

Fisika Umum (MA 301)

Topik hari ini

➤ **Kemagnetan**

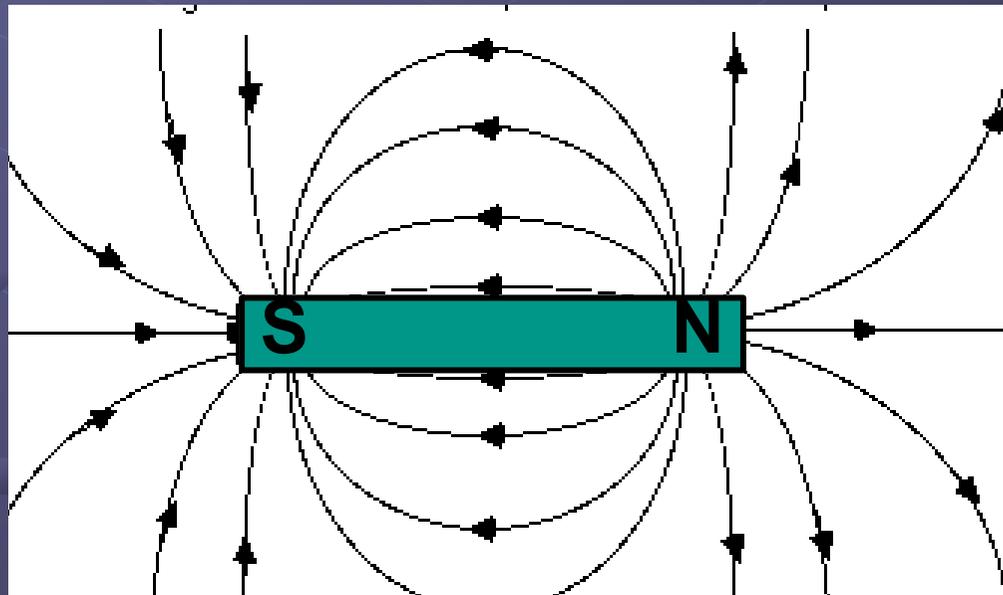


Kemagnetan

- Efek dari magnet alam telah diketahui sejak waktu yang lama. Observasi yang tercatat berasal dari bangsa Yunani lebih dari 2500 tahun yang lalu.
- Kata magnet berasal dari kata Yunani yang berasal dari jenis batu yang mengandung besi oksida yang ditemukan di Magnesia, sebuah distrik di Yunani utara.
- Sifat batu tersebut: dapat memberikan gaya pada jenis batu yang sama dan dapat memberikan sifat tersebut pada potongan besi yang tersentuhnya (magnetisasi).
- Bagian kecil dari batu tersebut apabila digantungkan akan selalu mengarah ke utara dan selatan (mendeteksi medan magnet bumi).

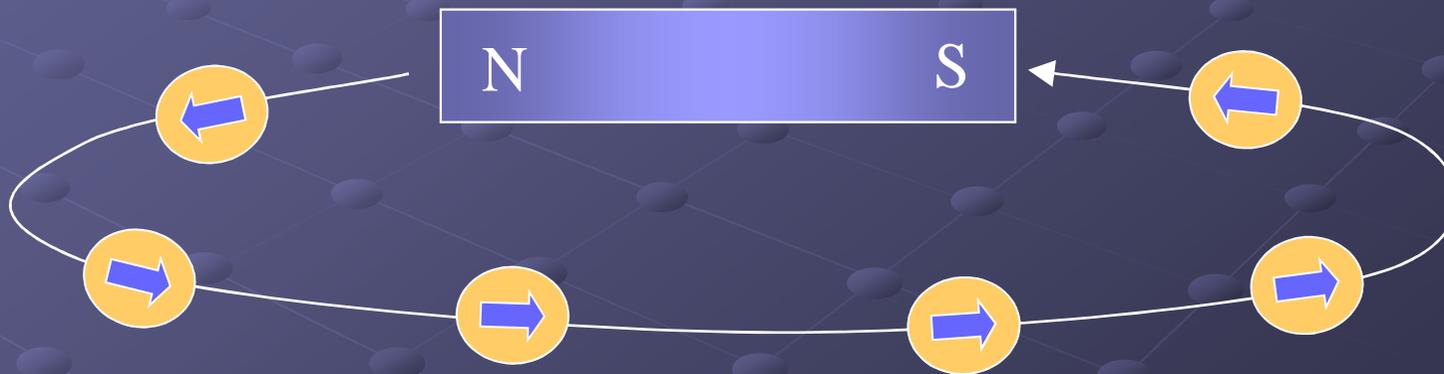
Magnet Batang

- Magnet batang ... Dua kutub: N (utara) dan S (selatan)
 - Kutub sama saling menolak; kutub berlawanan saling menarik.**
- Garis medan magnet: (didefinisikan dengan cara yang sama seperti garis medan listrik, arah dan kerapatan)

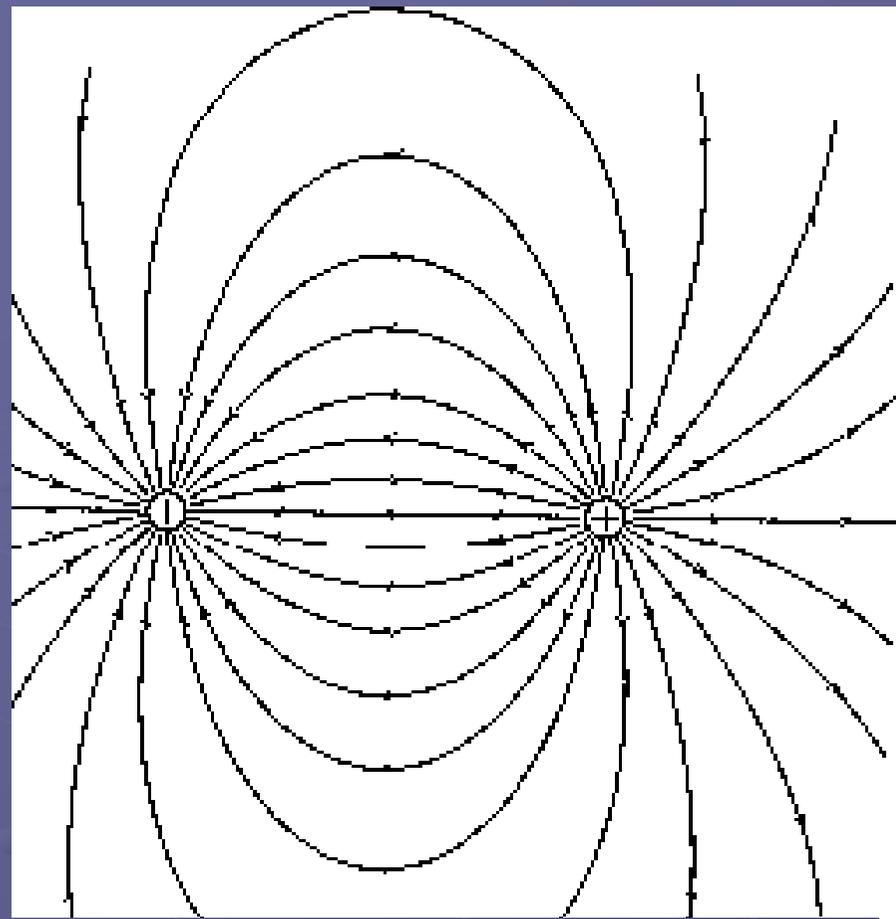


Arah Medan Magnet

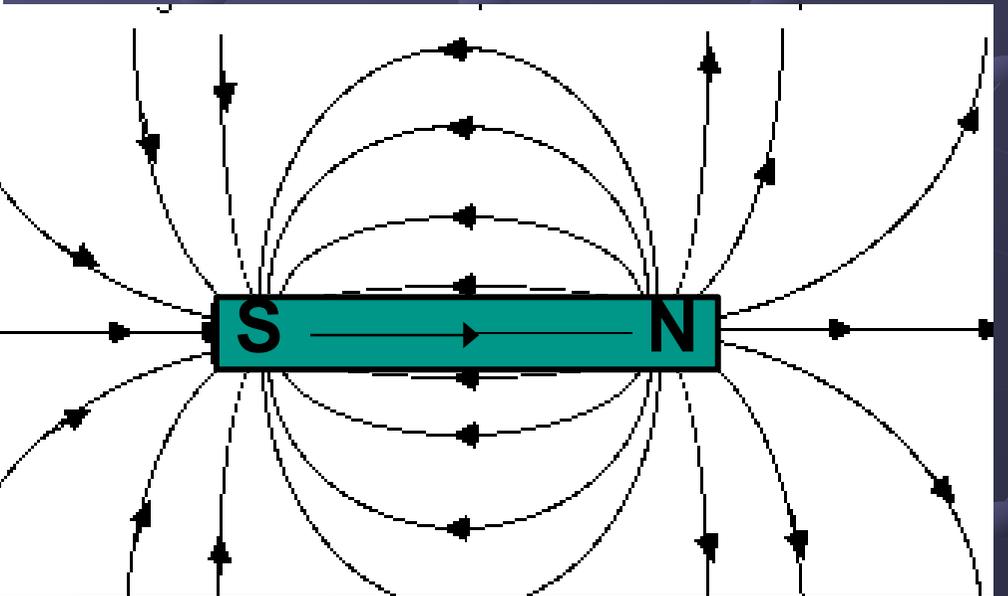
- Arah medan magnet (dari magnet batang) dapat ditentukan dengan menggunakan sebuah kompas-kompas kecil.



Animasi 8.1

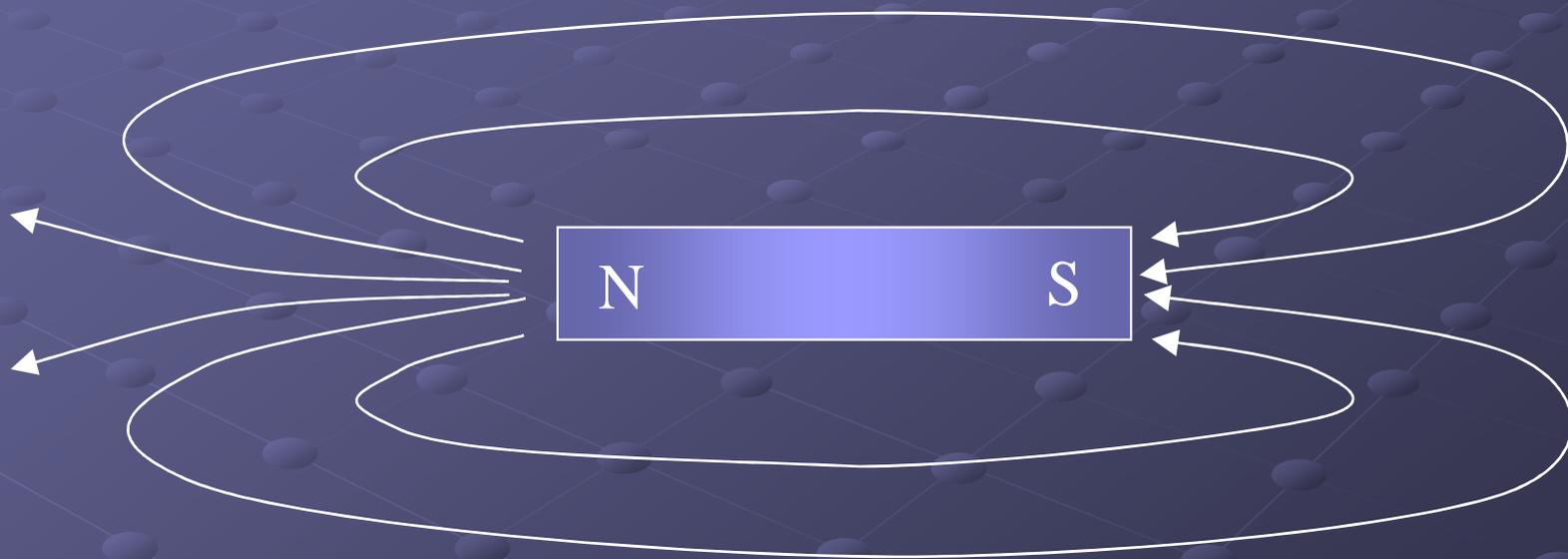


Garis medan listrik pada sebuah dipol listrik



Garis medan magnet pada magnet batang

Garis Medan Magnet



Monopol Magnet

- Mungkin terdapat juga **muatan magnet**, sama seperti muatan listrik. Wujud seperti itu dinamakan sebuah **monopol magnet** (mempunyai + atau – muatan magnet).
- Bagaimana anda dapat memperoleh muatan magnet ini?

Coba sebuah magnet batang dipotong menjadi dua bagian:

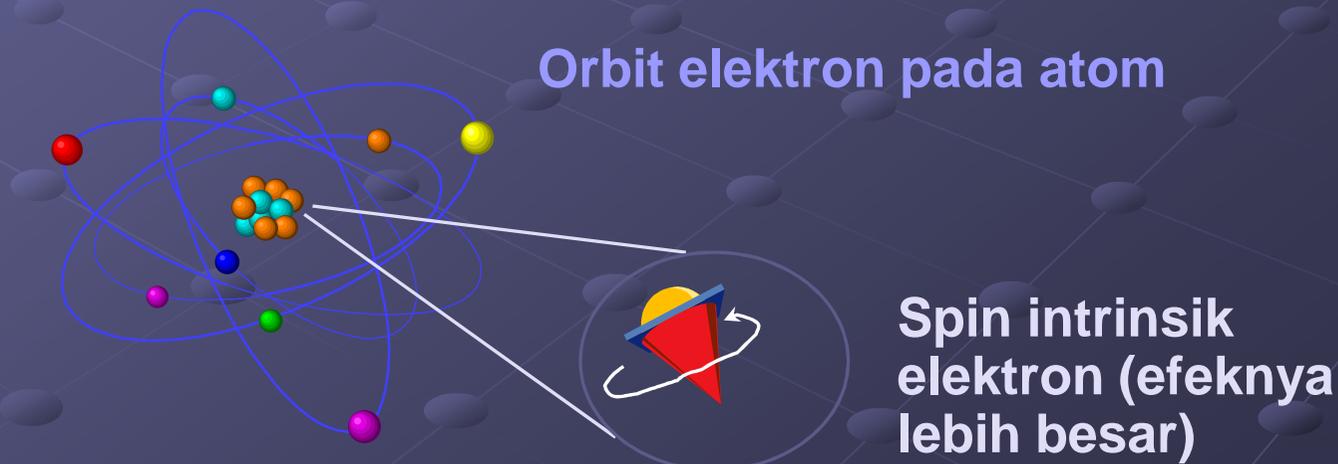


Bahkan sebuah elektron pun mempunyai “dipol” magnet

- Banyak pencarian tentang monopol magnet—keberadaannya akan menjelaskan (dalam kerangka mekanika kuantum) kuantisasi dari muatan listrik (argumennya Dirac)
- **Tidak ada monopol magnet yang telah ditemukan sampai saat ini!**

Sumber Medan Magnet ?

- Jika **bukan** muatan magnet, lalu apa sumber medan magnet?
- Jawab: **muatan listrik yang bergerak!**
 - **contoh, arus dalam kawat yang melingkar (solenoid) menghasilkan medan magnet yang mirip dengan magnet batang.**
- Oleh karenanya, memahami sumber medan yang dihasilkan oleh magnet batang tidak lain adalah memahami arus pada tingkat atomik dalam suatu bahan.



Analogi Medan Magnet dengan Medan Listrik

Medan listrik:

- **Distribusi muatan** menghasilkan medan listrik $E(\mathbf{r})$ di daerah sekitarnya.
- Medan memberikan gaya $F=q E(\mathbf{r})$ pada sebuah muatan q berjarak r

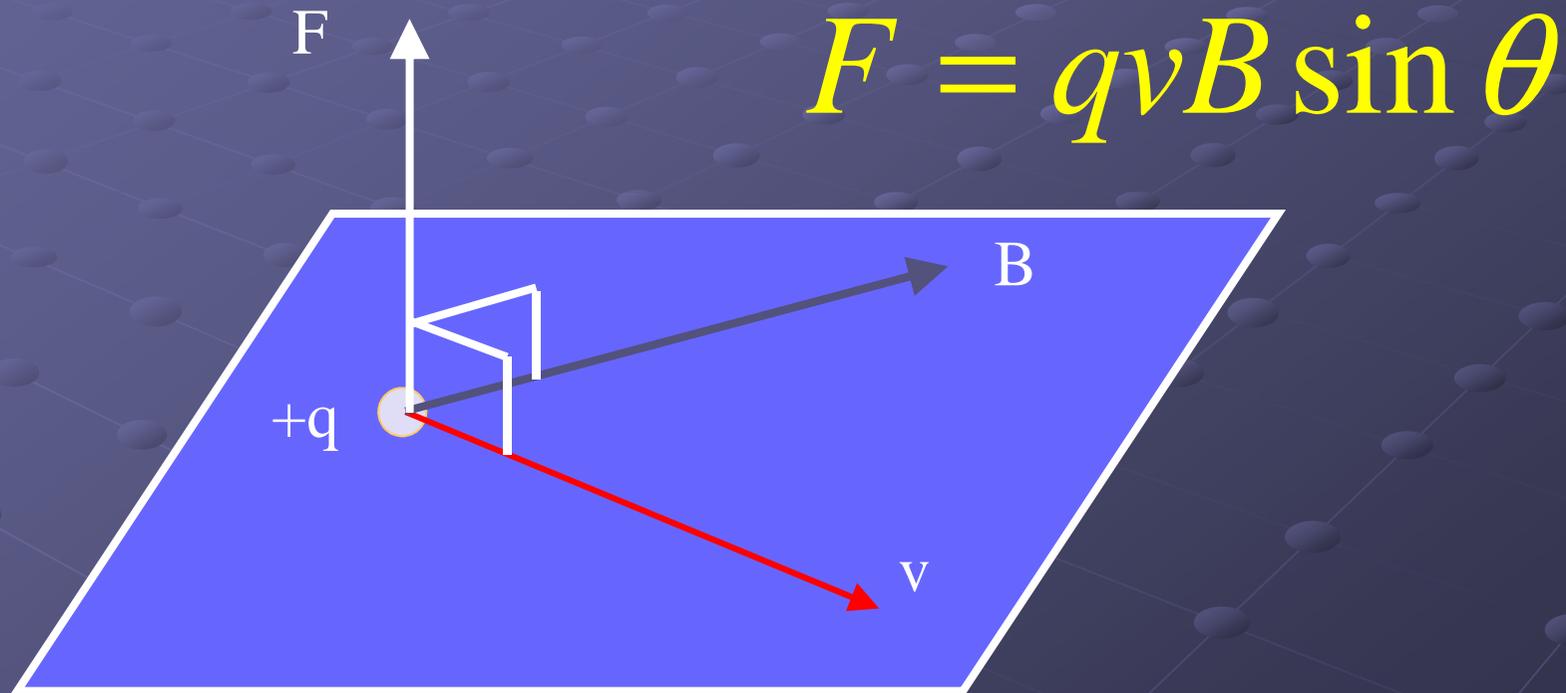
Medan magnet:

- Muatan yang bergerak atau arus menghasilkan medan magnet $B(\mathbf{r})$ di daerah sekitarnya.
- Medan memberikan gaya F pada sebuah muatan q yang bergerak

Kekuatan Medan Magnet

- Mendefinisikan **medan magnetik B** pada sebuah titik dalam ruang dengan meninjau **gaya magnetik** yang dialami muatan yang bergerak pada titik tersebut.
- Pengamatan menunjukkan bahwa gaya tersebut berbanding lurus dengan
 - medan
 - muatan
 - kecepatan partikel
 - Sinus sudut antara arah medan dengan arah gerak partikel.

Kekuatan dan arah ***Gaya Magnetik*** pada sebuah muatan yang bergerak



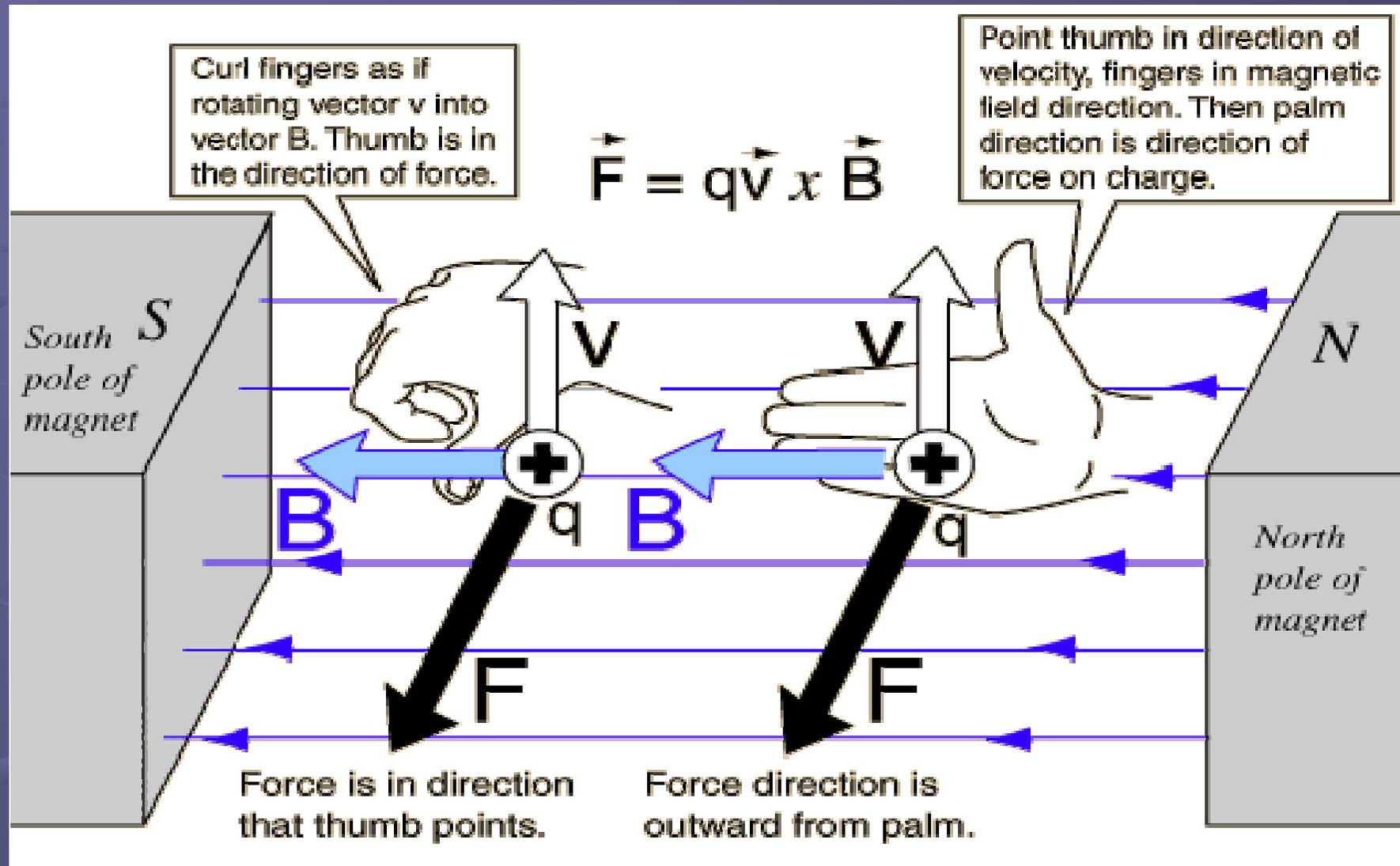
Besarnya Medan Magnetik

$$B = \frac{F}{qv \sin \theta}$$

Satuan Medan Magnetik

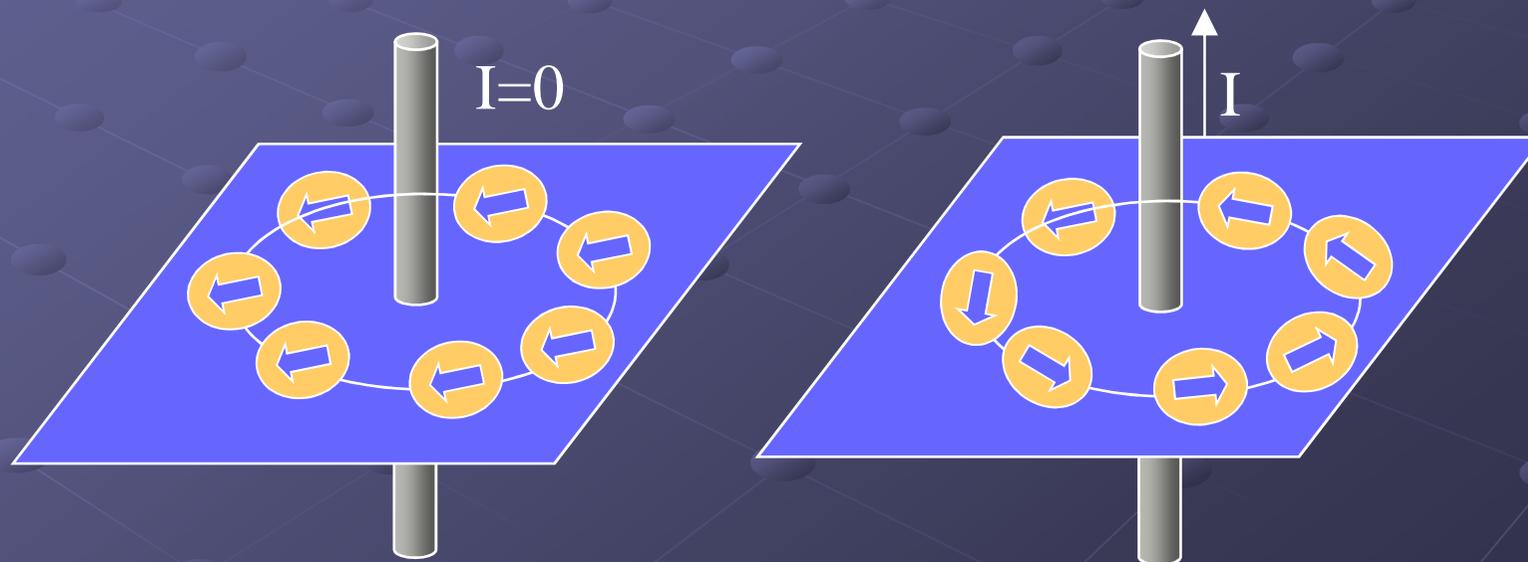
- [F] = newton
- [v] = m/s
- [q] = C
- [B] = tesla (T).
 - Juga dinamakan weber (Wb) per meter kuadrat.
 - $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$.
 - $1 \text{ T} = 1 \text{ N s m}^{-1} \text{ C}^{-1}$.
 - $1 \text{ T} = 1 \text{ N A}^{-1} \text{ m}^{-1}$.
- Satuan CGS dalam Gauss (G)
 - $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$.

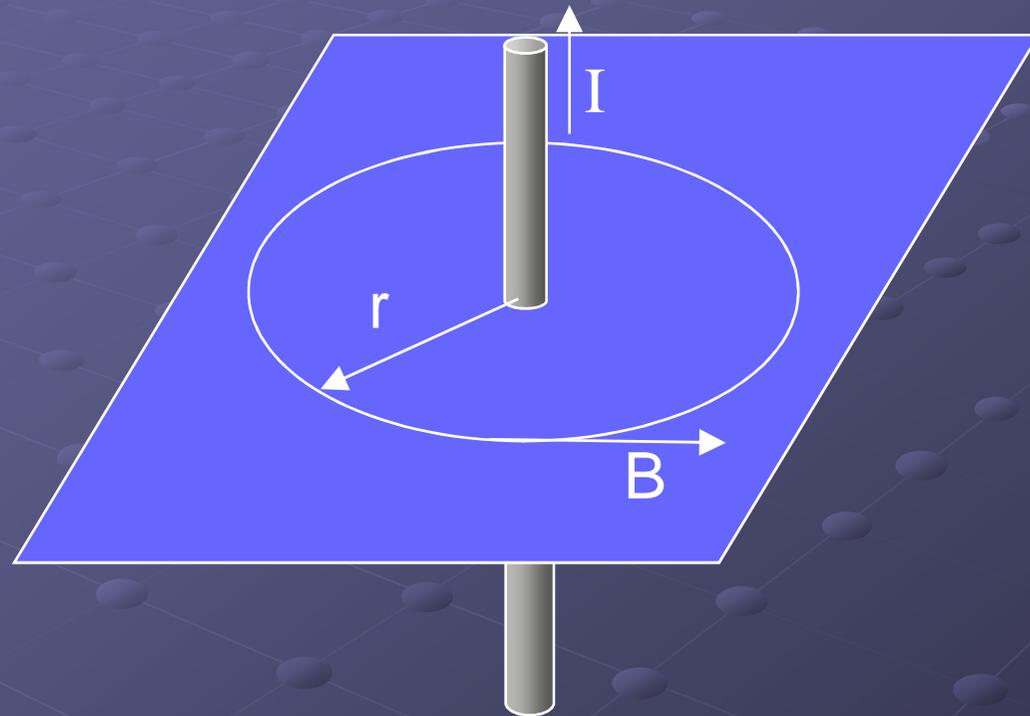
Aturan Tangan Kanan I



Medan Magnet oleh Kawat Lurus Panjang

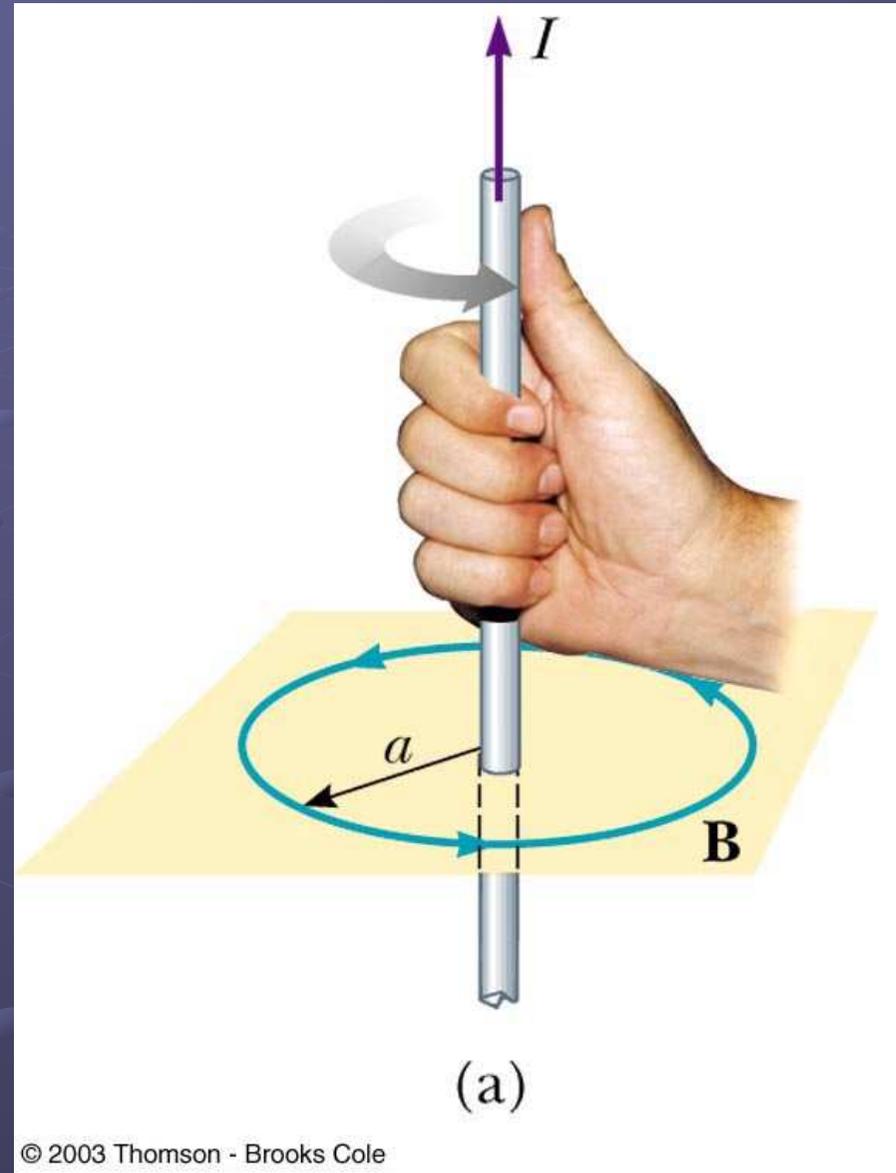
- Ilmuan Denmark Hans Oersted (1777-1851) menemukan bahwa arus listrik pada kawat dapat menyimpangkan jarum kompas.
- Pada tahun 1820, dia melakukan eksperimen kecil dengan menggunakan banyak kompas yang berhasil menunjukkan kehadiran medan magnet disekitar kawat yang dialiri arus.





Animasi 8.2

Aturan tangan kanan II

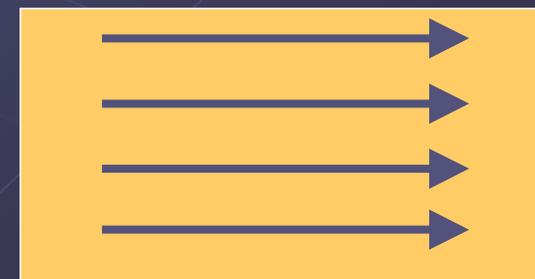
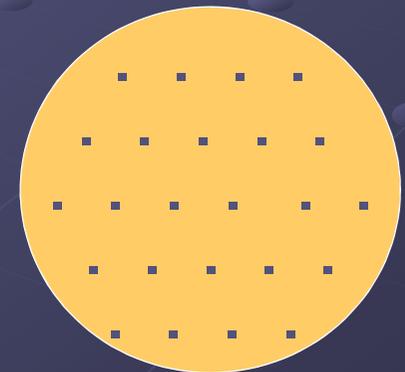
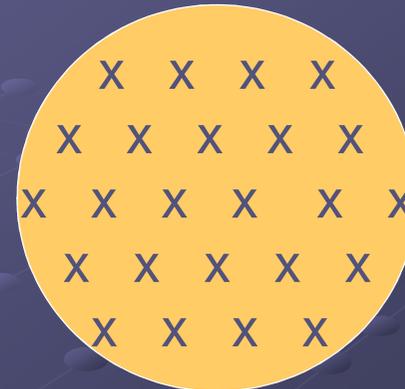


Gaya Magnet pada Kawat Penghantar yang Dialiri Arus

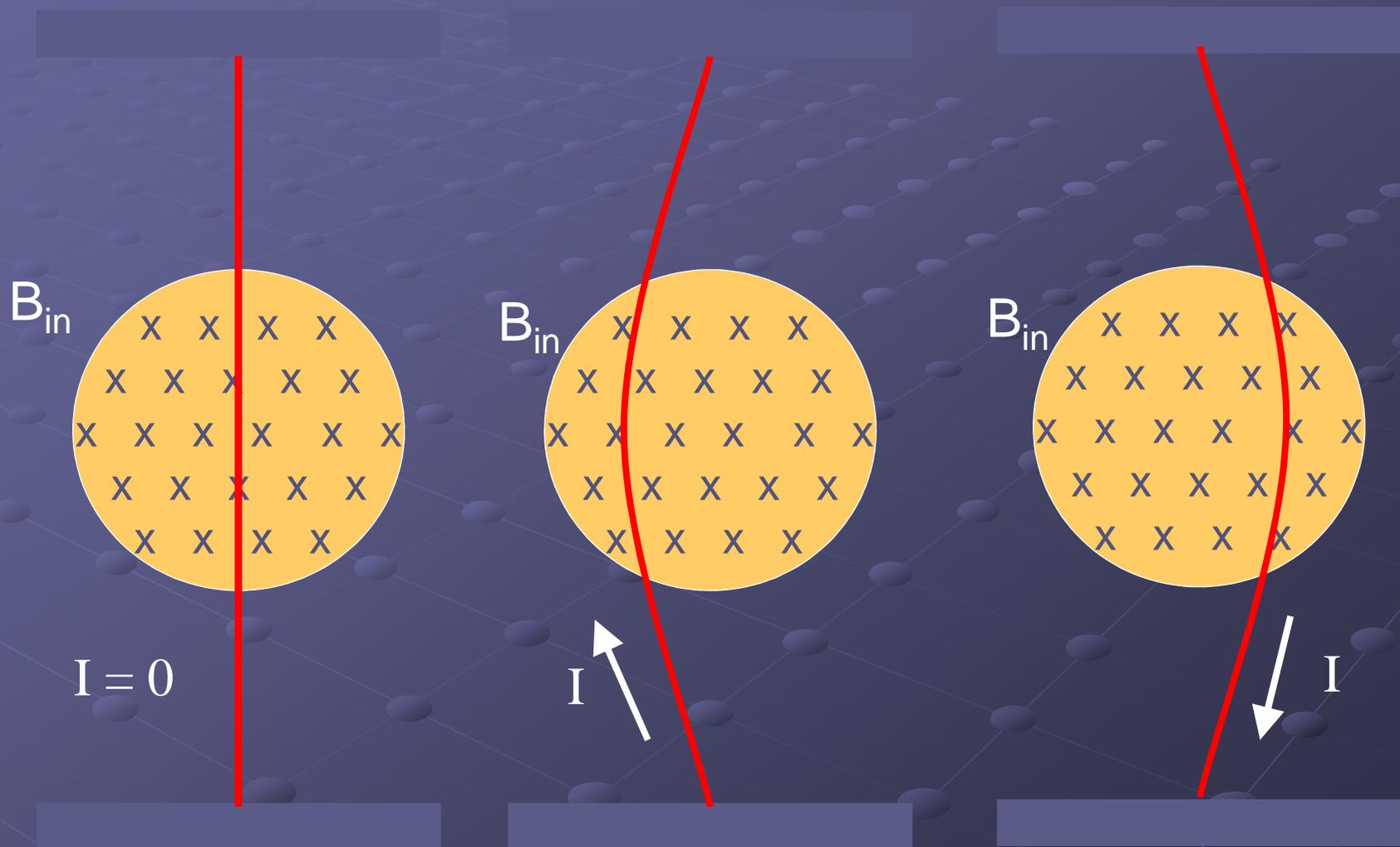
- Gaya magnet bekerja pada sebuah muatan tunggal yang bergerak melalui medan.
- Gaya magnet juga berkerja pada kumpulan muatan yang bergerak melalui sebuah kawat penghantar, yaitu arus.
- Gaya pada penghantar yang dialiri arus adalah jumlah dari semua gaya yang bekerja pada masing-masing muatan yang bergerak.

Penulisan Arah Medan Magnet

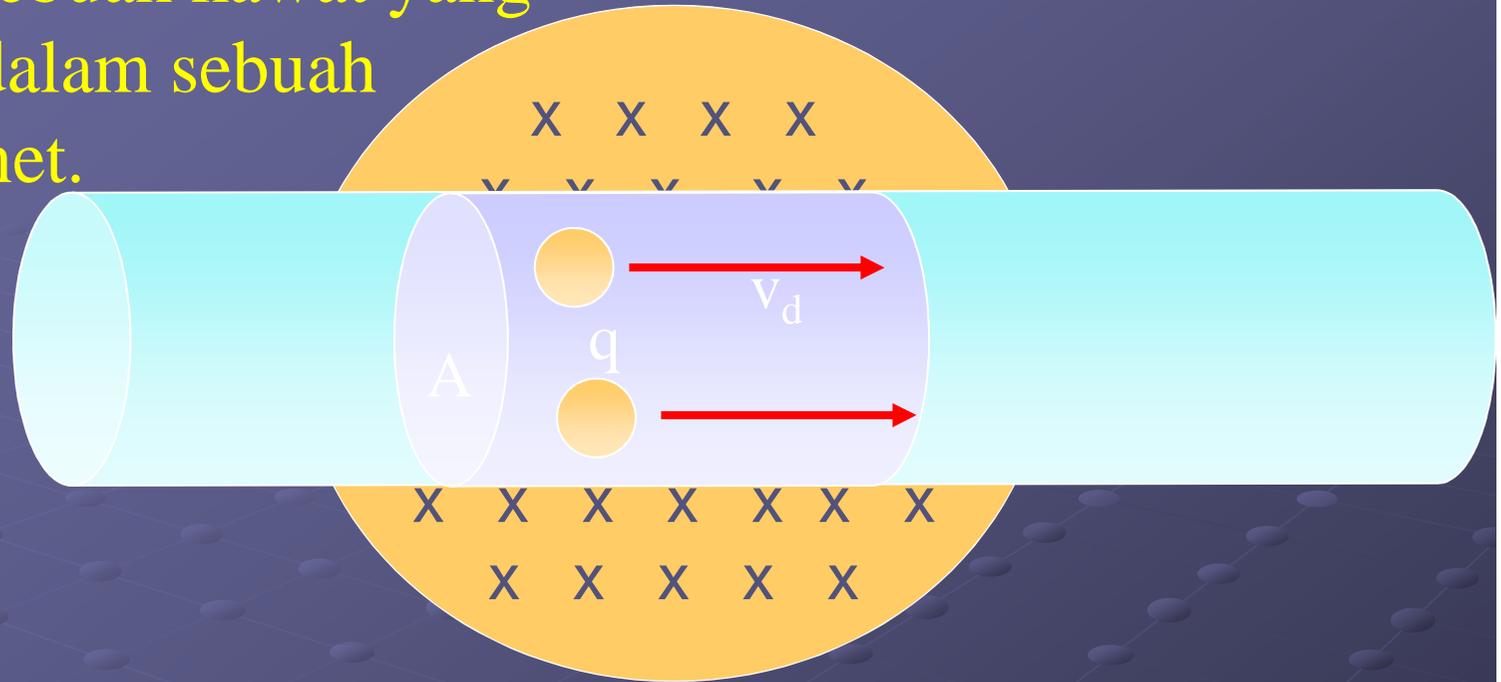
- Jika B berarah masuk halaman/bidang kertas, kita menggunakan tanda kali untuk menunjukkan arah medan tersebut.
- Jika arah B keluar halaman/bidang kertas, kita gunakan titik.
- Jika B dalam bidang kertas, kita gunakan panah.



Gaya pada Penghantar yang dilalui arus berada dalam medan magnet



Gaya pada sebuah kawat yang dialiri arus dalam sebuah medan magnet.



$$F_{\max} = (qv_d B)(nAl)$$

$$I = nqv_d A$$

$$F_{\max} = BIl$$

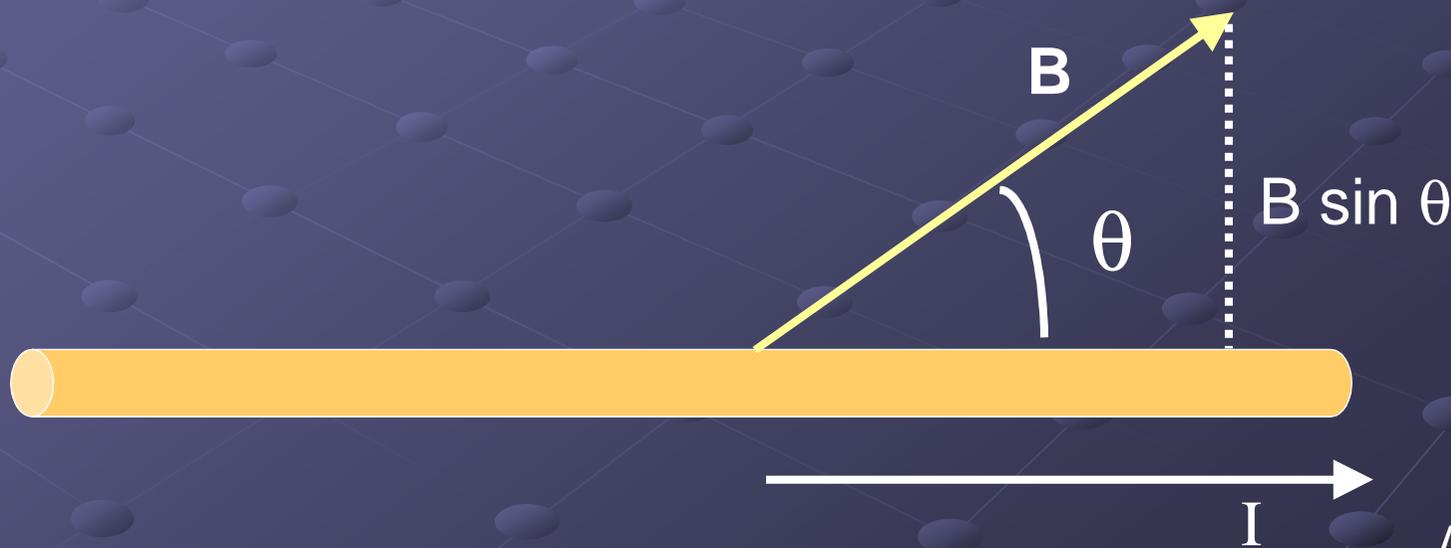
Arah medan magnet dan arus yang saling tegak lurus.

Kasus Umum :

Arah arus dan arah medan membentuk sudut θ .

$$F_{\max} = BIl \sin \theta$$

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$



Tes konsep

Ketika terjadi kilat, terdapat aliran muatan negatif yang sangat cepat dari awan menuju tanah. Ke arah manakah kilat dibelokan oleh medan magnetik bumi?

Jawab: Ke arah barat

Penjelasan:

Muatan negatif mengalir kebawah.

Arus positif ke atas.

Arah medan B dari belahan bumi selatan ke belahan bumi utara

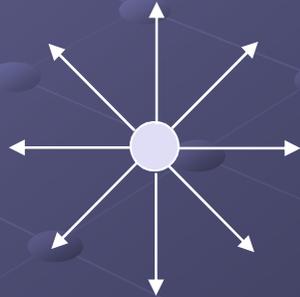
Jawab:

Gaya mengarah ke barat.



Comparison:

Electric Field vs. Magnetic Field

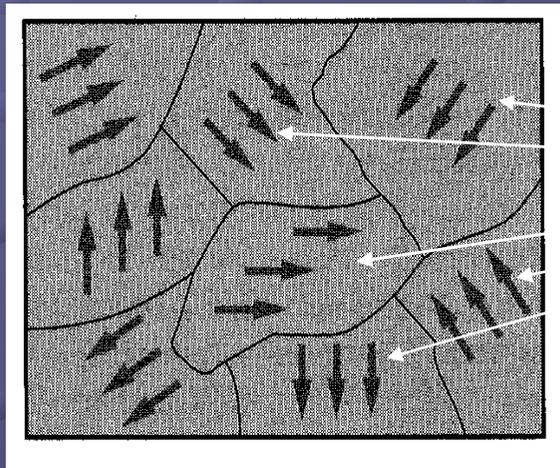
	Electric	Magnetic
Source	Charges	Moving Charges
Acts on	Charges	Moving Charges
Force	$F = Eq$	$F = q v B \sin(\theta)$
Direction	Parallel E	Perpendicular to v, B
Field Lines		
Opposites	Charges Attract	Currents Repel

Material Magnetik

- Material dapat diklasifikasi berdasarkan bagaimana responnya terhadap medan magnet luar, B_{app} .
- **Paramagnetik** (aluminum, tungsten, oksigen,...)
 - Dipol magnet atomik (~magnet batang atomik) mensejajarkan diri searah dengan arah medan, meningkatkan besar medan magnet, tetapi sangat kecil: $B_{\text{ind}} \sim B_{\text{app}} \cdot 10^{-5}$
- **Diamagnetik** (emas, tembaga, air,...)
 - Medan luar yang diberikan menginduksi medan magnet yang berlawanan arah; ini juga sangat kecil; $B_{\text{ind}} \sim -B_{\text{app}} \cdot 10^{-5}$
[Pengecualian: Superkonduktor menunjukkan diamagnetisme yang sempurna → memblokir semua medan magnet]
- **Ferromagnetik** (besi, kobalt, nikel,...)
 - Sama seperti paramagnetik, tetapi medan induksi yang dihasilkan lebih besar; $B_{\text{ind}} \sim B_{\text{app}} \cdot 10^{+5}$

Ferromagnetik (lanjutan)

- Tidak ada medan magnetik luar B , dipol-dipol sejajar berkelompok kecil – “domain”. Ada B , domain-domain tersebut mensejajarkan diri dengan arah B , menghasilkan magnetisasi yang besar.



Domain-domain
magnetik

Ferromagnetik (lanjutan)

- Ferromagnetik “soft”

- Domain-domain akan acak ketika B dihilangkan

- Ferromagnetik “hard”

- Domain-domain tidak berubah ketika B dihilangkan

- Magnet “permanen”

- Domain-domain akan mensejajarkan diri dalam arah yang berbeda oleh pengaruh medan lain
- Domain-domain akan acak oleh guncangan/getaran fisik yang mendadak
- Jika temperatur mencapai di atas “titik Curie” (770°C untuk besi), domain-domain akan acak juga \rightarrow paramagnetik

Tes konsep 1

Material jenis apa yang digunakan untuk pita kaset/video?

(a) diamagnetik

(c) ferromagnetik “soft”

(b) paramagnetik

(d) ferromagnetik “hard”

Jawab d

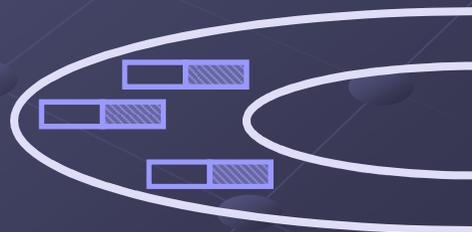
Tes konsep 2

Bagaimana sebuah magnet batang dapat menarik sekrup, klip kertas, lemari es, dll., padahal semuanya bukanlah magnet!

Jawab:

Material-material di atas termasuk feromagnetik “soft”. Kehadiran B luar akan mensejajarkan domain-domain sehingga muncul dipol total, yang kemudian dapat tertarik oleh magnet batang.

- Efek akan hilang ketika B dihilangkan
- Tidak jadi soal kutub mana yang digunakan



Ujung klip kertas

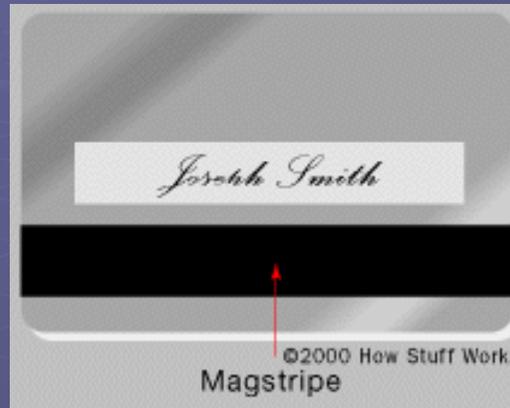
Sejarah sebuah “bit”

IBM memperkenalkan **hard disk** pertamanya di tahun **1957**, ketika data disimpan dalam pita. Hard disk tersebut terdiri dari 50 plat, diameter 24 inch, dan ukurannya dua kali ukuran refrigerator.



Harganya **\$35,000** dan kapasitasnya **5 MB**, angka yang sangat besar pada waktu itu!

Bagaimana prinsip kerja kartu kredit anda!



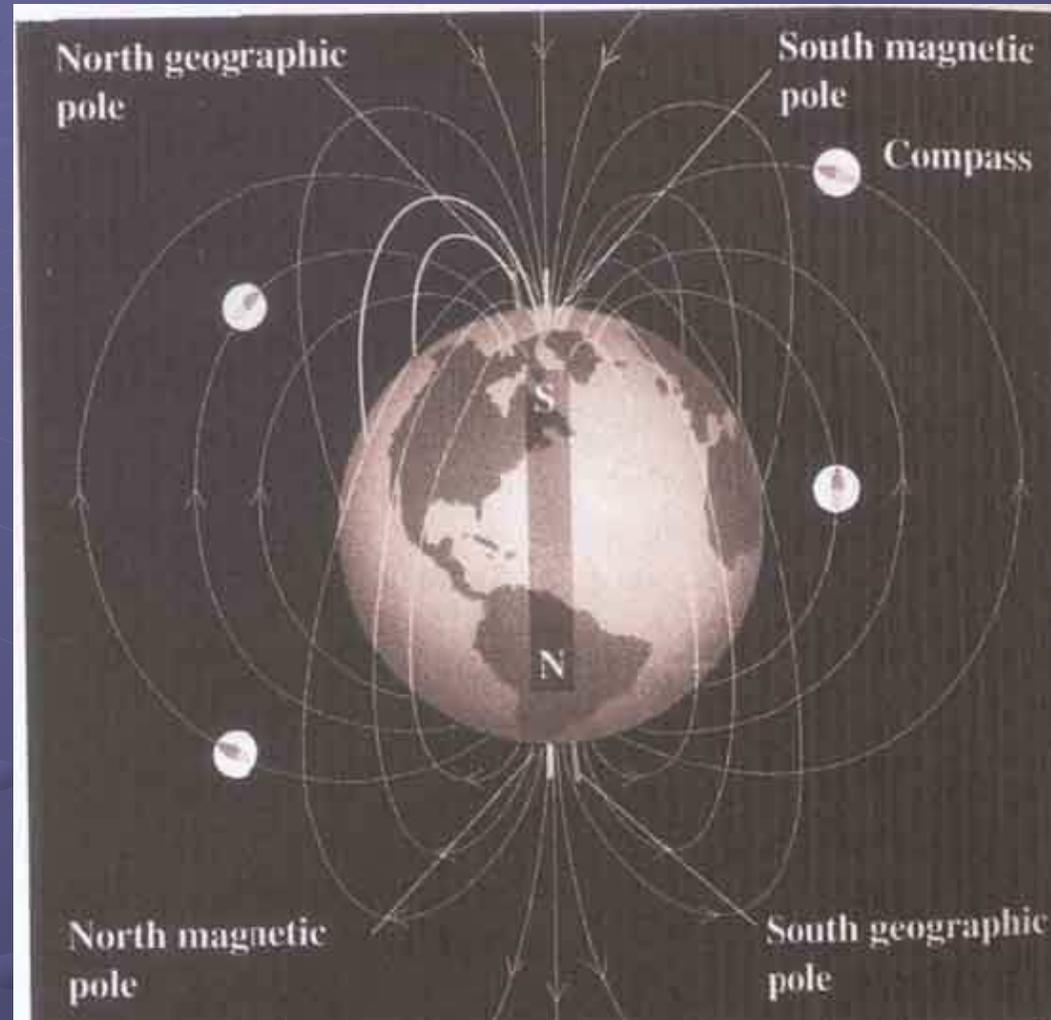
Jalur hitam pada bagian belakang kartu kredit anda adalah **jalur magnetik**, biasanya disebut **magstripe**. Megastrip terbuat dari besi kecil yang merupakan partikel magnetik yang tersimpan dalam sebuah plastik menyerupai film. Setiap partikel adalah magnet batang yang sangat kecil.

Megastrip dapat "**ditulis**" karena magnet batang kecil dapat **dimagnetisasi** dalam arah utara atau selatan. Megastrip pada bagian belakang kartu sama persis dengan seuntai pita kaset.

Medan Magnetik Bumi

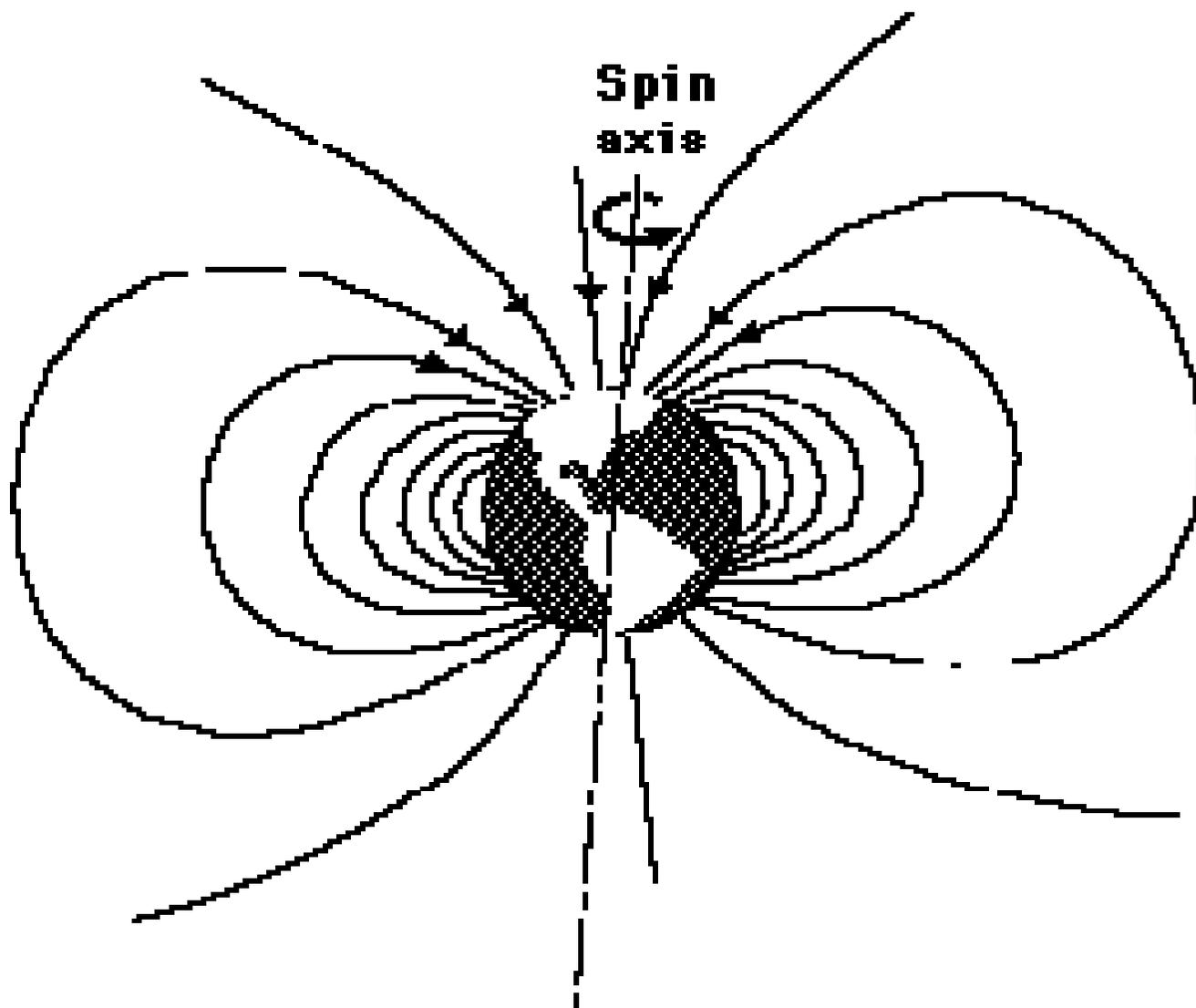
- Jarum pada sebuah kompas selalu menunjuk pada arah utara karena daerah dipermukaan bumi merupakan daerah bermedan magnet.
- Medan magnet yang muncul berasal dari bumi yang merupakan sebuah magnet yang sangat besar.
- Bagian **utara bumi** berkaitan dengan **kutub selatan magnet** dan bagian **selatan bumi** berkaitan dengan **kutub utara magnet**.
- Konfigurasi magnet bumi mirip dengan sebuah batang magnet (besar) yang diletakkan di pusat bumi.

Medan Magnetik Bumi



Medan Magnet Bumi (lanjutan)

- Kutub magnet utara dan selatan tidak persis tepat pada kutub selatan dan utara bumi, tetapi agak menyimpang.
 - Kutub magnet selatan terletak 1800 km dari kutub utara, tepatnya di wilayah Kanada utara,
 - sedang kutub magnet bagian selatan terletak di wilayah Australia selatan
- Ketidakcocokan antara orientasi jarum pada kompas dengan kutub utara bumi yang sebenarnya dinamakan **deklinasi magnetik**.
- **Sumber medan** : Muatan yang bergerak (arus konveksi) yang terjadi di dalam inti bumi, ditambah juga efek rotasi bumi

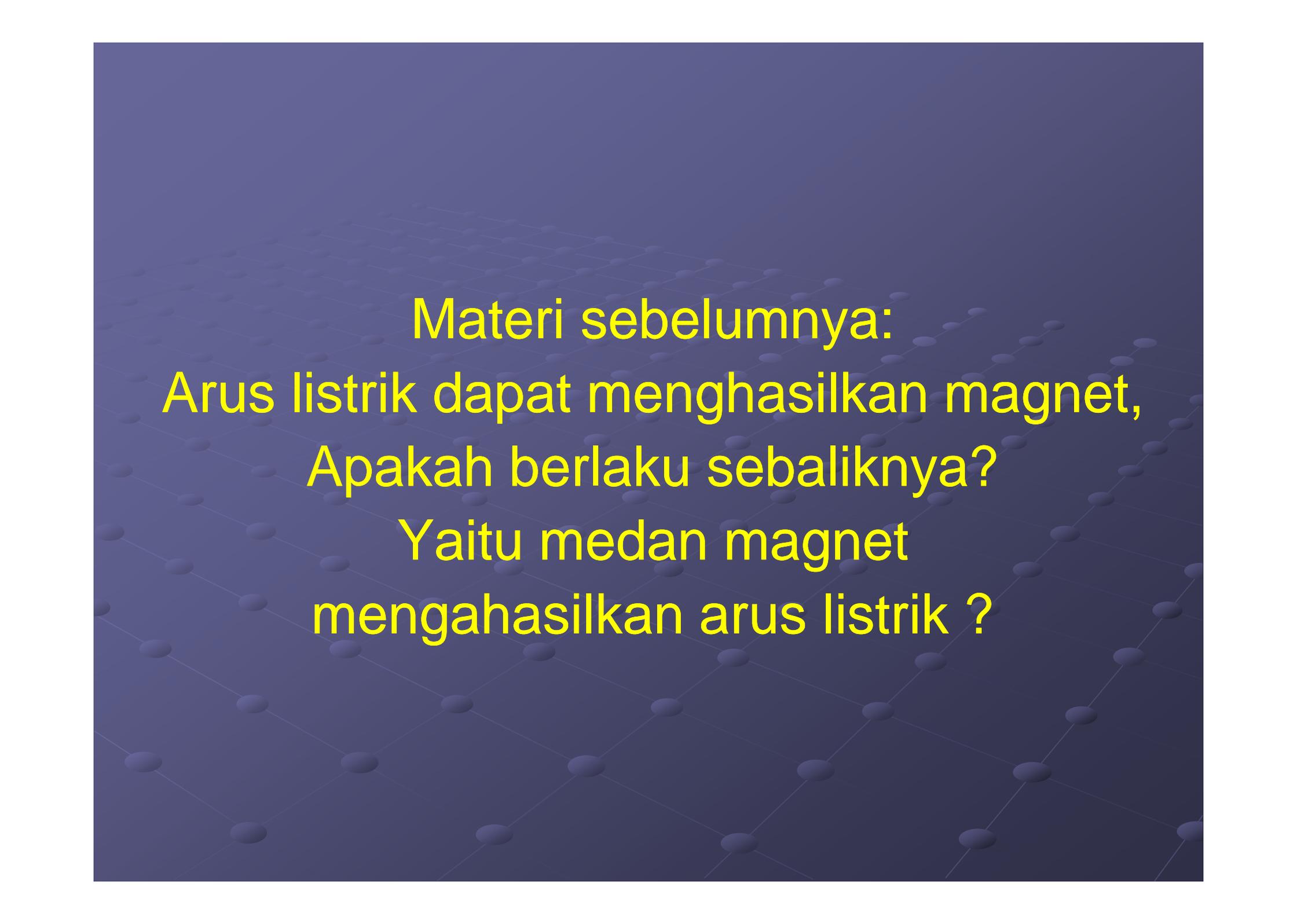


Tes konsep 3

- Anda sedang berwisata di Australia dan membawa kompas buatan Indonesia. Apakah kompas tersebut dapat digunakan???

Jawab

- Tidak masalah menggunakan kompas buatan manapun di Australia.
- Kutub utara kompas akan menuju ke arah kutub selatan bumi...



Materi sebelumnya:
Arus listrik dapat menghasilkan magnet,
Apakah berlaku sebaliknya?
Yaitu medan magnet
menghasilkan arus listrik ?

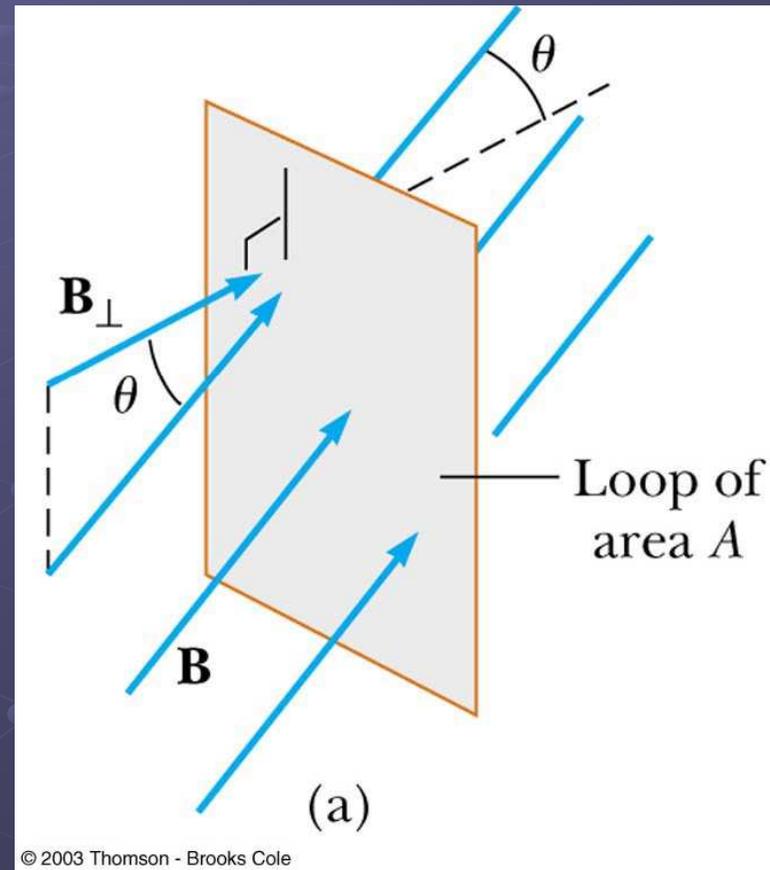
Fluks Magnet

- Sama seperti pada kasus fluks listrik, tinjau keadaan dimana medan magnetnya uniform. Kemudian dalam medan magnet tersebut ditempatkan sebuah loop.
- Fluks magnet, Φ , didefinisikan sebagai perkalian antara besar medan dengan luas loop yang ditembus garis medan.

$$\Phi = B_{\perp} A = BA \cos \theta$$

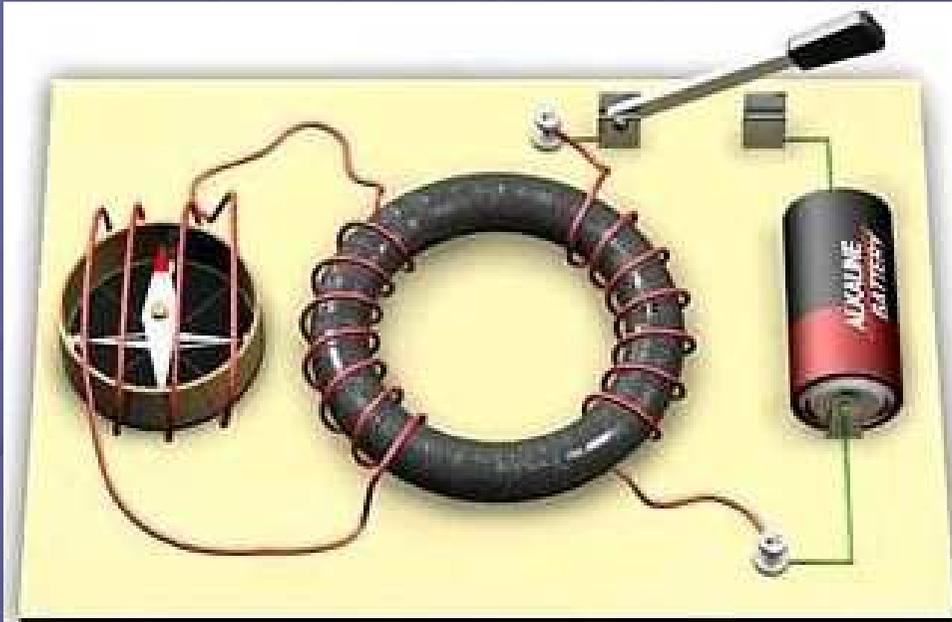
dimana B_{\perp} adalah komponen B yang tegak lurus loop, θ adalah sudut antara B dan normal loop.

- Satuan: T·m² or Webers (Wb)



Nilai fluks magnet berbanding lurus dengan jumlah garis medan yang menembus loop tersebut.

GGL induksi dan Fluks Magnet



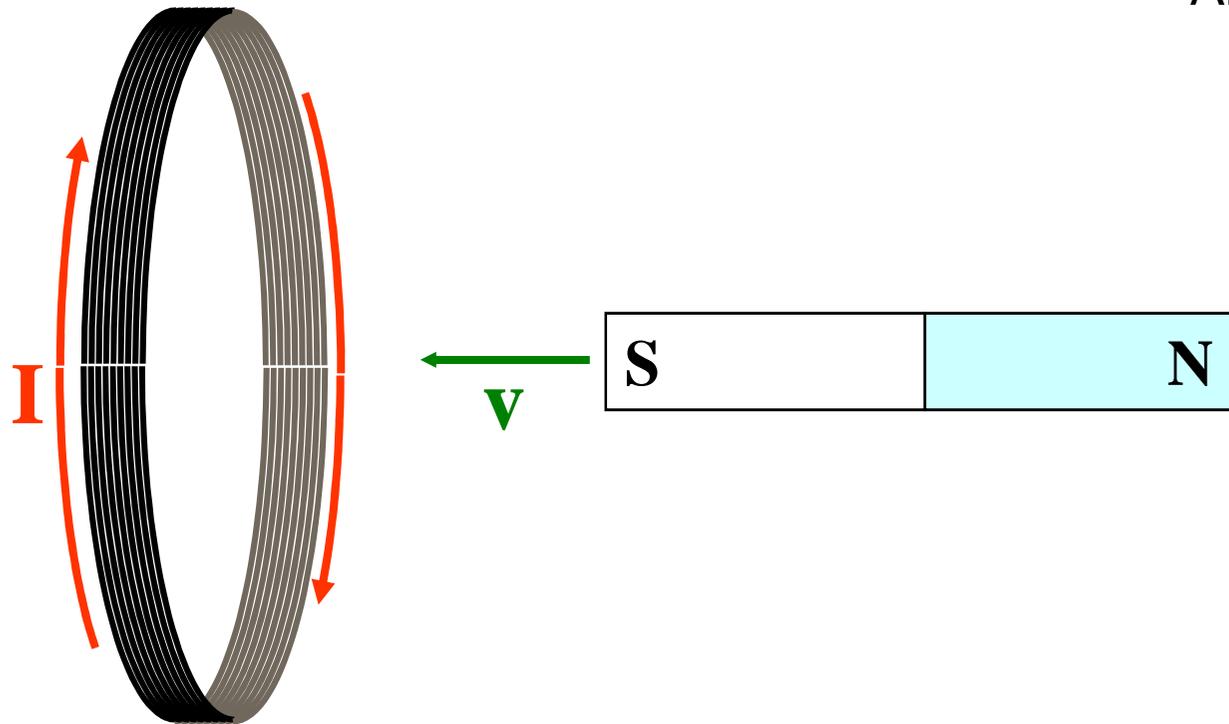
Eksperimen Faraday

- Dua rangkaian terputus: tidak ada arus?
- Tetapi, ketika **saklar di tutup**, jarum kompas **bergerak** dan kemudian kembali ke posisi semula
- **Tidak muncul** perubahan lagi pada jarum kompas ketika arus dalam koil primer **tetap (steady)**
- Tapi **hal yang sama** terjadi ketika saklar dibuka, hanya jarum jam bergerak ke arah yang **berlawanan**...

Apa yang terjadi?

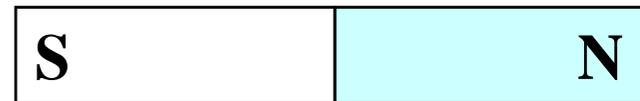
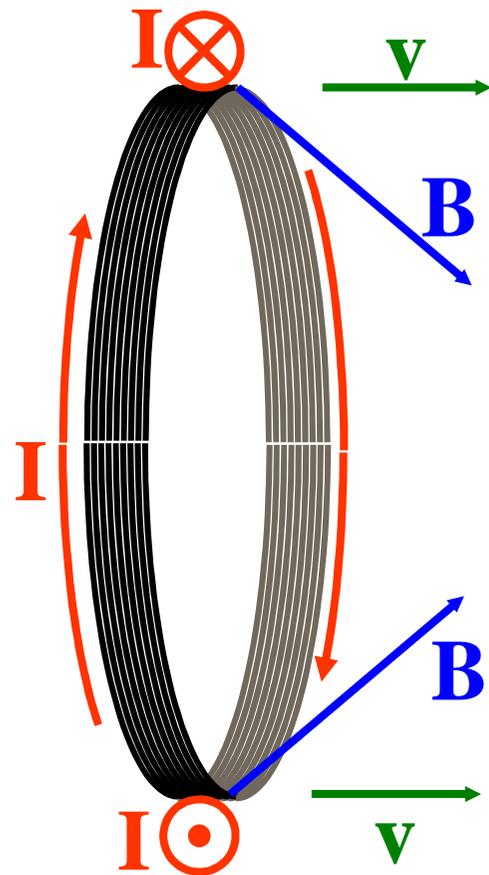
Eksperimen Faraday (lanjutan)

Animasi 8.5



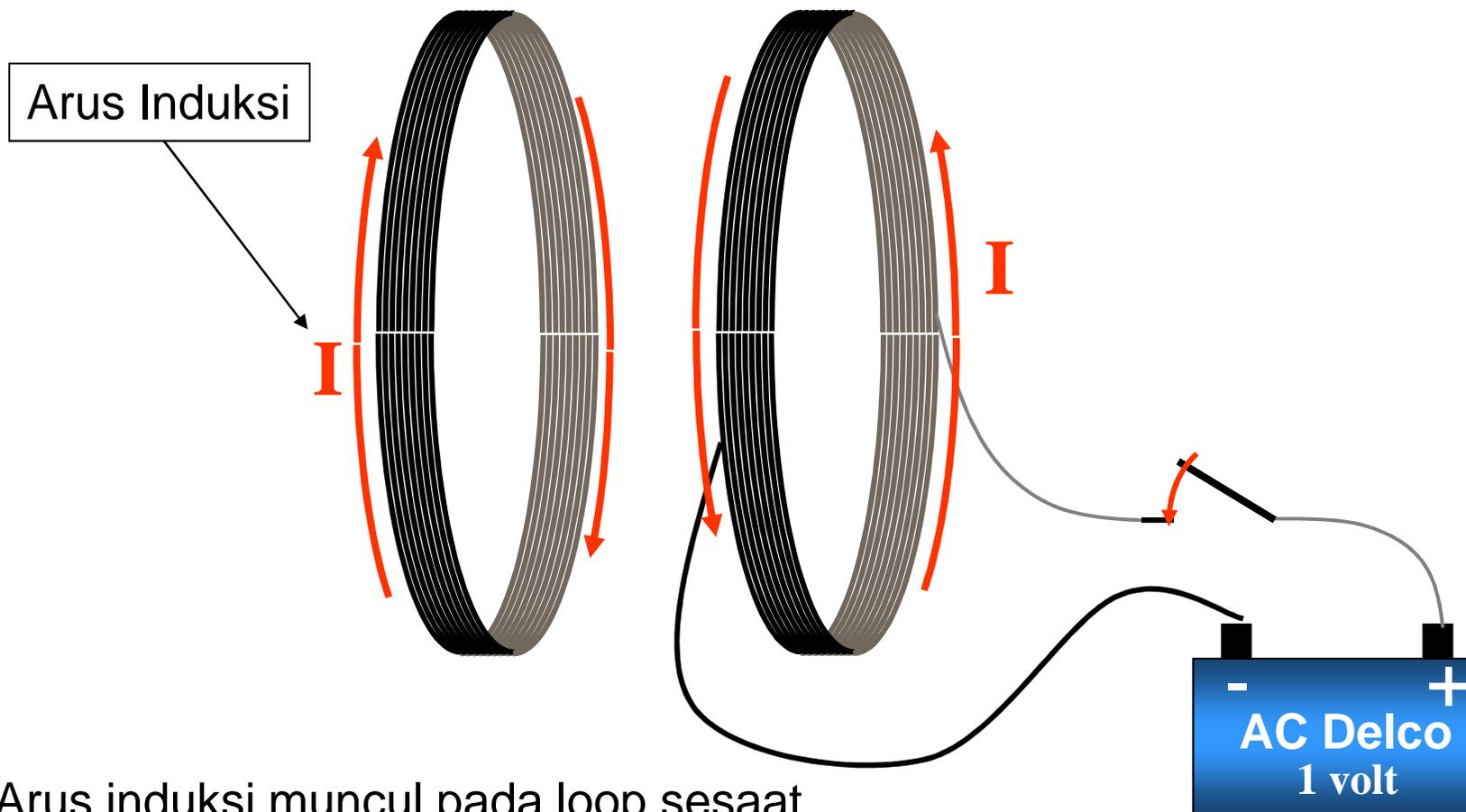
Arus muncul pada loop selama magnet bergerak relatif terhadap loop

Eksperimen Faraday (lanjutan)



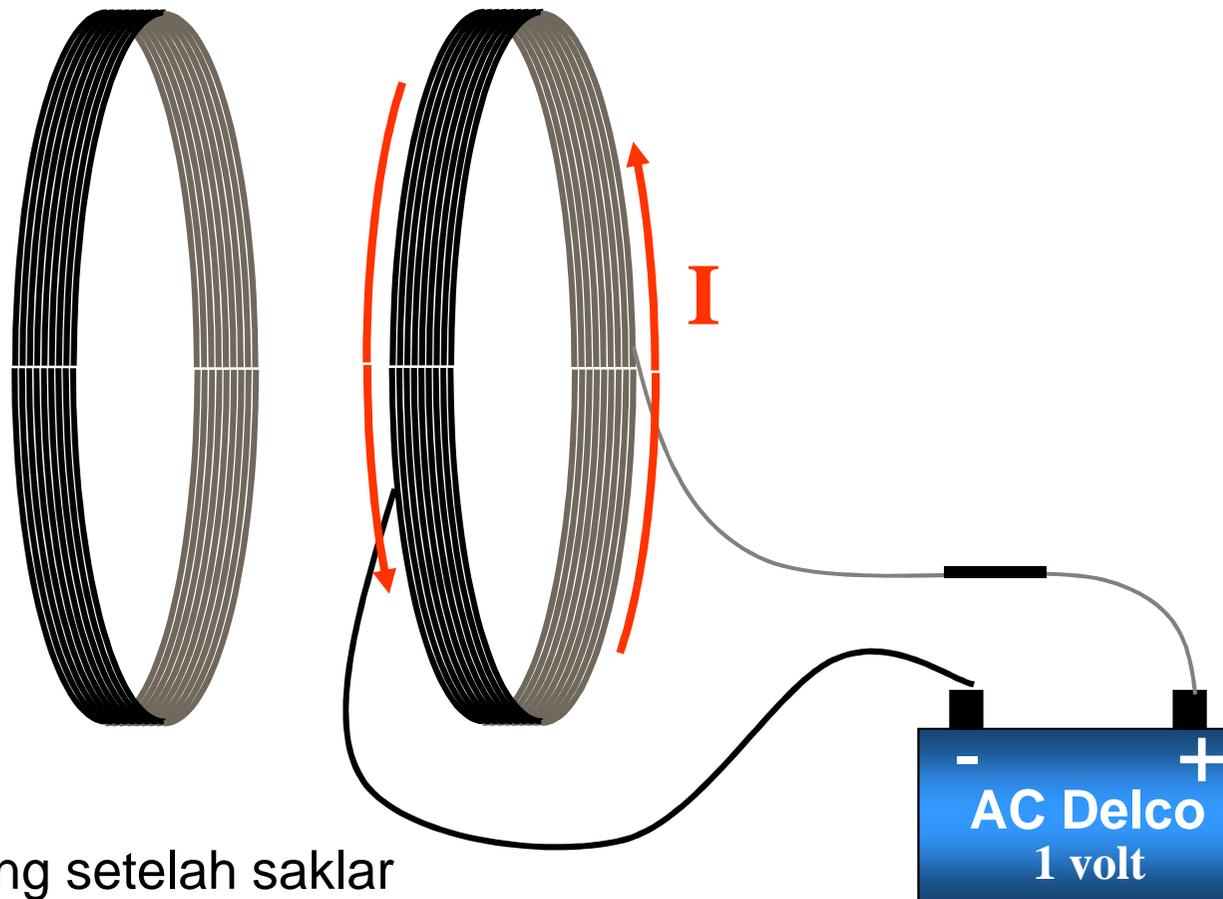
Arus muncul pada loop selama loop bergerak relatif terhadap batang magnet

Eksperimen Faraday (lanjutan)



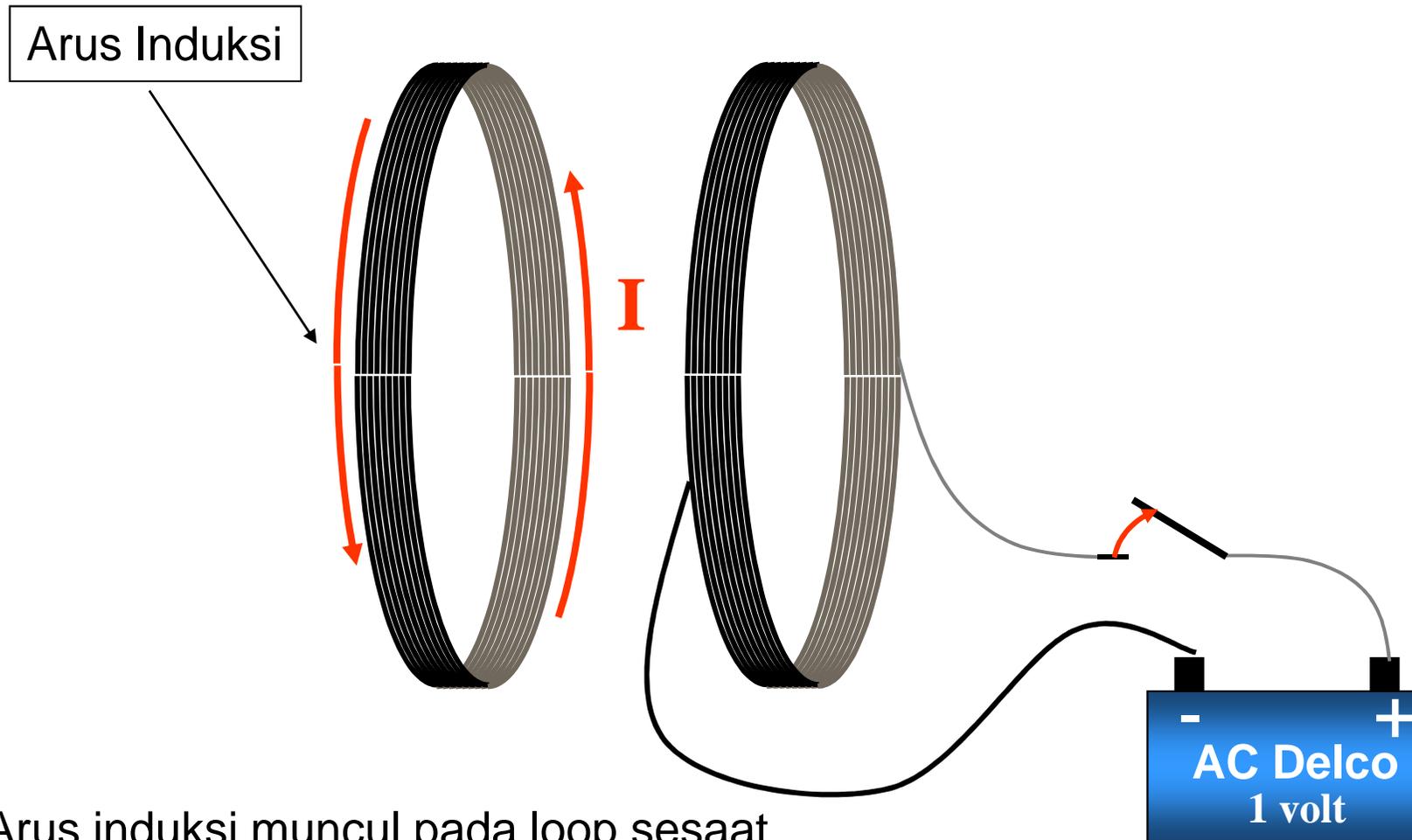
Arus induksi muncul pada loop sesaat setelah saklar dihubungkan

Eksperimen Faraday (lanjutan)



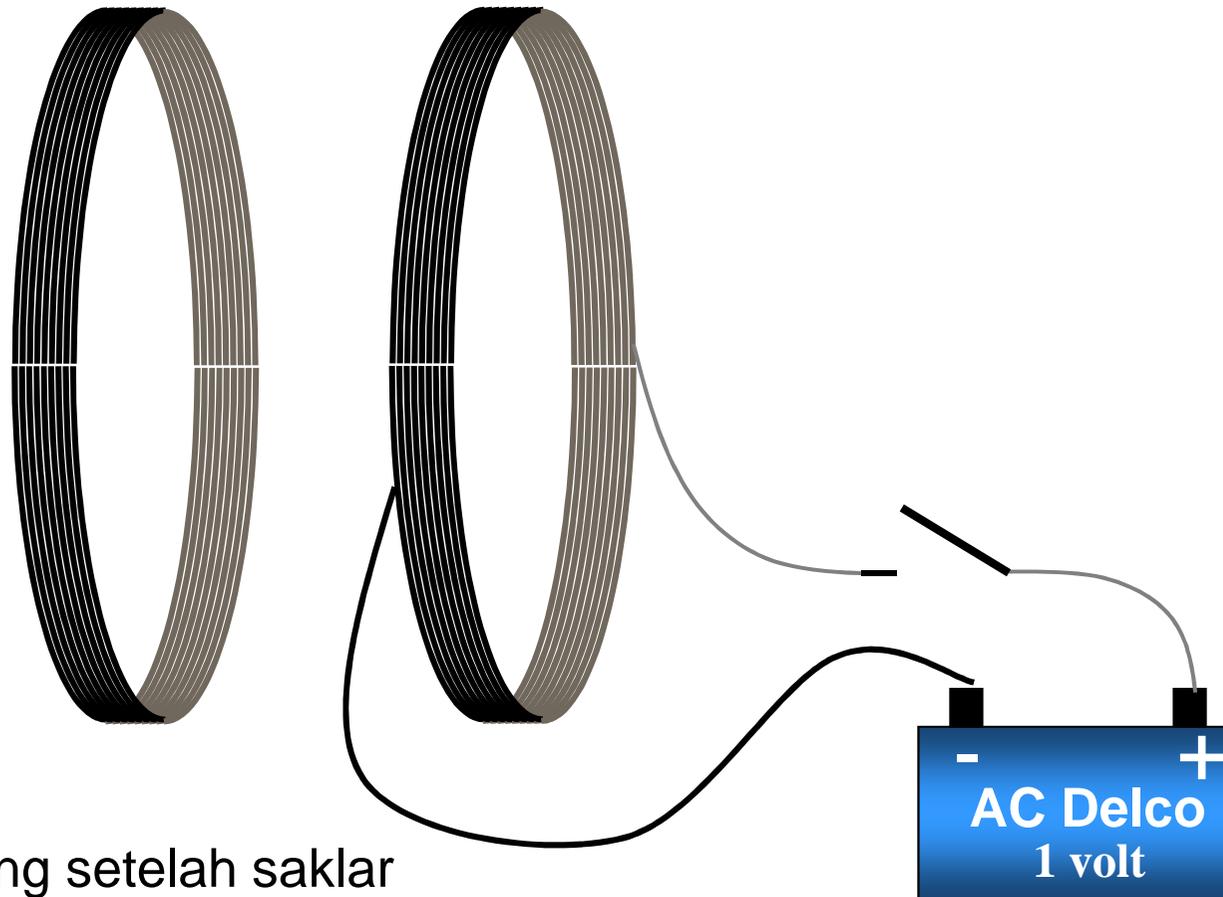
Arus induksi hilang setelah saklar telah lama dihubungkan

Eksperimen Faraday (lanjutan)



Arus induksi muncul pada loop sesaat sebelum saklar dibuka

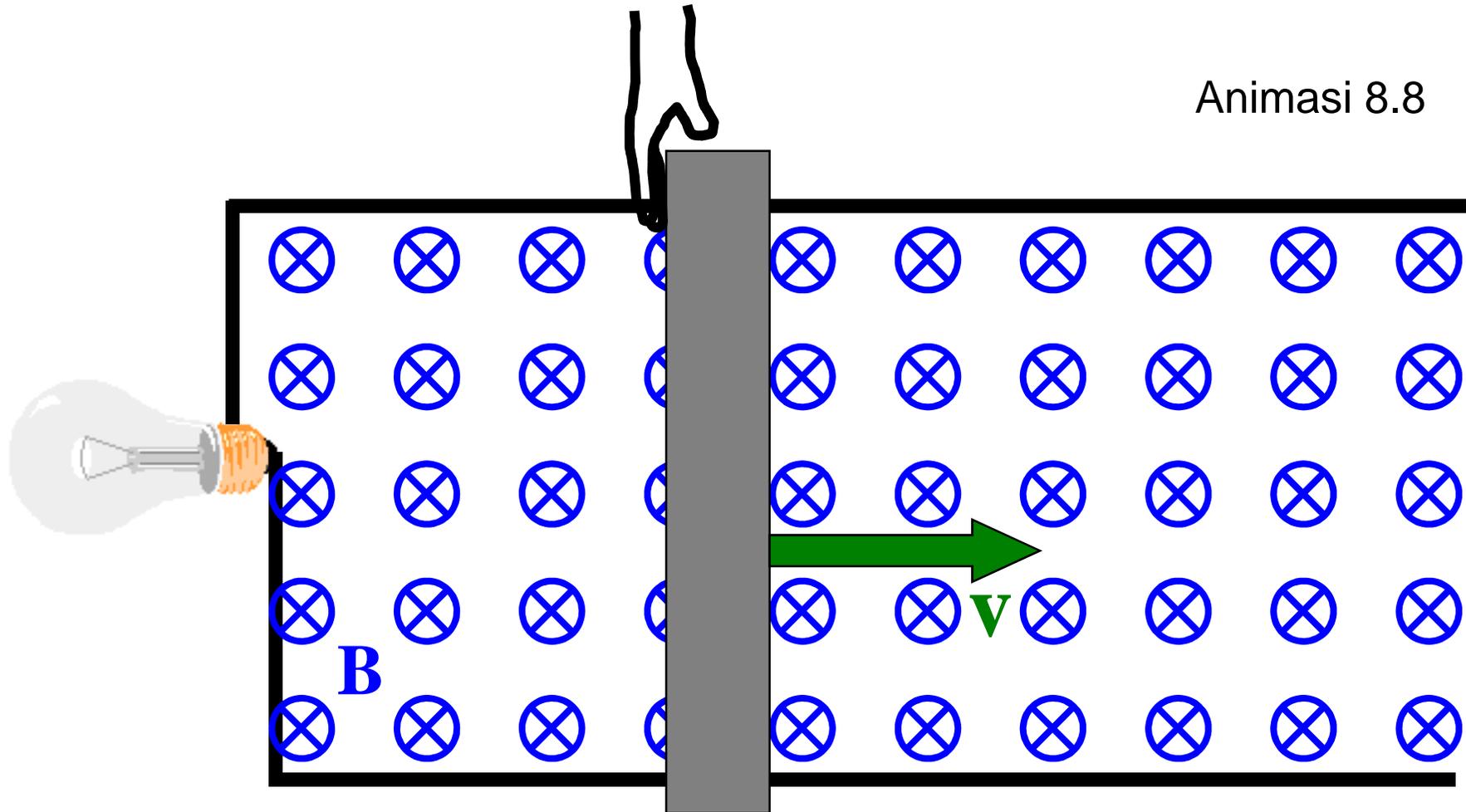
Eksperimen Faraday (lanjutan)



Arus induksi hilang setelah saklar telah lama dibuka

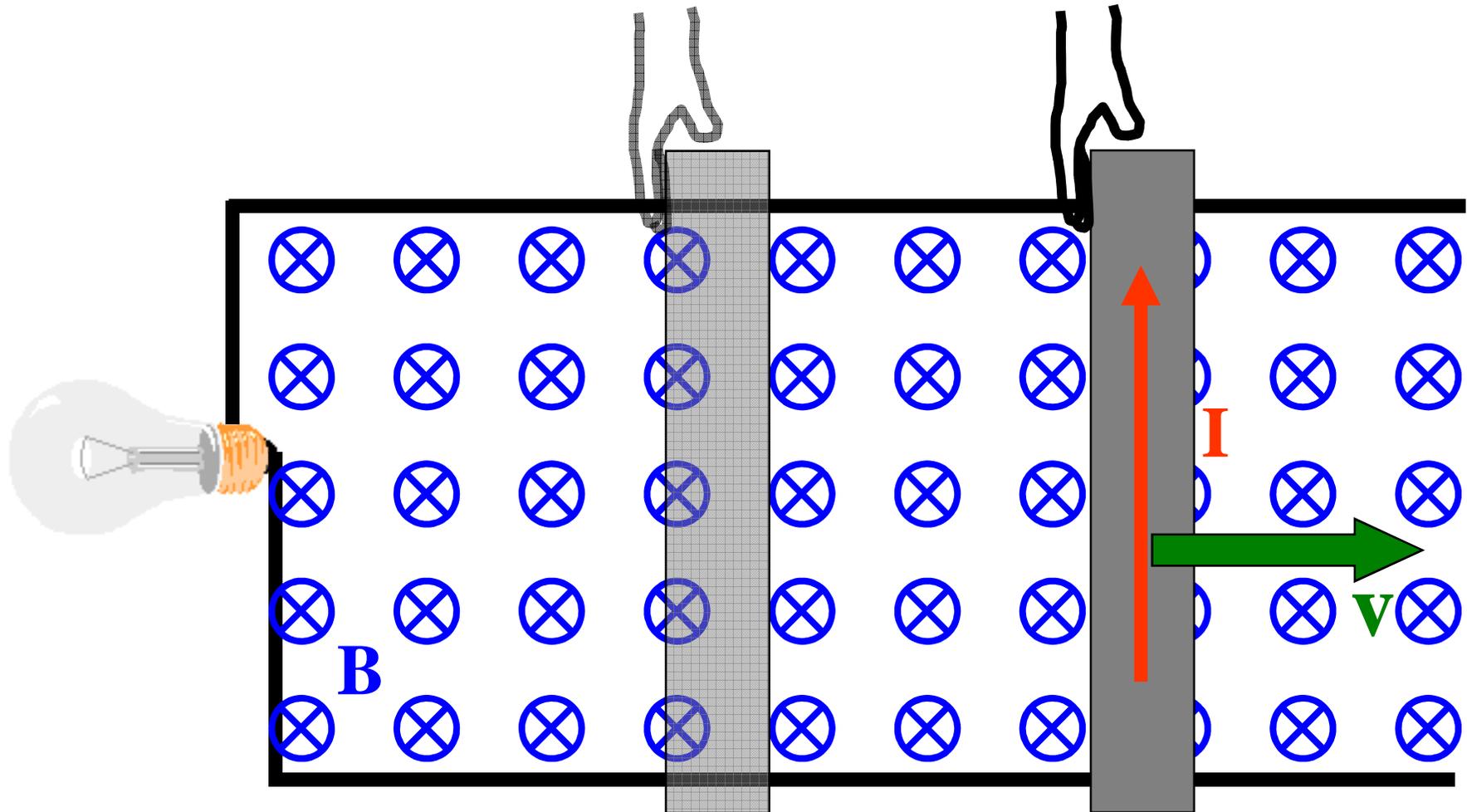
Eksperimen Faraday (lanjutan)

Animasi 8.8



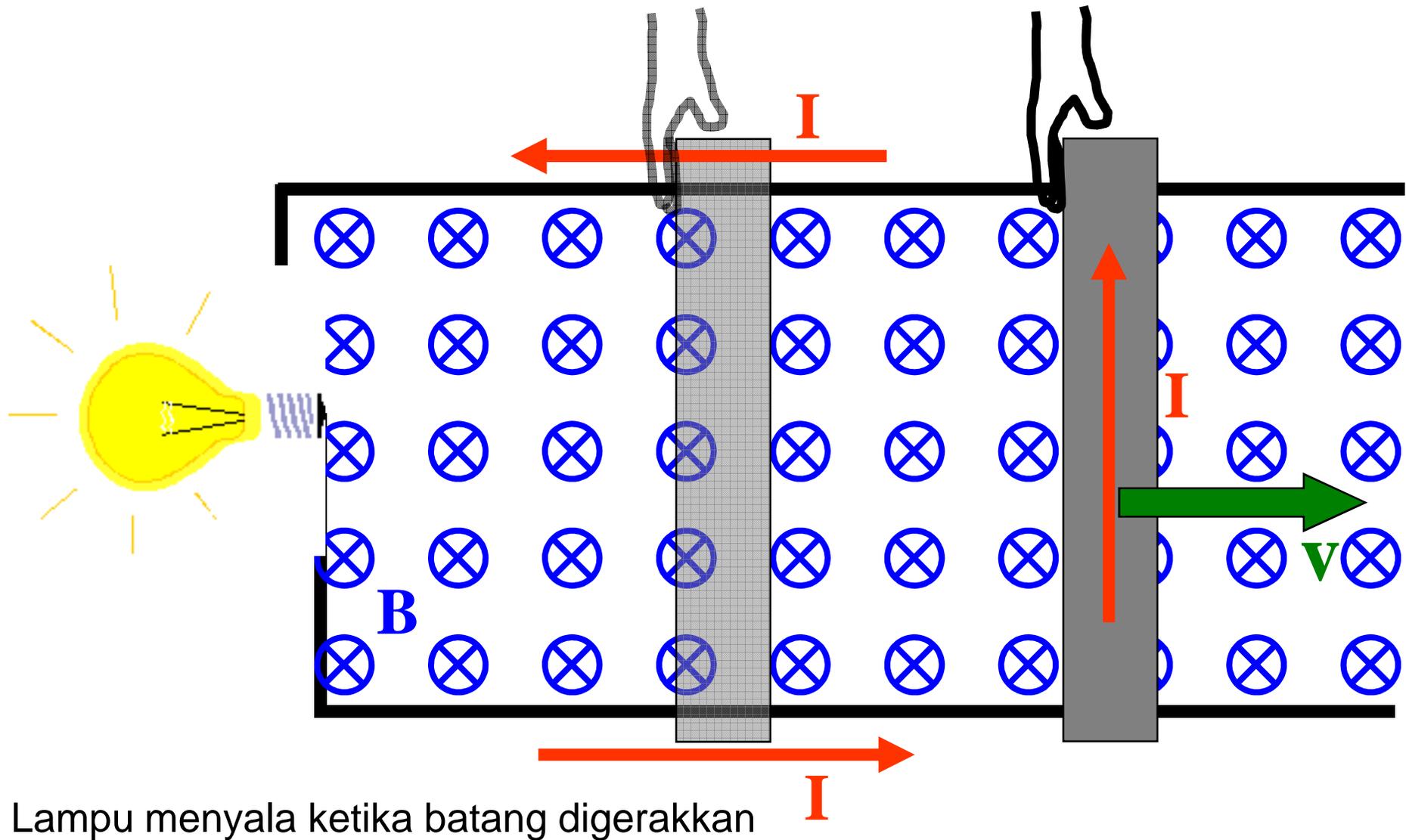
Lampu masih padam ketika batang belum digerakkan

Eksperimen Faraday (lanjutan)



Batang digerakkan

Eksperimen Faraday (lanjutan)



Hukum Faraday tentang Induksi Magnetik

- Dalam semua eksperimen, munculnya GGL induksi disebabkan karena adanya perubahan jumlah garis medan yang menembus sebuah koil (fluks).

Dengan kata lain, GGL induksi yang muncul dalam suatu rangkaian sama dengan laju perubahan fluks magnet yang menembus koil.

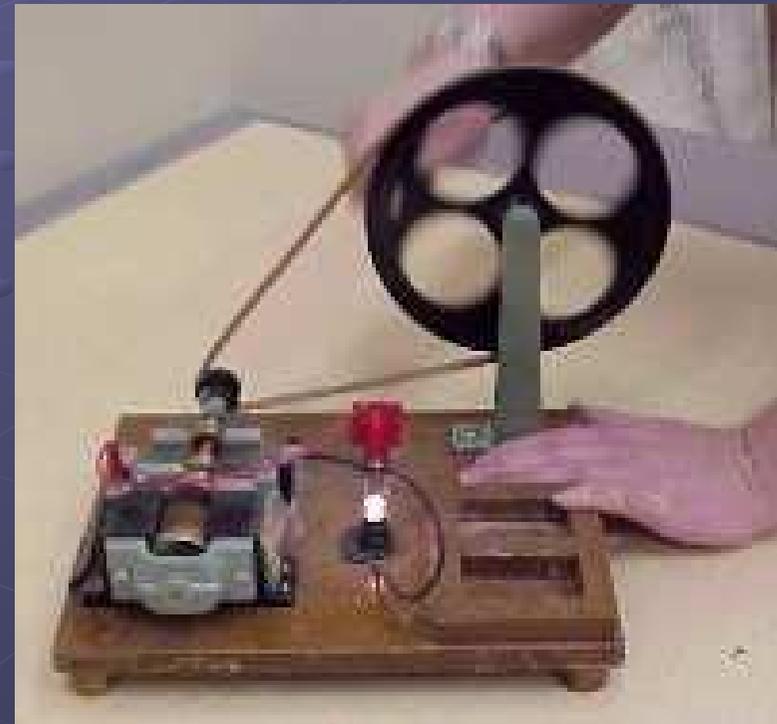
$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Hukum Lenz

Hukum Lenz's: Arah GGL induksi sedemikian rupa sehingga menghasilkan arus dengan medan magnet yang ditimbulkannya melawan perubahan fluks magnet yang melalui loop. Oleh karenanya arus induksi cenderung untuk mempertahankan jumlah fluks semula pada rangkaian.

Generator

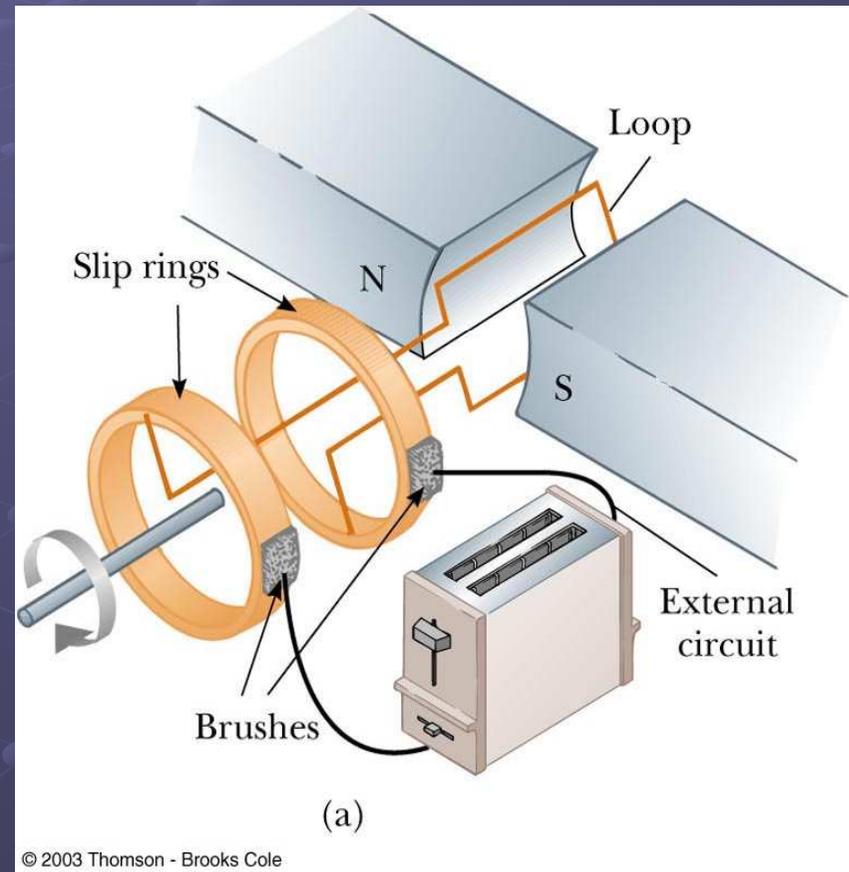
- Generator dan motor adalah dua contoh aplikasi yang penting dari ggl induksi.
- Sebuah generator adalah sesuatu yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
- Sebuah motor adalah proses sebaliknya, yaitu mengubah energi listrik menjadi amekanik.



Generator AC

● Prinsip kerja generator

- Ketika loop **berputar**, fluks magnet yang menembusnya **berubah terhadap waktu**
- Hal ini **menginduksi ggl** dan **arus** pada rangkaian eksternal
- Ujung-ujung loop dihubungkan dengan cincin-cincin yang berputar
- Hubungan dengan rangkaian luar melalui sekat yang dibuat tetap pada cincin

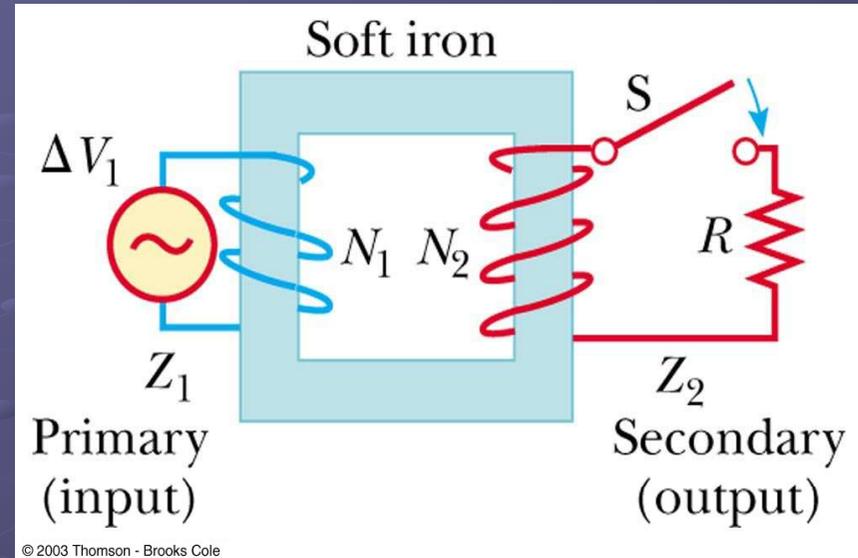


Animasi 8.6

Animasi 8.7

Transformator

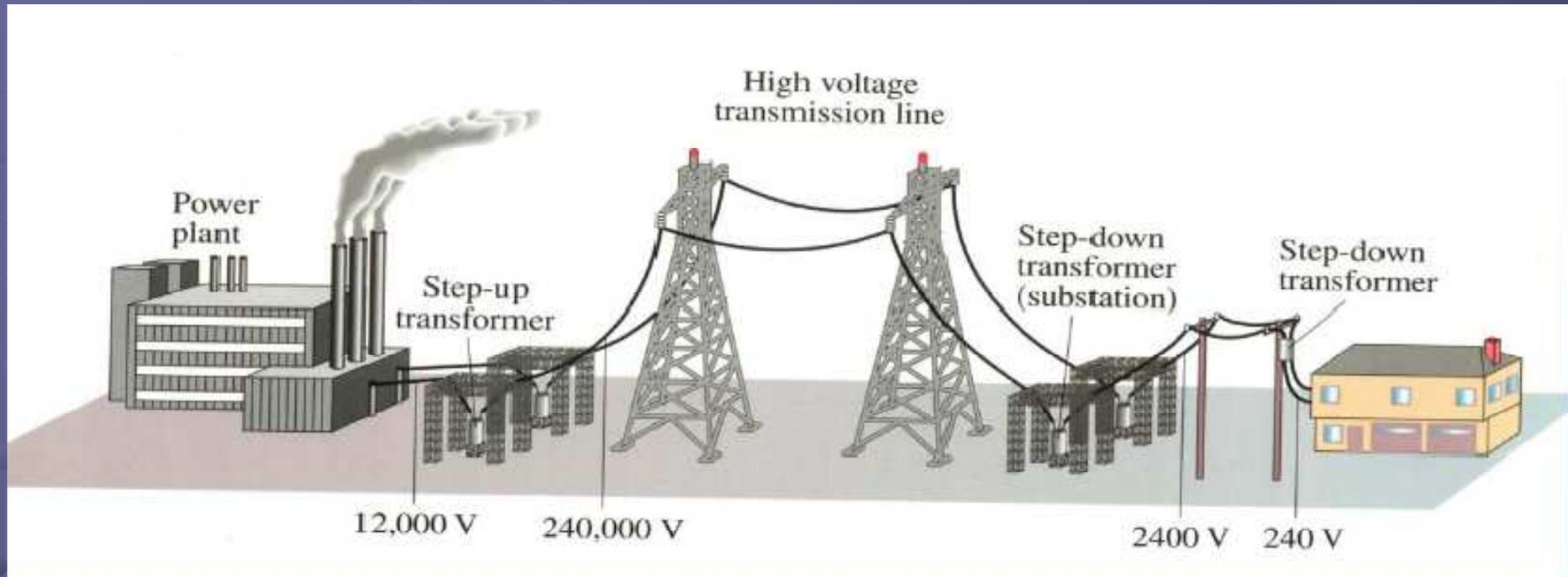
- Sebuah transformator AC terdiri dari dua kawat yang melilit pada besi
- Sisi yang dihubungkan dengan input tegangan sumber AC dinamakan **primer** dan memiliki N_1 lilitan
- Sisi yang lain dinamakan **sekunder** dihubungkan dengan resistor dan memiliki N_2 lilitan
- Besi inti digunakan untuk meningkatkan fluks magnet dan merupakan medium untuk fluks agar bisa melewati dari satu lilitan ke lilitan yang lain
- Laju perubahan fluks pada kedua lilitan adalah sama



Transformator (lanjutan)

- Hubungan tegangan diberikan oleh $\Delta V_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta V_1$
- Ketika $N_2 > N_1$, transformator disebut sebagai *step up*
- Ketika $N_2 < N_1$, transformator disebut sebagai *step down*
- Daya input pada primer sama dengan daya output pada sekunder
 - $I_1 \Delta V_1 = I_2 \Delta V_2$
 - Anda tidak akan memperoleh transformator seperti ini
 - Hal di atas adalah asumsi untuk transformator ideal
 - Dalam transformator nyata, efisiensi daya berkisar antara 90% sampai 99%

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.

$$(a) \quad I = \frac{P}{V} = \frac{1.2 \times 10^5 W}{2.4 \times 10^2 V} = 500 A$$

83% loss!!

$$P_L = I^2 R = (500 A)^2 (0.40 \Omega) = 100 kW$$

$$(b) \quad I = \frac{P}{V} = \frac{1.2 \times 10^5 W}{2.4 \times 10^4 V} = 5.0 A$$

0.0083% loss

$$P_L = I^2 R = (5.0 A)^2 (0.40 \Omega) = 10 W$$

Induktansi Diri

- Ketika arus mengalir loop maka menghasilkan medan magnet yang menembus loop tersebut sehingga muncul fluks magnet.
- Jika arus berubah maka medan magnet juga akan berubah, dan fluks magnet pun berubah yang menghasilkan ggl induksi. Fenomena seperti ini dinamakan **induktansi diri**
- Pernyataan hukum Faraday:

$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Energi Tersimpan dalam Sebuah Medan Magnet

Sama seperti pada kapasitor, sembarang koil/lilitan (atau induktor) akan menyimpan energi potensial:

$$PE_L = \frac{1}{2} LI^2$$

Sifat-sifat komponen listrik.

	Resistor	Capacitor	Inductor
units	ohm, $\Omega = V / A$	farad, $F = C / V$	henry, $H = V s / A$
symbol	R	C	L
relation	$V = I R$	$Q = C V$	emf = $-L (\Delta I / \Delta t)$
power dissipated	$P = I V = I^2 R = V^2 / R$	0	0
energy stored	0	$PE_C = C V^2 / 2$	$PE_L = L I^2 / 2$