

Induktans

Menu hari ini:

- Induktansi & Energi Magnetik
- Material Magnet

Hukum Faraday tentang Induksi

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

Perubahan fluks magnet
menginduksi GGL

Lenz: Induksi *melawan* perubahan

Cara untuk Menginduksi GGL

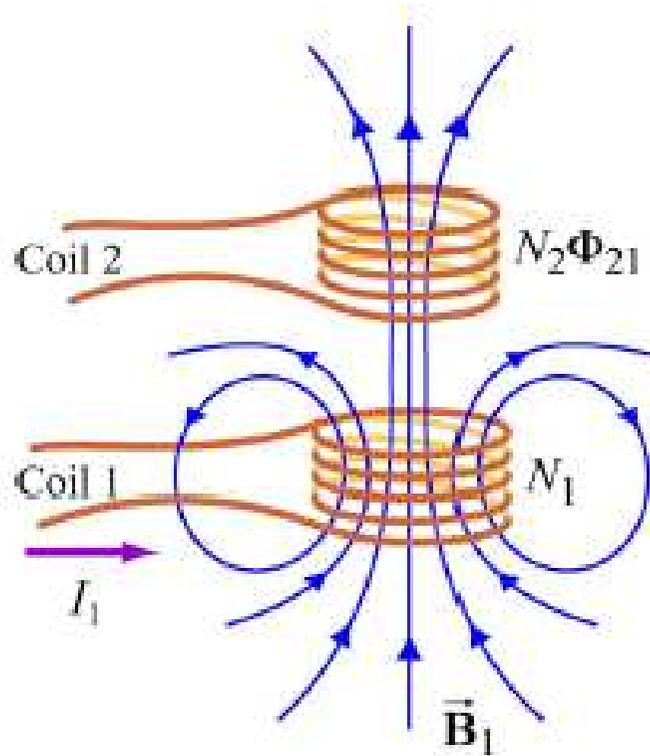
$$\mathcal{E} = -N \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

Kuantitas yang dapat berubah terhadap waktu:

1. Nilai/besar B
2. Luas A yang dilingkupi loop
3. Sudut θ antara B dan normal loop

- **Induktansi**

Induktansi Bersama



$$\mathcal{E}_{21} = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{\text{coil 2}} \vec{B}_1 \cdot d\vec{A}_2$$

Perubahan fluks pada koil 2 sebanding dengan perubahan arus pada koil 1

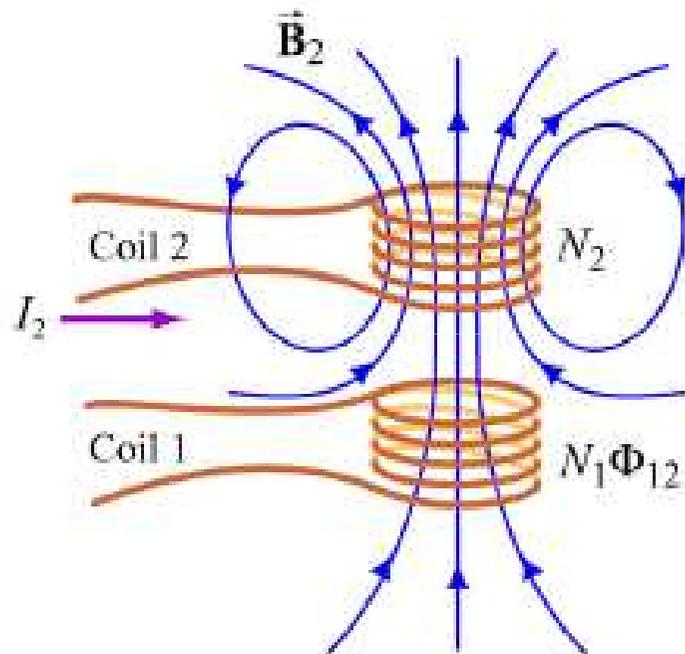
$$N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}$$

Konstanta kesebandingannya M_{21} dinamakan **induktansi bersama**

Induktansi Bersama

Kebalikannya:



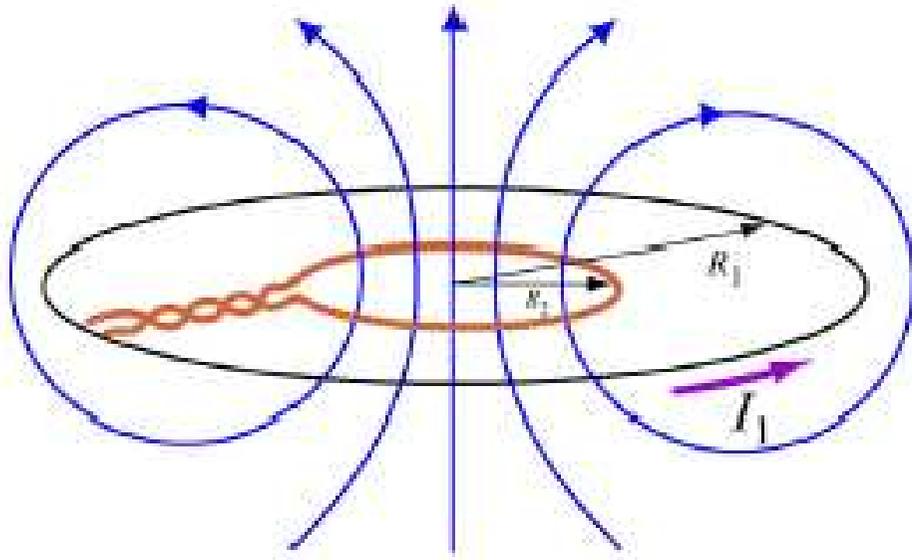
$$\mathcal{E}_{12} = -N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{\text{coil 1}} \vec{B}_2 \cdot d\vec{A}_1$$

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

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

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

Problem !



Carilah induktansi bersamanya ($R_1 > R_2$)!

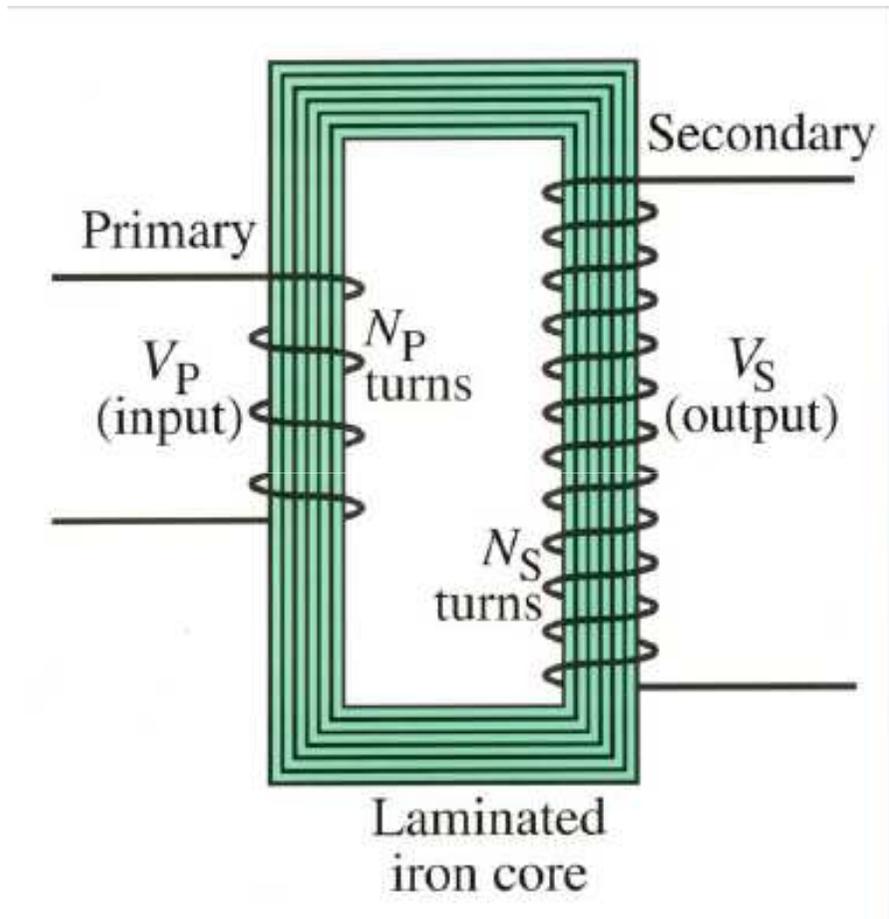
Jawab:

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

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

$$M = \frac{\Phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_0 \pi R_2^2}{2R_1} \quad \mathbf{M} \text{ hanya bergantung pada faktor geometri}$$

Transformer



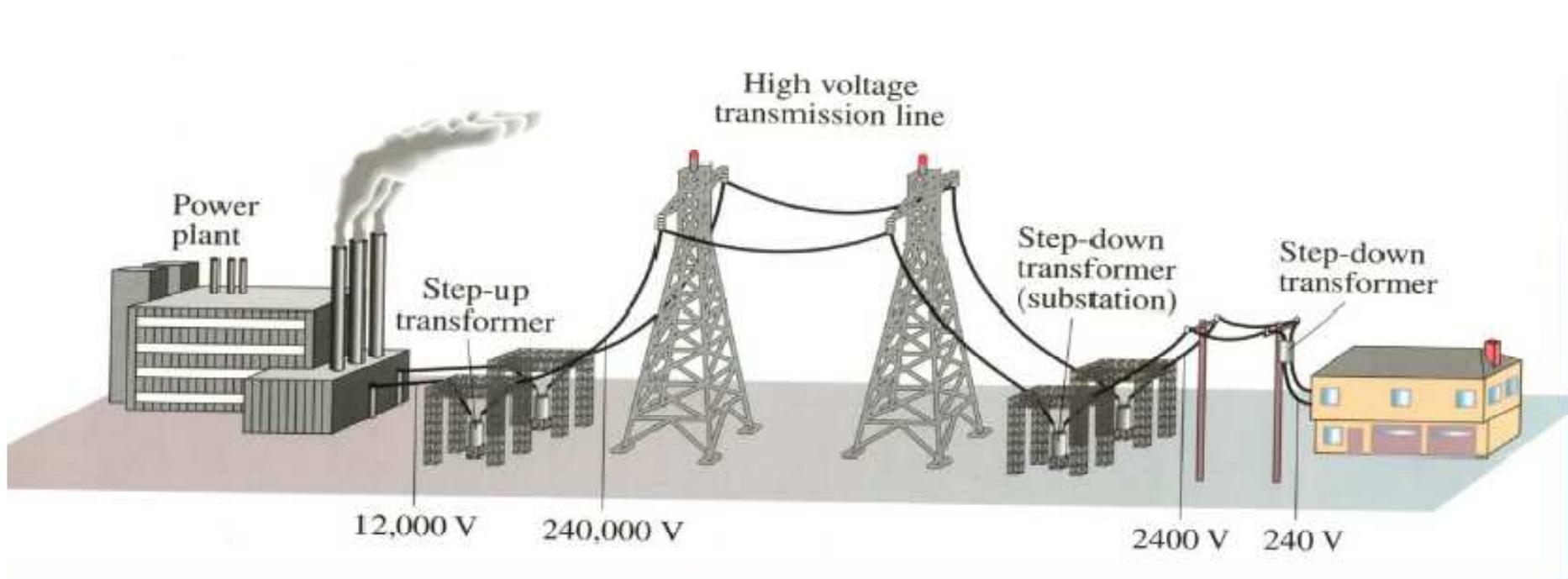
$$\mathcal{E}_p = N_p \frac{d\Phi_B}{dt}$$

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

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

$N_s > N_p$: 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

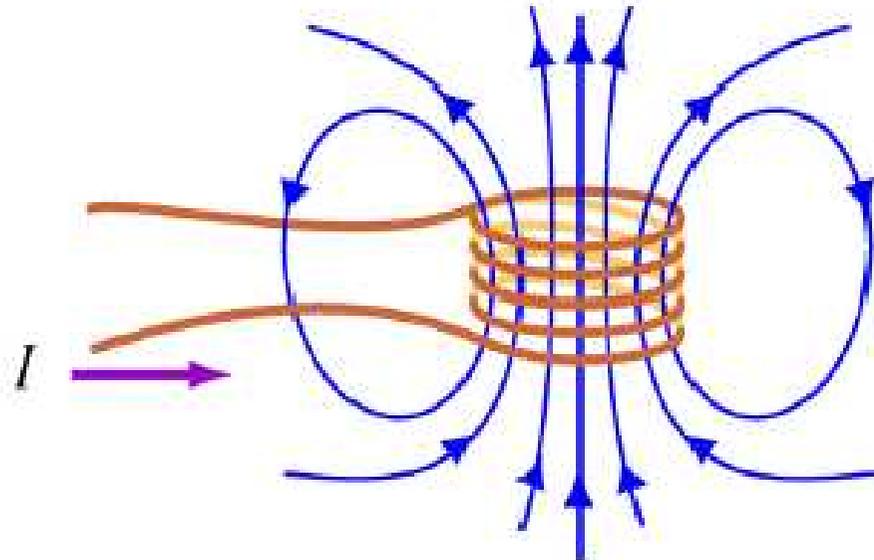
Rata-rata 120 kW daya listrik dikirim dari sebuah pembangkit listrik. Jalur transmisi memiliki hambatan total 0.40Ω . Hitunglah daya yang hilang jika daya dikirim pada (a) 240 V, dan (b) 24,000 V.

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

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

Induktansi Diri

Sebuah koil dialiri arus listrik.
Arus konstan!
Arus berubah thd waktu!

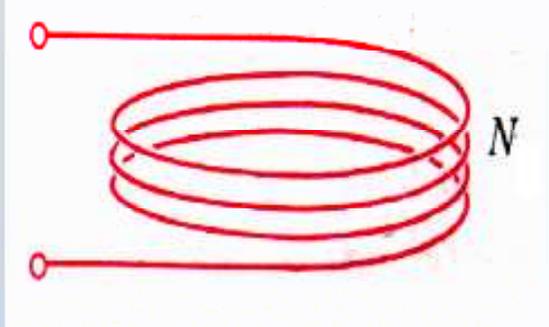


$$\varepsilon_L = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt} \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt} \quad L = \frac{N\Phi_B}{I}$$

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

Menghitung Induktansi Diri



A diagram of a solenoid with N turns, shown as a red wire with two terminals on the left. The number of turns N is indicated by a label to the right of the coil.

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

Unit: Henry
 $1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$

1. Asumsikan arus I mengalir
2. Hitung B akibat adanya I tersebut
3. Hitung fluks akibat adanya B tersebut
4. Hitung induktansi dirinya

Problem: Solenoid

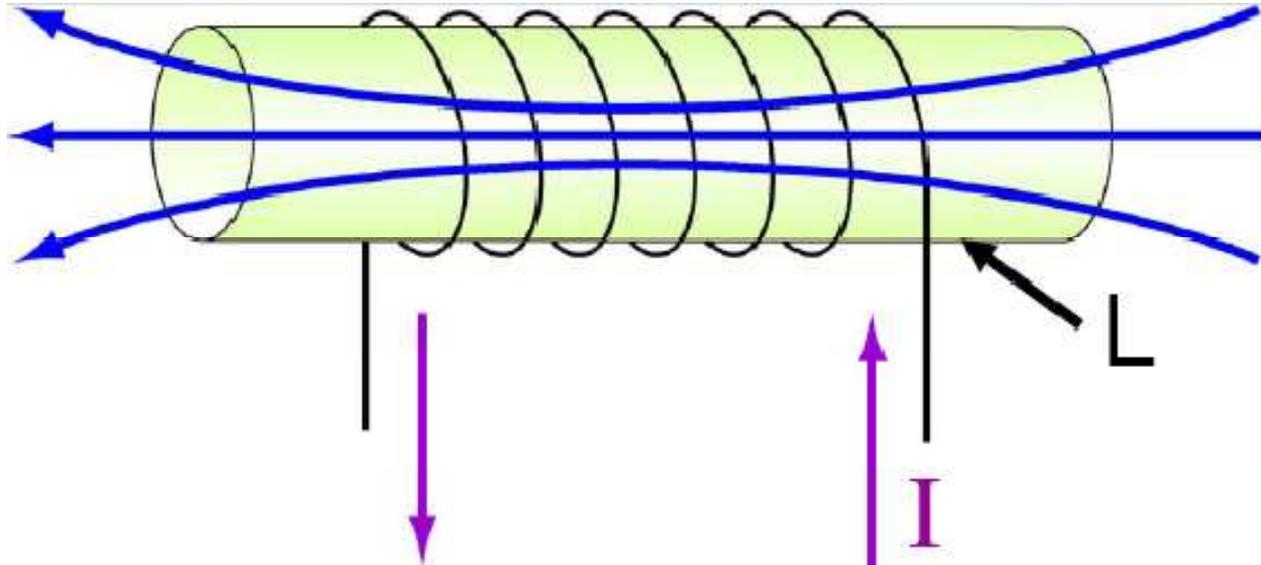
Hitung induktansi diri L dari sebuah solenoid (n lilitan per meter, panjang l , radius R)

INGAT:

1. Asumsikan arus I mengalir
2. Hitung B akibat adanya I tersebut
3. Hitung fluks akibat adanya B tersebut
4. Hitung induktansi dirinya

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

Sifat Induktor

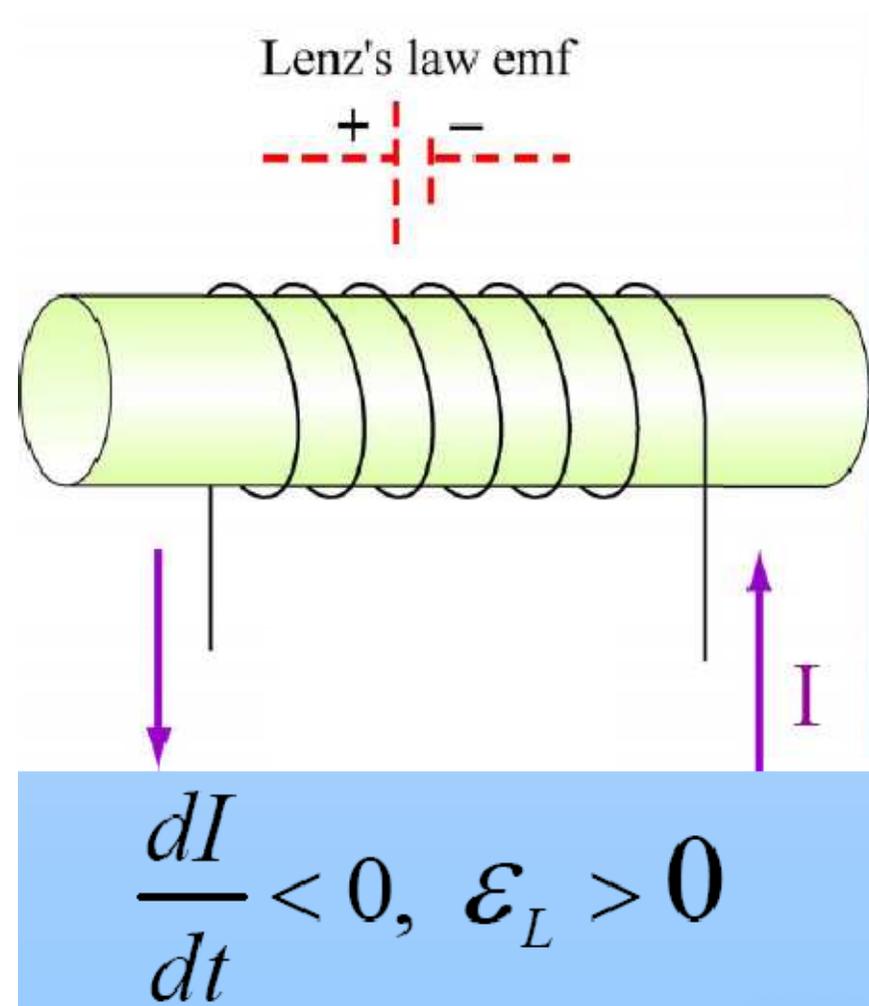
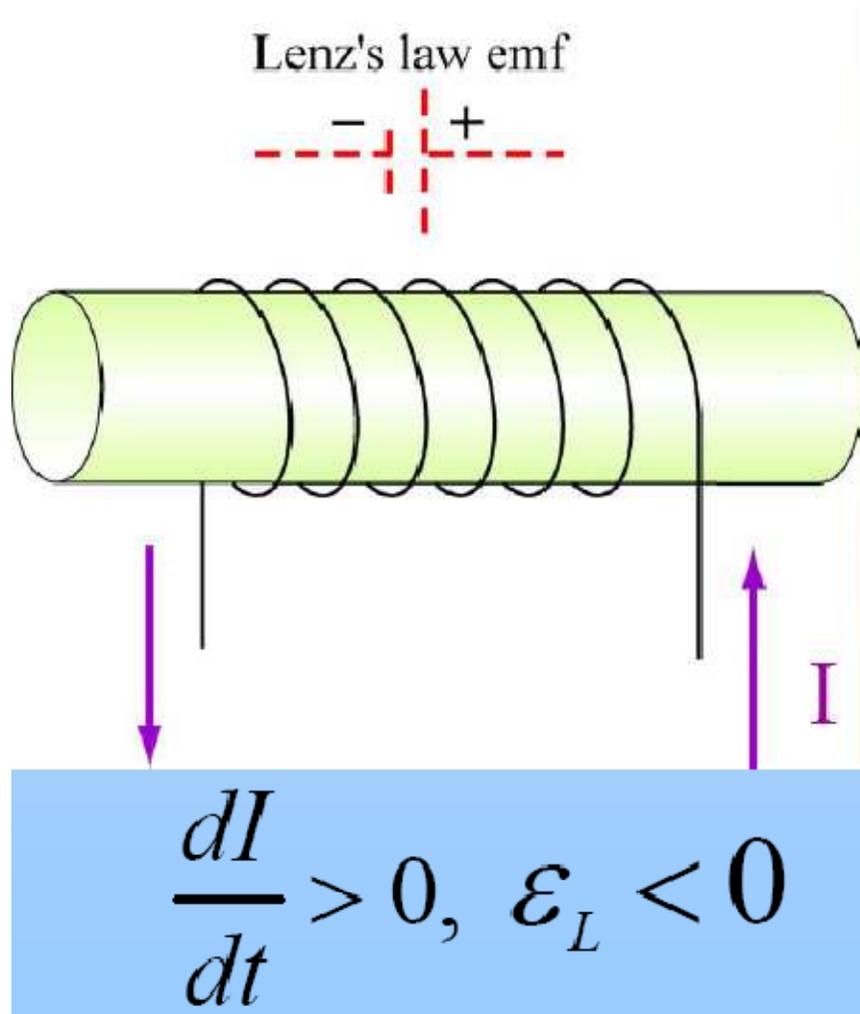


$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

Induktor dengan arus yang konstan tidak berarti apa-apa (tidak berpengaruh)

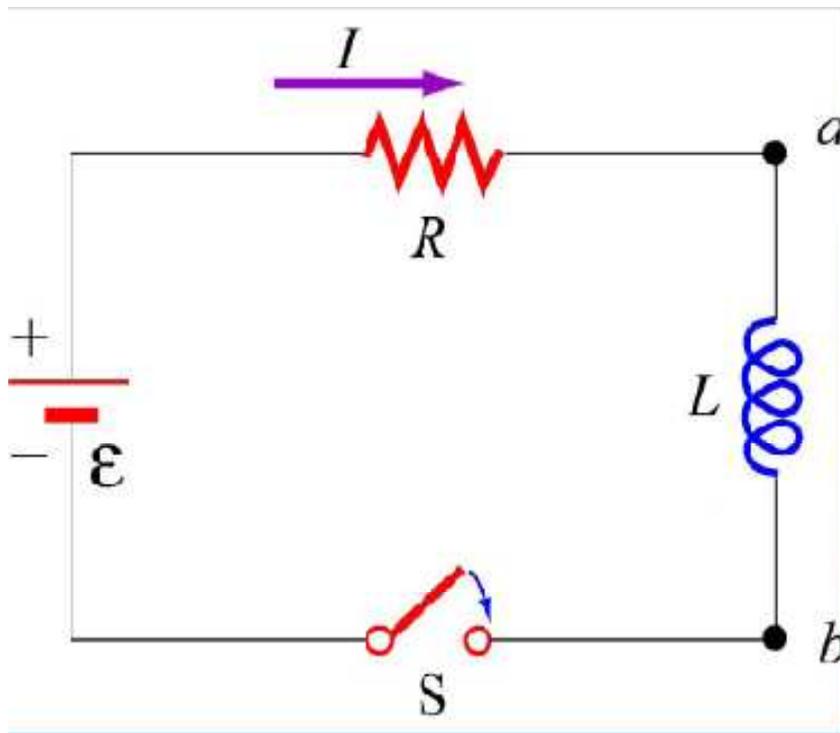
GGL Balik

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

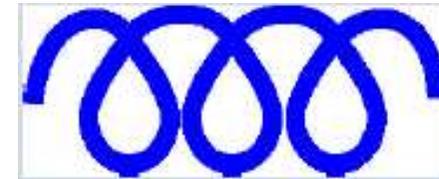


Induktor dalam Rangkaian

Induktor: Elemen listrik yang dapat menunjukkan induktansi diri



Simbol:

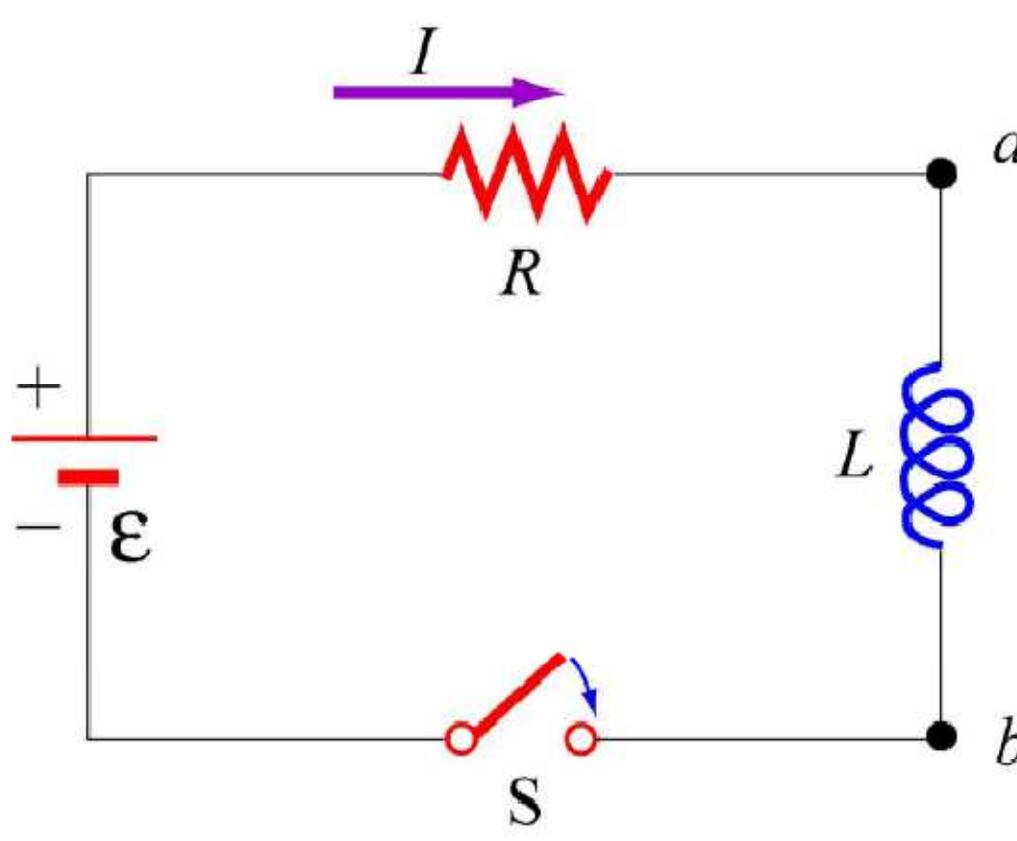


Ketika dilalui arus:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

Induktor tidak menyukai perubahan, tetapi menyukai keadaan stabil (steady). Kebalikan Kapasitor!

Rangkaian LR

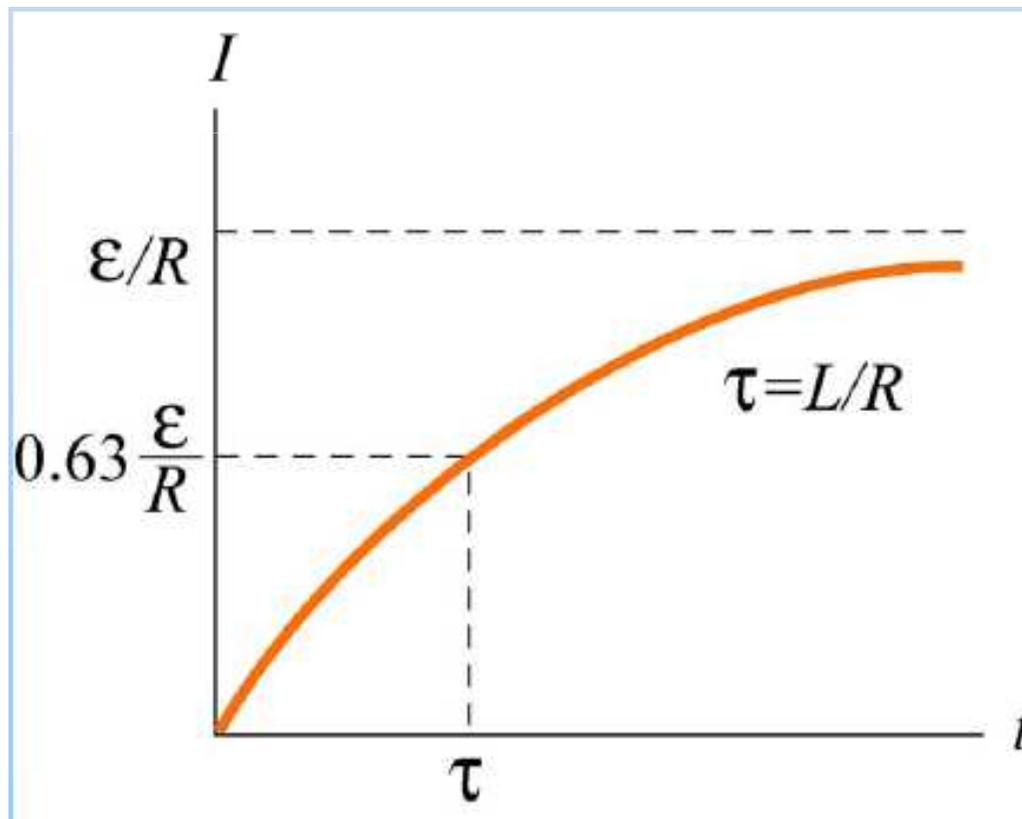


$$\sum_i V_i = \varepsilon - IR - L \frac{dI}{dt} = 0$$

Rangkaian LR

$$\varepsilon - IR - L \frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{L}{R} \frac{dI}{dt} = - \left(I - \frac{\varepsilon}{R} \right)$$

Solusi persamaan di atas ketika saklar ditutup pada $t = 0$:



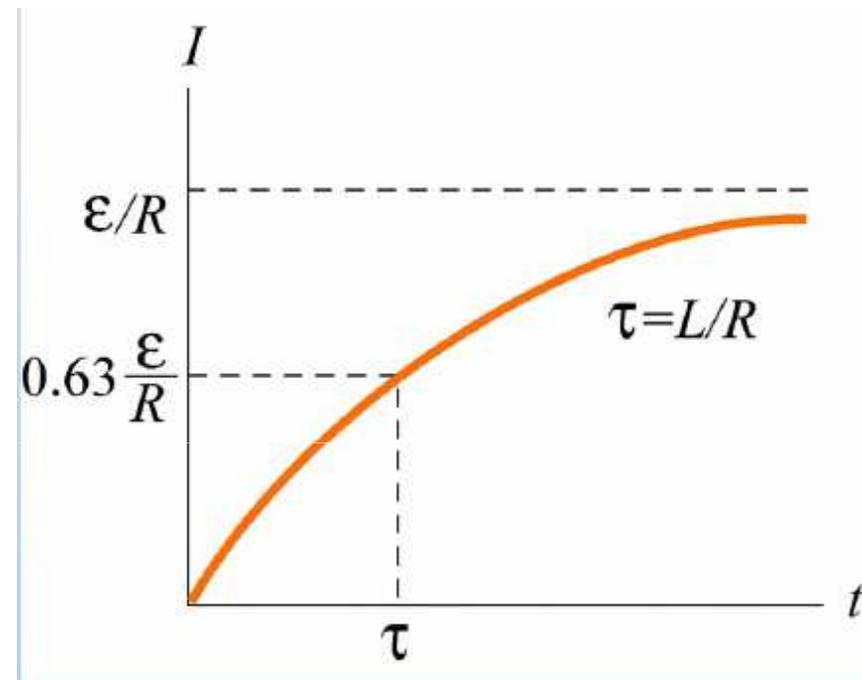
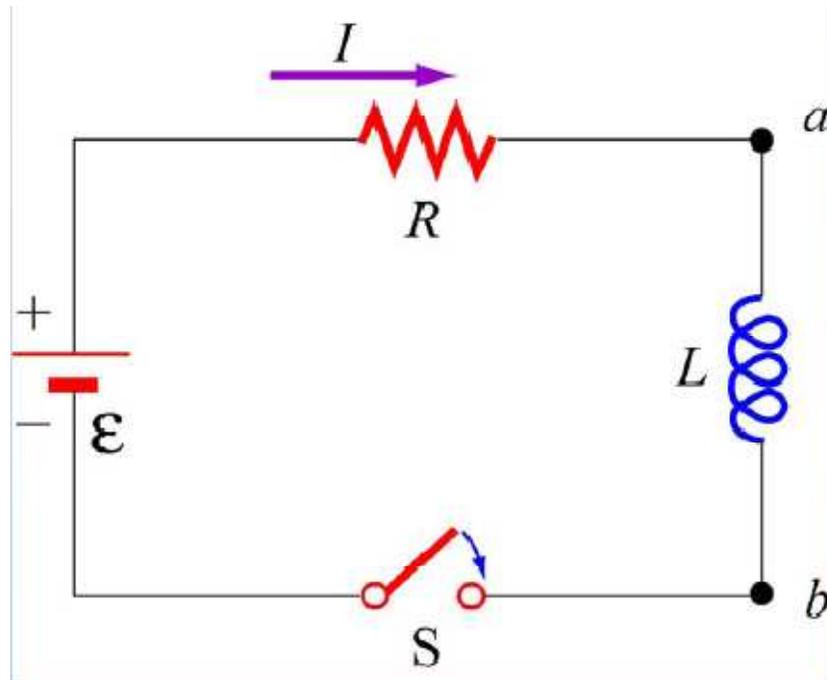
$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-t/\tau} \right)$$

$$\tau = \frac{L}{R} : LR$$

Konstanta waktu

Animasi 9.1

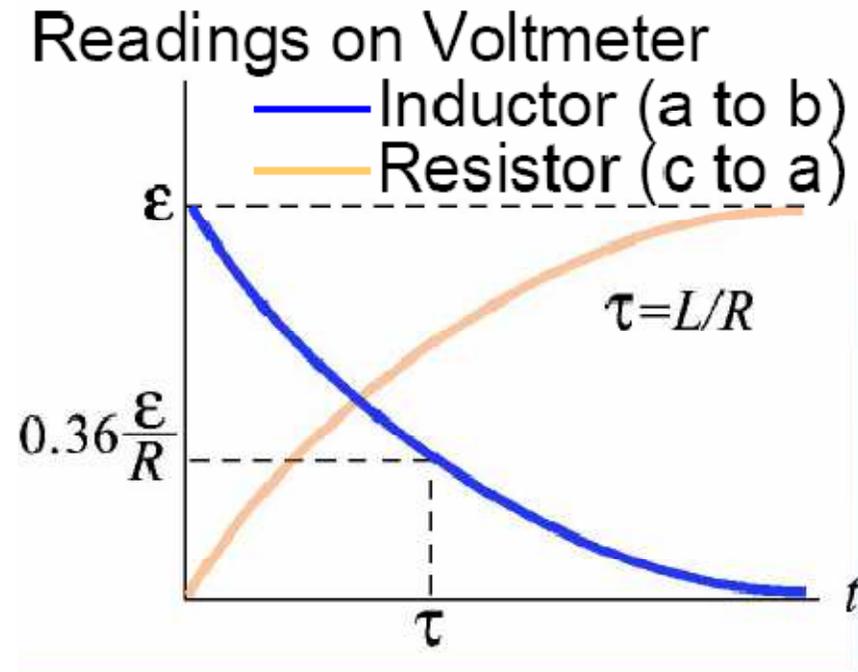
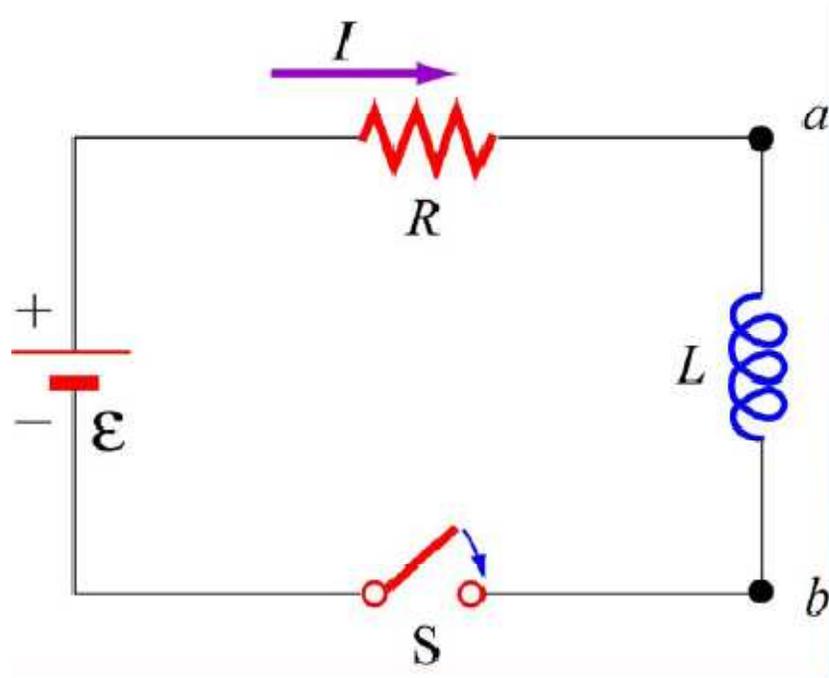
Rangkaian LR



$t=0^+$: Arus mencoba untuk berubah. Induktor bekerja sekeras mungkin untuk menghentikannya

$t=\infty$: Arus stabil (steady). Induktor tidak berpengaruh.

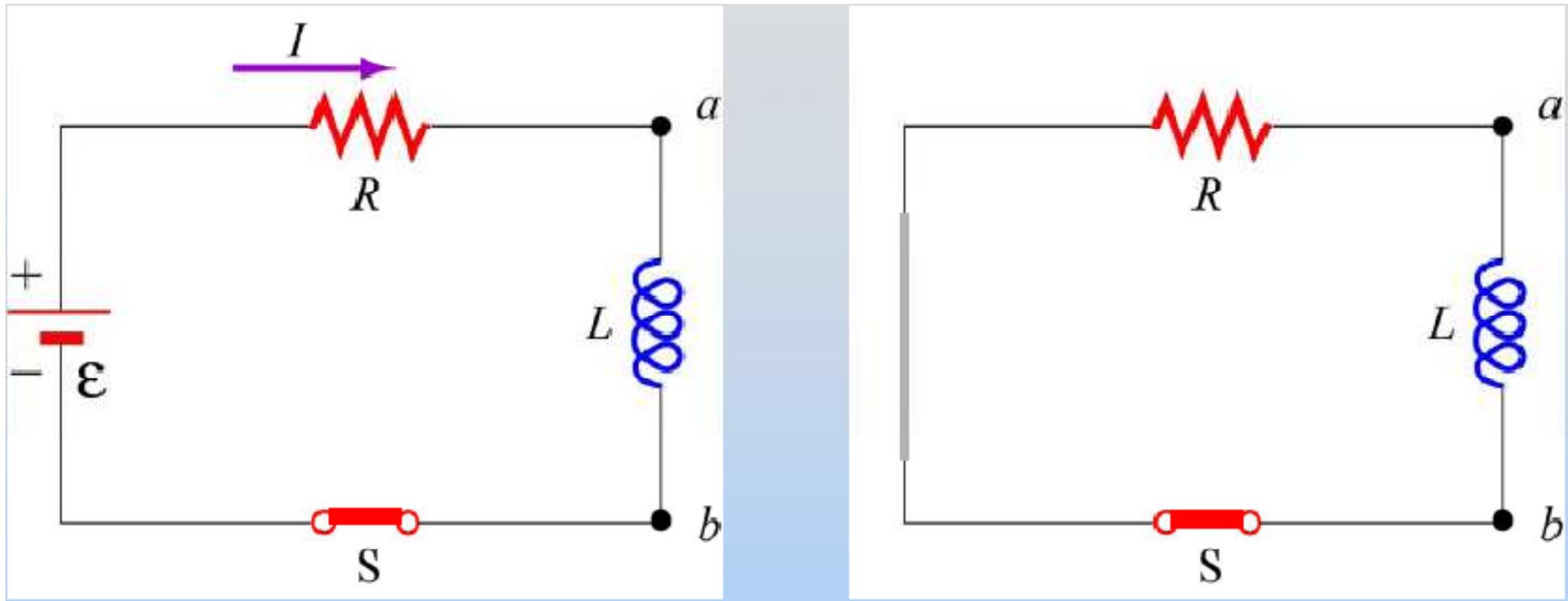
Rangkaian LR



$t=0^+$: Arus mencoba untuk berubah. Induktor bekerja sekeras mungkin untuk menghentikannya

$t=\infty$: Arus stabil (steady). Induktor tidak berpengaruh.

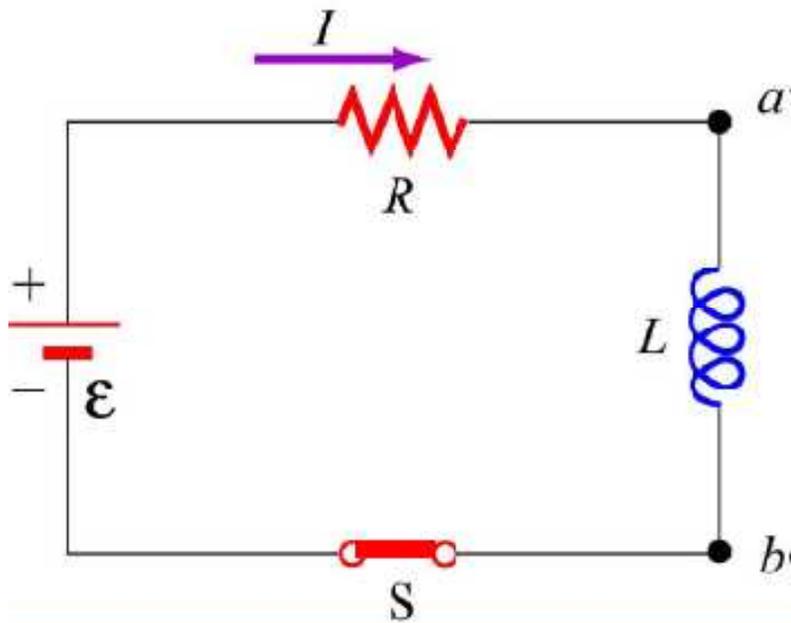
Problem: Rangkaian LR



1. Kemanakah arah arus sesaat setelah batrei dilepas (pada $t=0^+$)?
At $t=\infty$?
2. Tulis persamaan diferensial untuk rangkaian di atas!
3. Pecahkan dan plot I vs. t dan voltmeter vs. t

Energi dalam Induktor

Energi Tersimpan dalam Induktor



$$\mathcal{E} = +IR + L \frac{dI}{dt}$$

$$I\mathcal{E} = I^2 R + L I \frac{dI}{dt}$$

$$I\mathcal{E} = I^2 R + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L I^2 \right)$$

Baterei Penyuplai

Resistor Disipasi

Induktor
Penyimpan

Energi Tersimpan dalam Induktor

$$U_L = \frac{1}{2} L I^2$$

Dimanakah energi di simpan?

Contoh: Solenoid

Solenoida ideal, panjang l , radius R , n lilitan/sat.panjang, arus I :

$$B = \mu_0 n I$$

$$L = \mu_0 n^2 \pi R^2 l$$

$$U_B = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} (\mu_0 n^2 \pi R^2 l) I^2$$

$$U_B = \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right) \pi R^2 l$$

Rapat Energi

Volume

Rapat Energi

Energi disimpan dalam medan magnet!

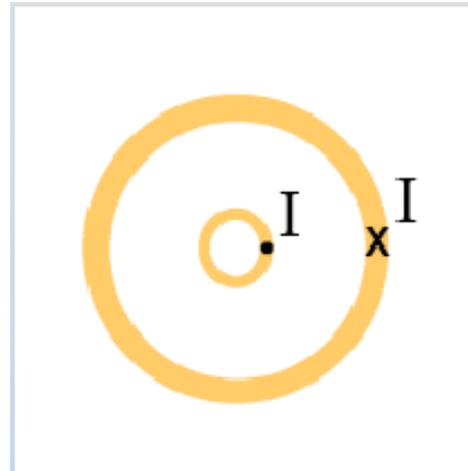
$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

: Rapat Energi Magnet

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

: Rapat Energi Listrik

Problem: Kabel Koaksial



Radius dalam: $r = a$

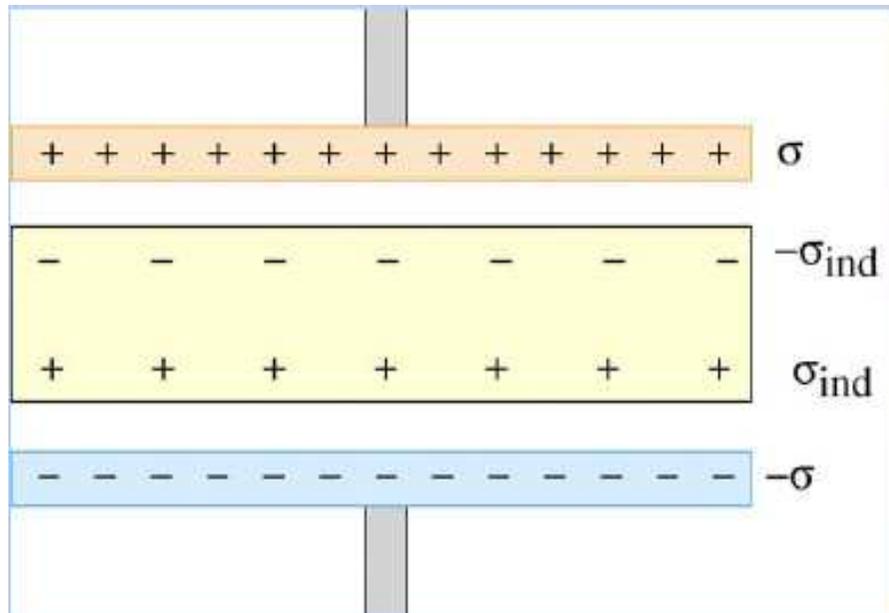
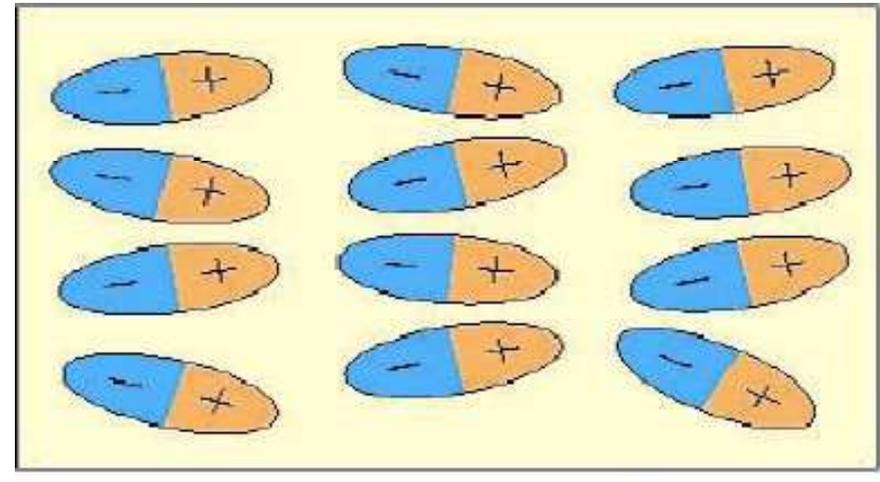
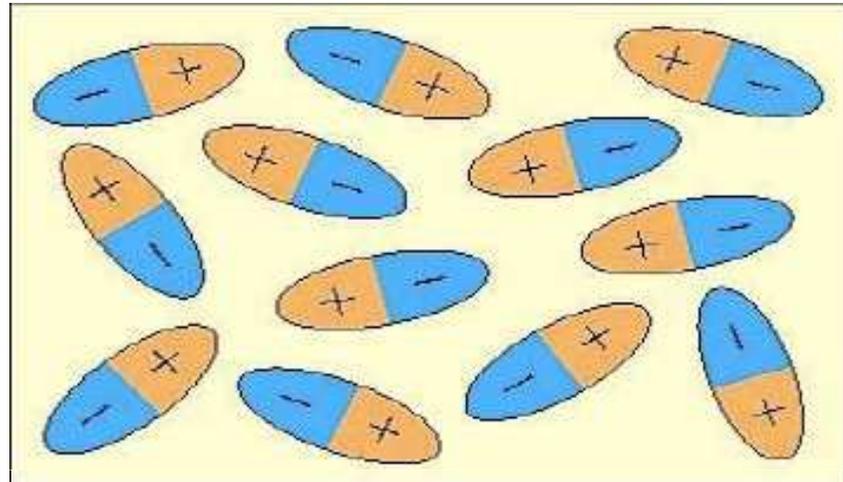
Radius luar: $r = b$

1. Berapa besar energi yang tersimpan per satuan panjang?
2. Berapa induktansinya per satuan panjang?

Selesaikan HR hal 407 no. 26 dan hal 408 no. 37

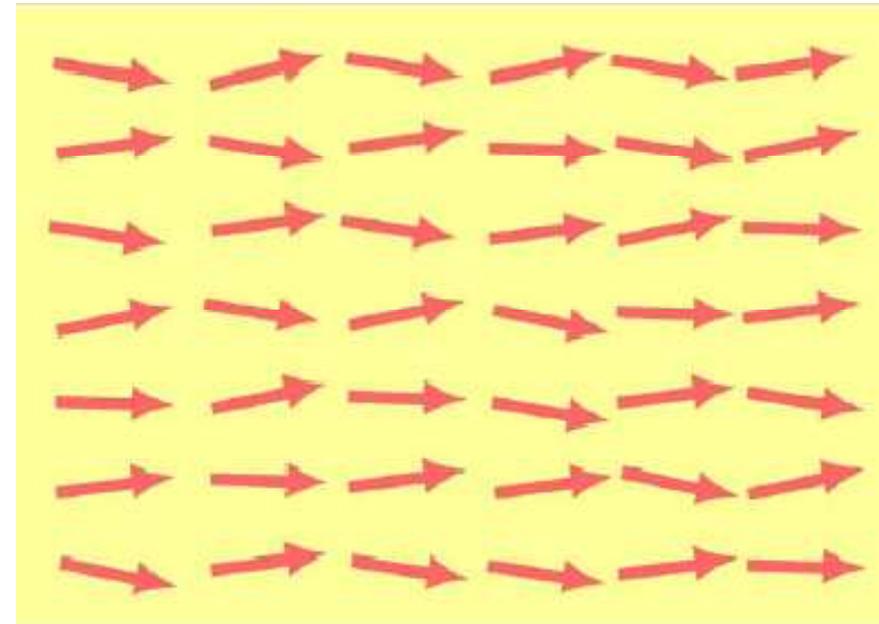
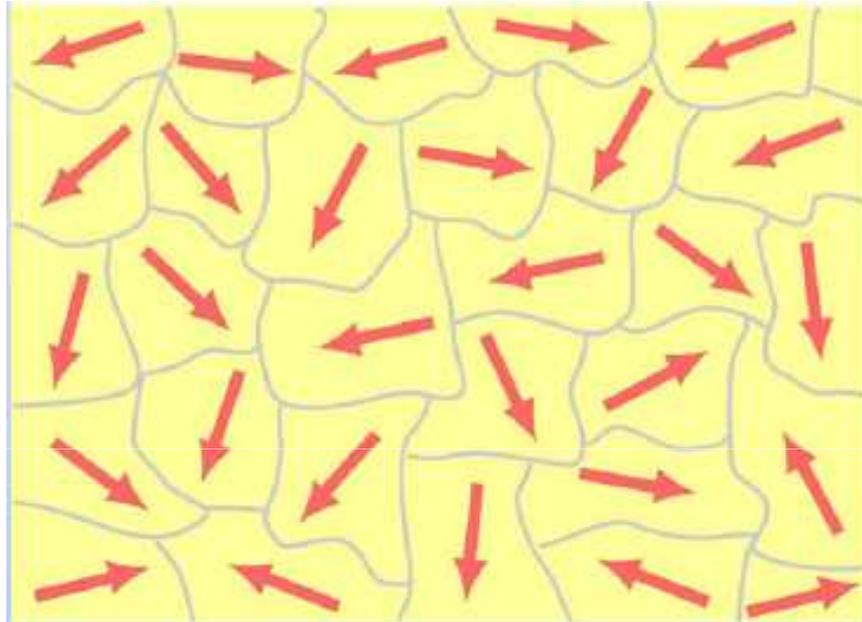
Baca:
Material Magnetik

Riview: Dielektrik Polar



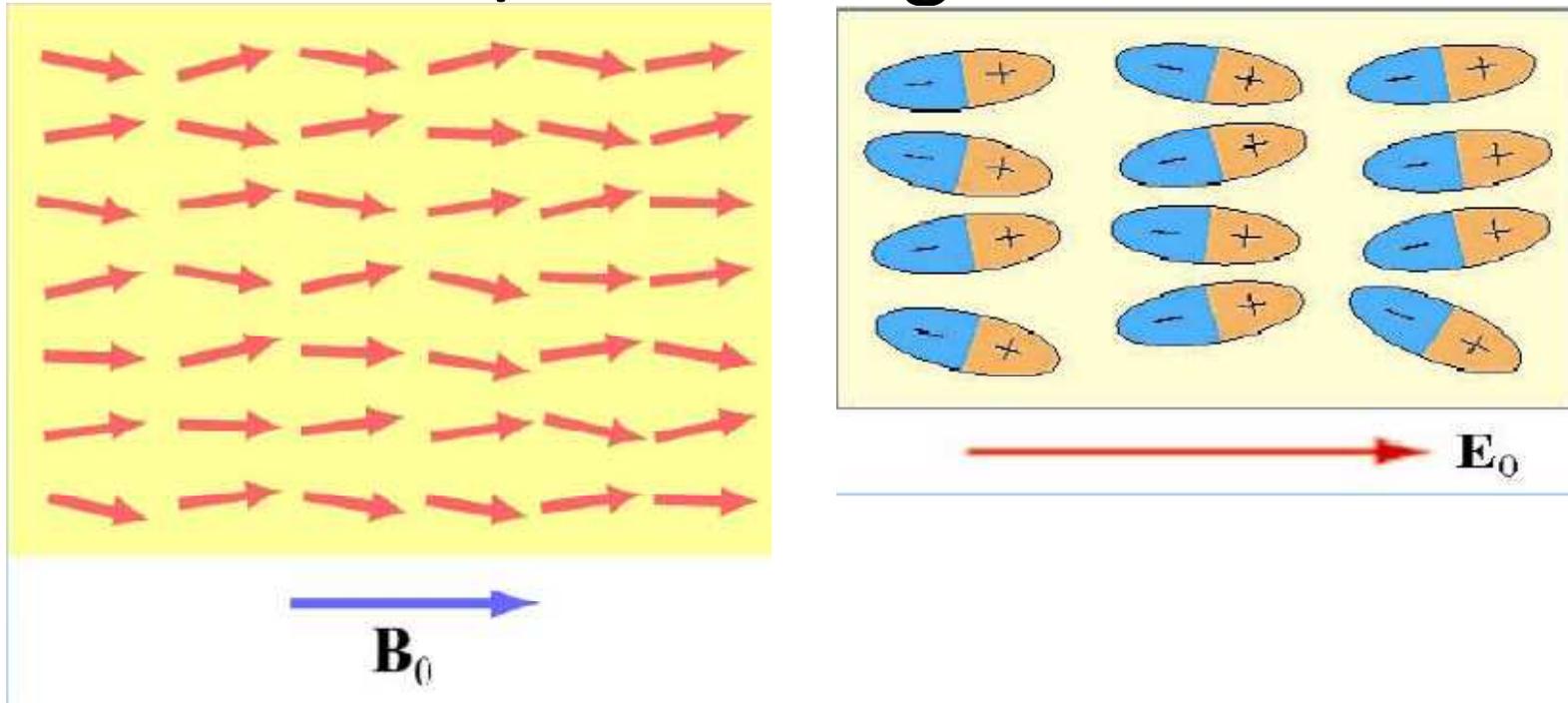
Polarisasi Dielektrik *melemahkan*
Medan Listrik!

Para/Ferromagnetisme



Adanya medan magnetik luar B_0 cenderung untuk mensejajarkan momen magnetik atom

Para/Ferromagnetisme



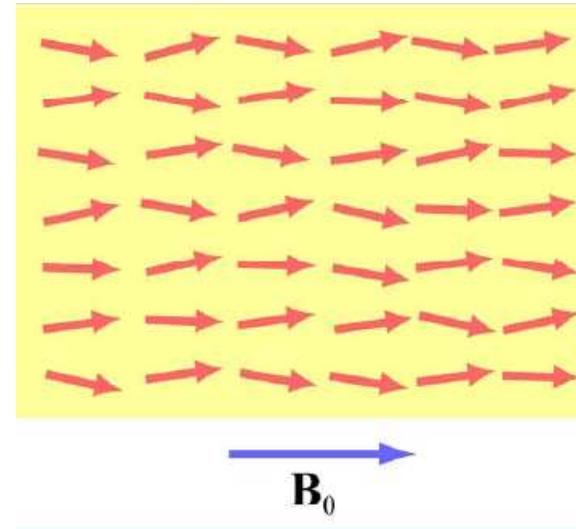
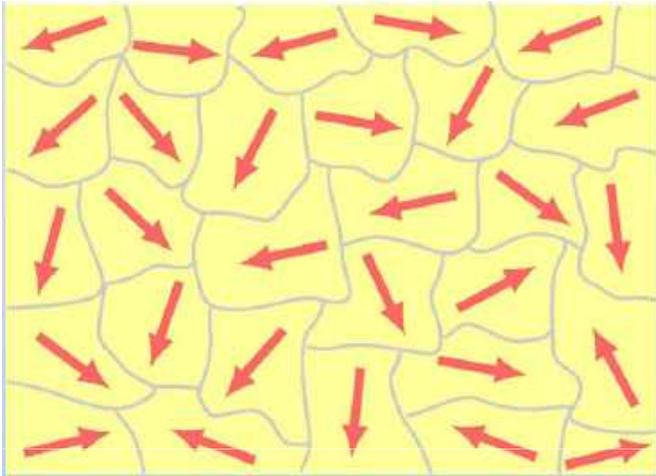
Momen yang searah *menguatkan* medan magnet B

$$\vec{\mathbf{B}} = \kappa_m \vec{\mathbf{B}}_0$$

Bandingkan dengan:

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{E}}_0}{\kappa_E}$$

Para/Ferromagnetisme

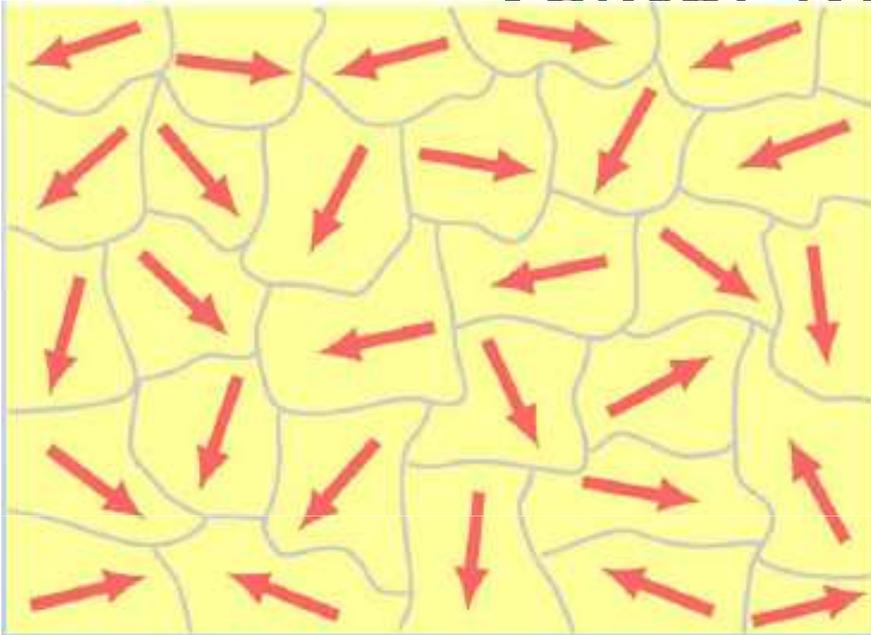


Paramagnet: B_0 hilang, momen magnet acak

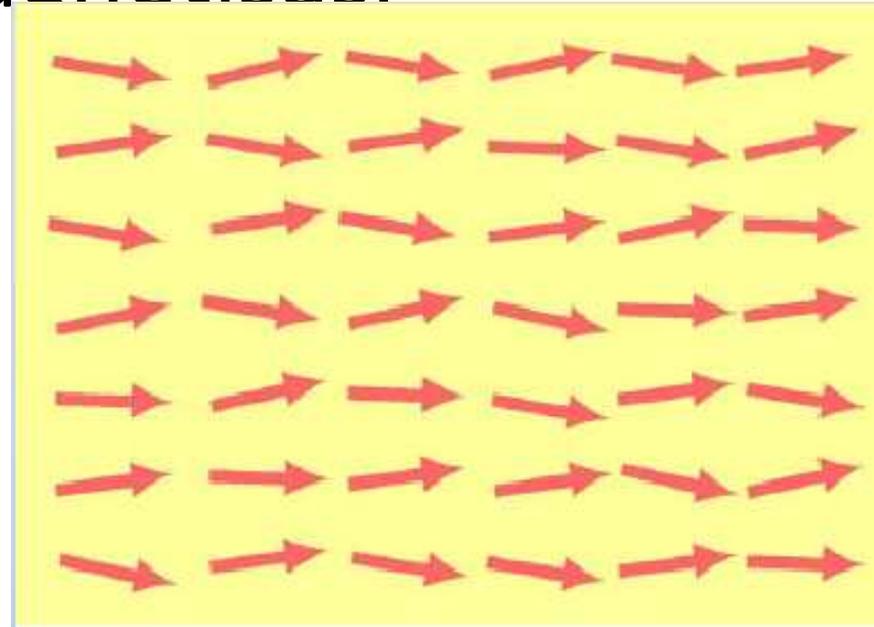
Ferromagnet: B_0 hilang, sebagian tetap terarah

Diamagnet?

Vektor Magnetisasi



M=0



M>0

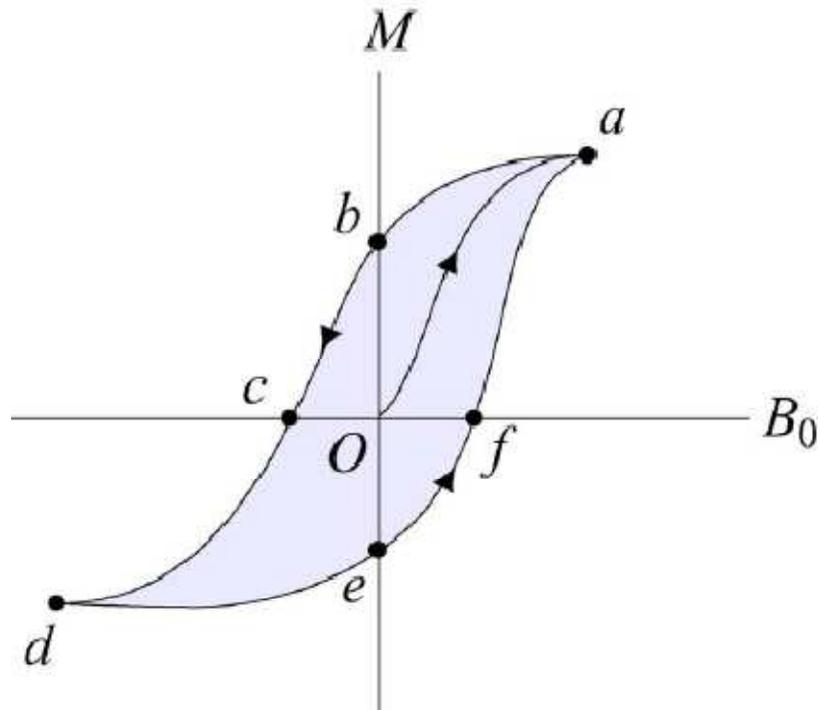
Digunakan untuk mendefinisikan "Magnetisasi" dari material:

$$\vec{\mathbf{M}} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i = \frac{\vec{\mu}}{V}$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \vec{\mathbf{B}}_0 + \mu_0 \vec{\mathbf{M}}$$

Histeresis pada Ferromagnet

Magnetisasi M dari sebuah material ferromagnetik material bergantung pada *history* dari bahan



Magnetisasi tetap meskipun B_0 hilang !!!

Tugas 8

Sudah dapat diakses di e-learning