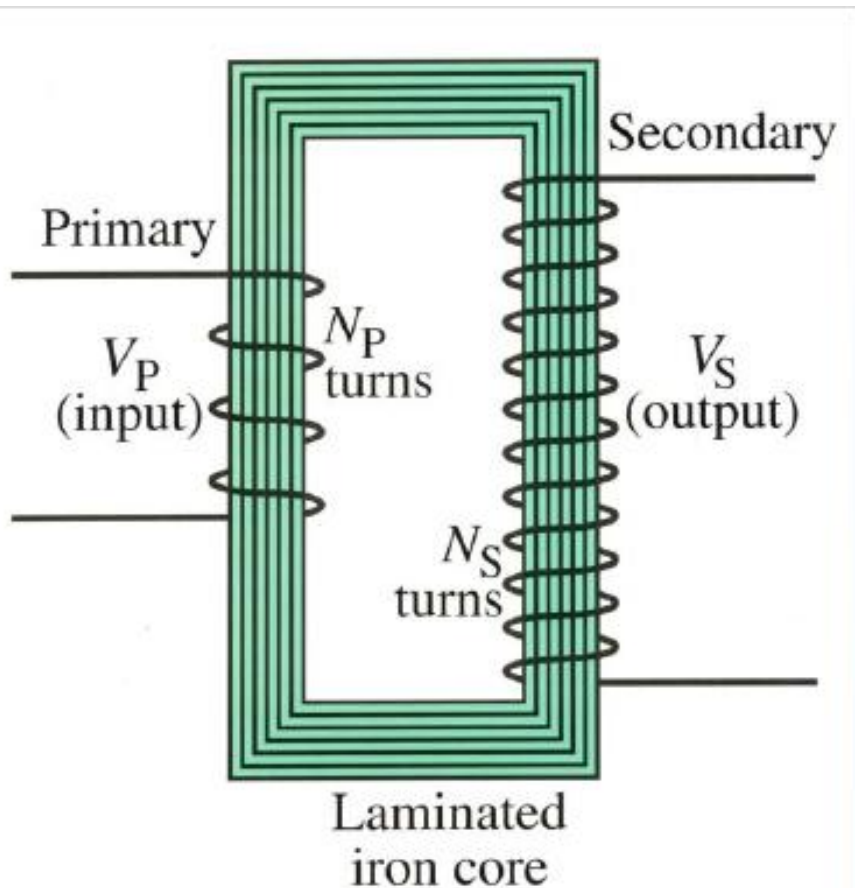
$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2R_1}$$

$$\Phi_{21} = B_1 A_2 = \left(\frac{\mu_0 I_1}{2R_1} \right) \pi R_2^2 = \frac{\mu_0 \pi I_1 R_2^2}{2R_1}$$

$$M = \frac{\Phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_0 \pi R_2^2}{2R_1}$$

M hanya bergantung pada faktor geometri

Transformer



$$\mathcal{E}_p = N_p \frac{d\Phi_B}{dt}$$

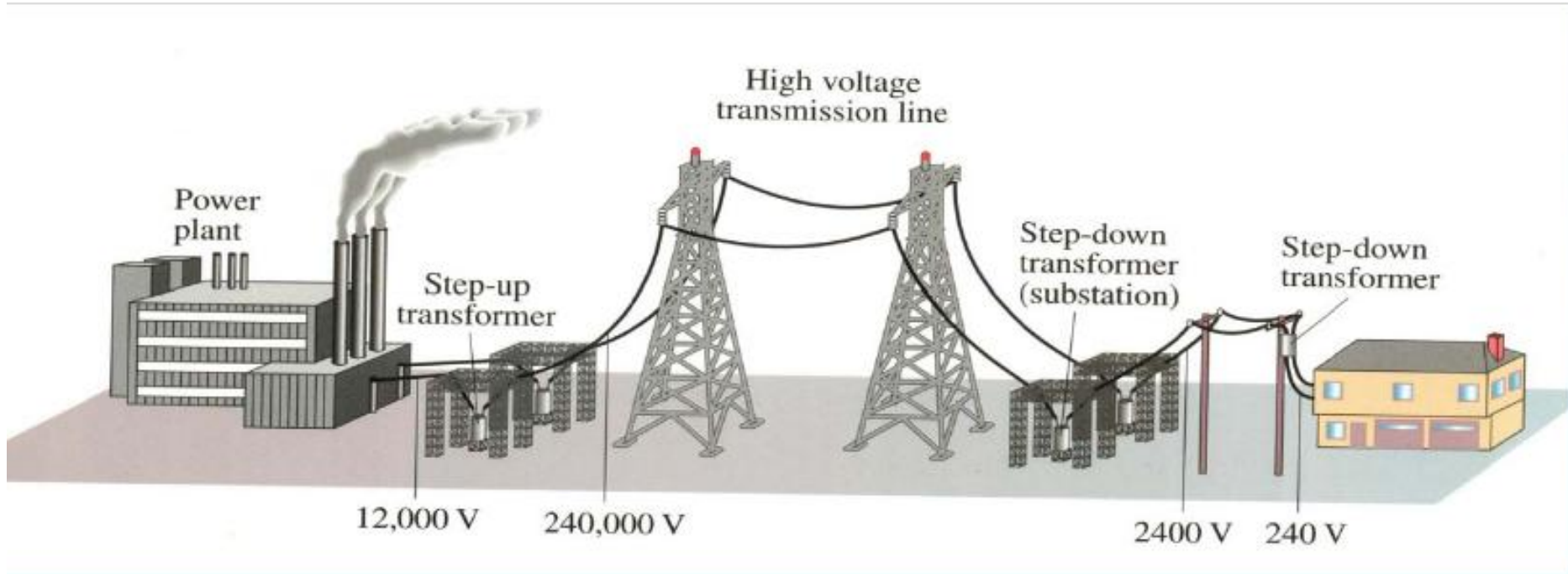
$$\mathcal{E}_s = N_s \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\frac{\mathcal{E}_s}{\mathcal{E}_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$N_s > N_p$: step-up transformer

$N_s < N_p$: step-down transformer

Transmisi Daya Listrik



Daya yang hilang dapat direduksi jika ditransmisikan pada tegangan tinggi

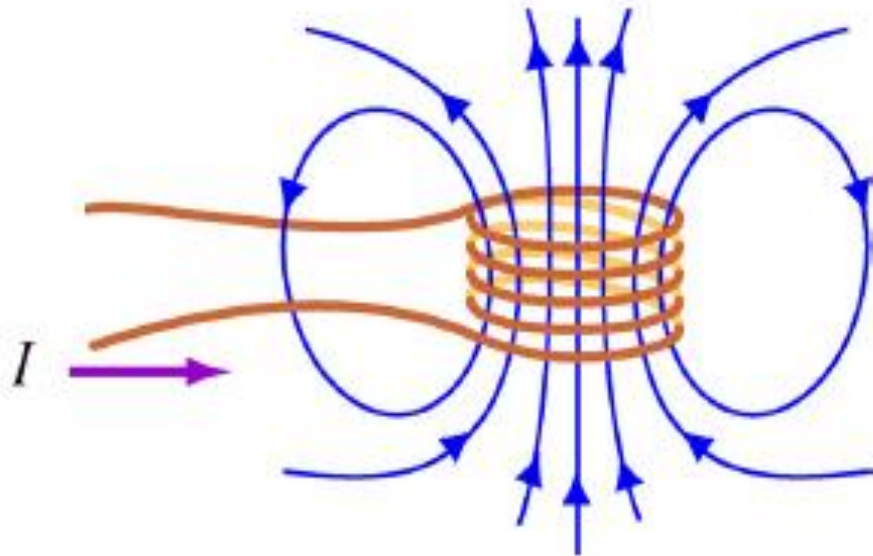
Contoh: Jalur Transmisi

Rata-rata 120 kW daya listrik dikirim dari sebuah pembangkit listrik. Jalur transmisi memiliki hambatan total 0.40Ω . Hitunglah daya yang hilang jika daya dikirim pada (a) 240 V, dan (b) 24,000 V.

$$(a) \quad I = \frac{P}{V} = \frac{1.2 \times 10^5 W}{2.4 \times 10^2 V} = 500 A \quad \text{83\% loss!!}$$
$$P_L = I^2 R = (500 A)^2 (0.40 \Omega) = 100 kW$$

$$(b) \quad I = \frac{P}{V} = \frac{1.2 \times 10^5 W}{2.4 \times 10^4 V} = 5.0 A \quad \text{0.0083\% loss}$$
$$P_L = I^2 R = (5.0 A)^2 (0.40 \Omega) = 10 W$$

Induktansi Diri



Sebuah koil dialiri arus listrik.

Arus konstan!

Arus berubah thd waktu!

$$\varepsilon_L = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt} \iint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{I}$$

Secara fisis, Induktansi L adalah ukuran dari sebuah “resistansi” induktor untuk merubah arus; semakin besar L, semakin kecil laju perubahan arus.