

MATA KULIAH : FISIKA DASAR II
KODE MK : EL-122
Dosen : Dr. Budi Mulyanti, MSi

Pertemuan ke-10

CAKUPAN MATERI

1. GGL INDUKSI DALAM PASANGAN COIL
2. GGL INDUKSI OLEH MAGNET
3. FLUX MAGNET
4. HUKUM FARADAY TENTANG GGL INDUKSI

SUMBER-SUMBER:

1. Frederick Bueche & David L. Wallach, Technical Physics, 1994, New York, John Wiley & Sons, Inc
2. Tipler, Fisika Untuk sains dan Teknik (terjemah oleh Bambang Soegijono), Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991
3. Gancoli Douglas C, Fisika 2 (terjemah), 2001, Penerbit Erlangga, Edisi 5.
4. Sears & Zemansky, Fisika Untuk Universitas 3 (Optika & Fisika Modern), 1991, Jakarta-New York, Yayasan Dana Buku Indonesia
5. Frederick J. Bueche, Seri Buku Schaum Fisika, 1989, Jakarta, Penerbit Erlangga
6. Halliday & Resnick, Fisika 2, 1990, Jakarta, Penerbit Erlangga
7. Sutrisno, Seri Fisika Dasar (Fisika Modern), 1989, Bandung, Penerbit ITB

INDUKSI EM DAN HUKUM FARADAY; RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK

Pada Bab yang lalu kita telah membahas 2 bentuk hubungan antara gejala kelistrikan dan kemagnetan:

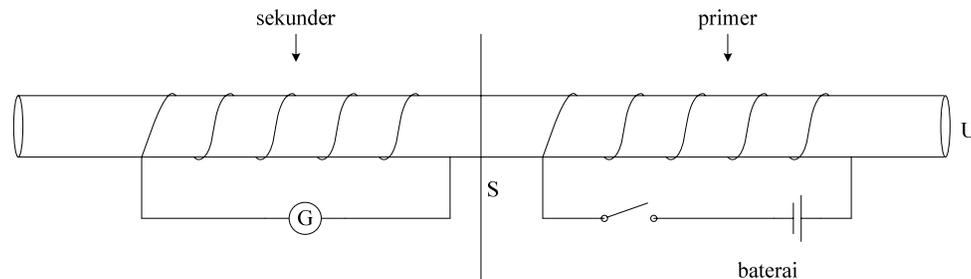
- arus listrik menimbulkan medan magnet
- medan magnet memberikan gaya pada arus listrik

Muncul pertanyaan, jika arus listrik menimbulkan medan magnet, apakah medan magnet juga dapat menghasilkan arus listrik? Joseph A. Henry dan Michael Faraday secara terpisah pada tahun 1830 dapat menjawab teka-teki tersebut.

Faraday menyimpulkan meskipun medan magnet konstan tidak dapat menghasilkan arus, namun **perubahan medan magnet dapat menghasilkan arus listrik**. Arus yang dihasilkan disebut **arus induksi**. Pada saat medan magnet berubah, terjadi arus seolah-olah pada rangkaian terdapat sumber ggl. Dengan demikian **ggl induksi dihasilkan oleh medan magnet yang berubah**. Faraday melanjutkan eksperimennya yaitu mengenai induksi elektromagnetik dengan menggerak-gerakan batangan magnet.

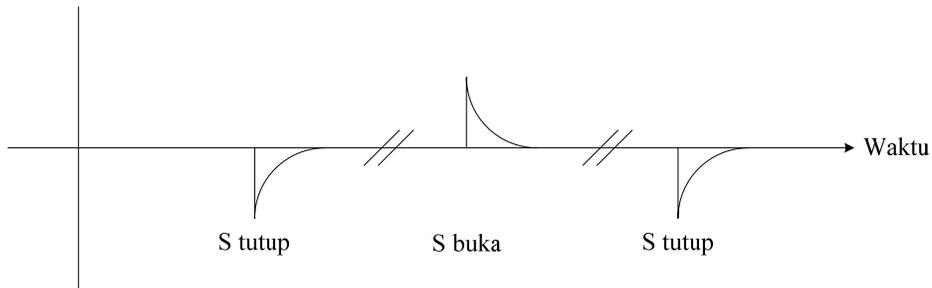
5.1. GGL INDUKSI PASANGAN COIL (KAWAT)

Jika coil kawat sederhana dirotasikan dalam medan magnet atau ketika medan magnet yang melalu coil diubah, coil berlaku seolah-olah ada sumber ggl di dalamnya. Hal ini disebut ggl induksi. Induksi ggl sangat penting dalam kelistrikan modern, yaitu sebagai basis dalam operasi generator listrik, transformer dan motor.



- Jika 2 buah coil dililitkan pada inti besi yang sama, keduanya terisolasi satu sama lain, sehingga arus tidak dapat mengalir dari satu coil ke coil yang lain. Salah satu coil dihubungkan dengan battery melalui switch, sedangkan coil yang lainnya dihubungkan dengan galvanometer, tanpa battery. Kita katakan rangkaian yang berisi battery sebagai rangkaian primer atau lilitan primer, sedangkan lainnya, sebagai rangkaian sekunder atau lilitan sekunder.
- Arus tereduksi di dalam satu coil hanya terjadi jika arus pada coil yang lainnya, berubah. Tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian sekunder karena tidak ada

sumber daya. Namun pada waktu yang amat sangat singkat jika switch ditutup pada rangkaian primer, galvanometer akan berubah. Arus ini berlawanan dengan arus primer, bergantung apakah pada lilitan primer arus naik atau berkurang.

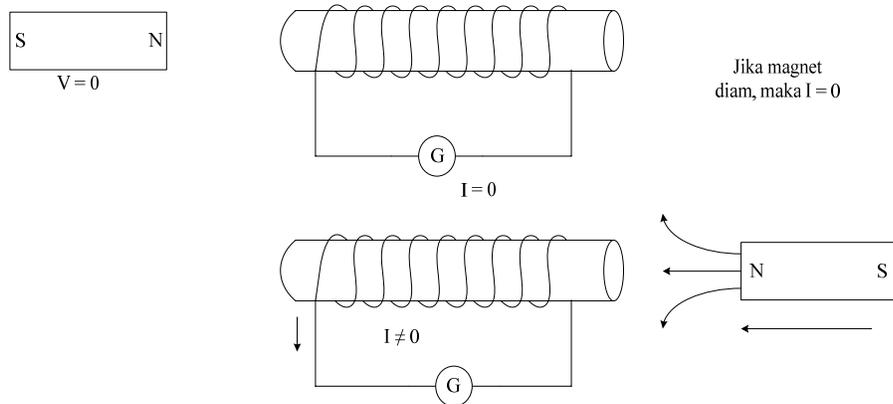


- Arus yang terjadi pada lilitan sekunder amat instan, yaitu hanya terjadi jika ada perubahan pada lilitan primer.
- Arus pada lilitan sekunder mempunyai arah yang berlawanan. Ini begitu apakah arus pada lilitan primer naik/berkurang.

Koil pada sistem starter mobil bekerja dengan cara jalan seperti ini.

5. 2. GGL INDUKSI OLEH MAGNET YANG BERGERAK

- Ggl akan terinduksi dalam coil jika ada batangan magnet di dekatnya yang digerakkan. Misalkan sebuah solenoida yang dihubungkan langsung dengan galvanometer. Kawat tidak harus dililitkan pada inti besi, namun demikian inti besi akan memberikan efek yang lebih kuat.



- Arah arus bergantung pada cara batang magnet digerakkan
- Arah arus bergantung pada kutub magnet yang mendekati koil

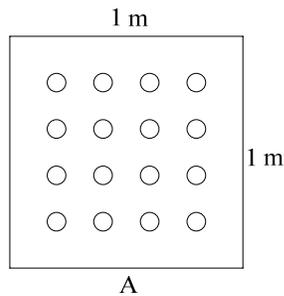
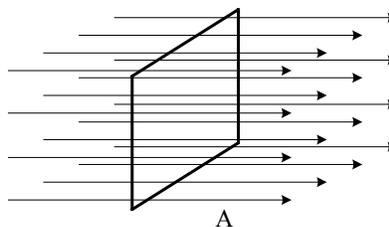
Nampak di sini rangkaian galvanometer menunjukkan efek baterai terinduksi.

Untuk sesaat, sepertiya rangkaian memiliki baterai di dalamnya.

- Pada gambar di atas jika magnet diam (tidak digerakkan) maka galvanometer menunjuk zero, artinya tidak ada arus yang mengalir. Namun jika magnet digerakkan maka ada arus yang mengalir. Arah arus bergantung pada cara magnet digerakkan dan juga kutub magnet yang mendekati solenoida. Pada waktu yang amat singkat rangkaian nampak seperti ada battery di dalamnya. Setiap sumber ggl akan menyebabkan hasil yang sama. Kita katakan bahwa ggl terinduksi dalam coil solenoida.

5.3. FLUX MAGNETIK

- ✚ Michael Faraday (1791-1867) adalah orang yang pertama kali menyatukan kedua eksperimen yang berhubungan dengan ggl induksi. Menurutnya kuantitas yang penting dalam kedua eksperimen tersebut di atas adalah flux magnetik.
- ✚ Untuk memahami maksud Faraday, kita buat aturan mengenai bagaimana menggambar garis-garis medan magnet. Kita buat permukaan A tegak lurus garis-garis medan.
- ✚ Misalkan pada gambar di atas, jika luas $A = 1 \text{ M}^2$ maka jumlah garis medan = B, dan misalkan ada 16 garis medan, maka $B = 16 \text{ T}$.

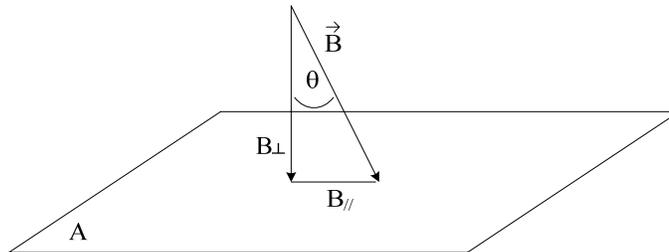


Jika luas $A = 1 \text{ m}^2$, maka jumlah garis medan = B

Misalkan pada gambar diatas ada 16 garis medan, sehingga $B = 16 \text{ T}$

Sekarang kita definisikan flux magnetik sebagai ukuran kekuatan medan magnet, untuk kasus medan tegak lurus permukaan, maka :

Flux magnetik Φ yang melalui permukaan adalah jumlah garis medan yang lewat melalui permukaan tersebut. Namun demikian, flux Φ dapat dicari jika garis medan tidak tegak lurus permukaan.



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

✚ Bagaimana jika garis medan tidak tegak lurus permukaan?

$$\Phi = B A \cos \theta,$$

dimana θ adalah sudut antara garis-garis medan dengan garis normal permukaan.

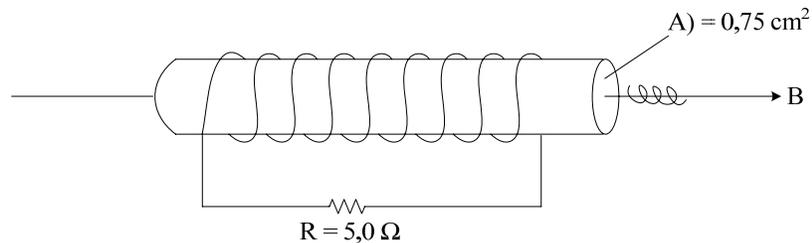
5.4 HUKUM FARADAY TENTANG GGL INDUKSI

- Setiap kali ada perubahan flux yang melalui coil, maka terjadi ggl induksi di dalam coil tersebut. Faraday mengukur besarnya ggl yang disebabkan oleh perubahan flux sebesar $\Delta\Phi$ dalam waktu Δt yang dikenal dengan hukum Faraday sebagai berikut:

Jika ada perubahan flux melalui coil dengan N lilitan dengan laju $\Delta\Phi / \Delta t$, maka ggl

induksi ϵ_{ind} dalam coil adalah:
$$\epsilon_{ind} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- Contoh: Jika medan luar bertambah dari 0 menjadi 0.25 T dalam waktu 3.6 s untuk coil yang memiliki 150 loops kawat dengan luas penampang 0.75 cm^2 . Hitung ggl induksi coil dan hitung arus yang mengalir melalui rangkaian dengan $R = 5.0 \Omega$.



Jawab:
$$\epsilon_{ind} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -150 (0.25) (0.75 \times 10^{-4}) / 3.6$$

$$= -7.8 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \epsilon_{ind} / R = 1.56 \times 10^{-4} \text{ A}$$

Akan tetapi, dua koil tidak diperlukan untuk memperlihatkan adanya efek imbas. GGL imbas juga terjadi pada sebuah koil jika arus di dalamnya berubah, ini disebut *self induction* (induksi sendiri)

Untuk sebuah koil yang diberikan jika tidak ada bahan magnetik didekatnya, maka :

$$N\Phi_B = Li \rightarrow N \frac{d}{dt} \Phi_B = -L \frac{di}{dt}$$

Dimana L : konstanta pembanding

= induktans dari alat tersebut

$$\text{Sehingga, } \varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

$$\text{Atau } L = - \frac{\varepsilon}{di/dt}$$

Hubungan ini dapat diambil sebagai persamaan yang mendefinisikan induktansi untuk koil-koil untuk semua bentuk dan ukuran, apakah koil-koil tersebut terbungkus rapat atau tidak. Apakah besi dari bahan magnetik atau tidak, ada di dekatnya. Definisi tersebut analog dengan $C = \frac{q}{V}$

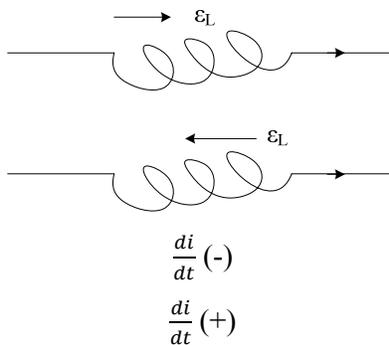
Jika tidak ada besi atau bahan serupa didekatnya. L hanya bgt geometri alat tersebut.

Di dalam sebuah induktor (simbol \lll), maka kehadiran medan magnet adalah ciri penting, seperti halnya medan di dalam kapasitor.

Satuan induktansi : *henry = volt dt/Ampere.*

Arah GGL induksi dari :

- Jika arus berkurang, artinya $\frac{di}{dt}$ harga negatif (-), maka ε_L searah arus.
- Jika arus bertambah ($\frac{di}{dt} \oplus$), maka ε_L berlawanan arah arus.



Dengan rumus $= -L \frac{di}{dt}$, artinya dalam setiap kasus GGL imbas selalu bertindak melawan perubahan arus.

Perhitungan Induktansi

Dari rumus

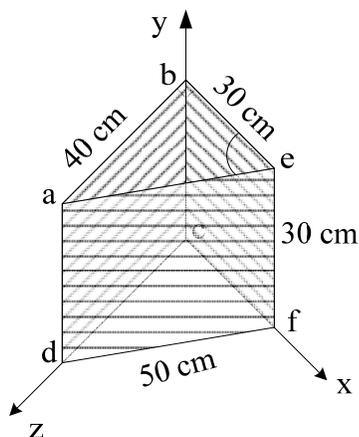
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

$$N \int \frac{d}{dt} \Phi_B = L \int \frac{d}{dt} i$$

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

SOAL-SOAL:

1. Induksi magnetik (B) = 2 Wbm^{-2} arah sumbu x positif.
 - a. Berapa Φ_B yang menembus permukaan abcd ?
 - b. Berapa Φ_B yang menembus permukaan becf ?
 - c. Berapa Φ_B yang menembus aefd ?



$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

- a) Untuk permukaan abcd $B \parallel$ permukaan abcd

Sudut antara B dengan A, $\theta = 180^\circ$

$$\Phi_B = B(A)$$

$$\Phi_B = 0(0,4)(0,3)$$

$$\Phi_B = 0,24 \text{ Wb}$$

- b) Untuk permukaan befc, $B \perp$ befc

Sehingga harga $\cos \theta = 0 \rightarrow \Phi_B = 0$

- c) Untuk permukaan aefd, harga $\cos \theta = \frac{30}{50} = 0,6$

$$\Phi_B = B(A) \cos \theta$$

2. Sebuah rangkaian dengan $R = 7 \times 10^{-6} \Omega$ dililitkan pada solenoida dengan diameter ($d = 1,6 \text{ cm}$). Jika medan magnet berubah dari nol menjadi $0,26 \text{ T}$ dalam waktu $0,050 \text{ s}$, hitung ggl dan arus induksi yang terjadi!. Catatan : medan magnet yang berubah adalah medan magnet yang disebabkan oleh batangan magnet yang ujung U magnet tersebut digerakkan mendekati solenoida. Jelaskan dengan gambar!

Diketahui: $N = 50$

3. Sebuah generator yang terdiri dari 50 lilitan pada kumparan segi empatnya ($A = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) diputar dengan kecepatan sudut $\omega = 0,7 \text{ rad/s}$ dalam medan magnet $= 0,5 \text{ T}$.

a. Buatlah grafik antara ε_{ind} dengan θ , dimana $\theta = \omega t$ dan t berubah dari $0 - 50 \text{ s}$.

b. Berapa ε_{in} maksimum dan minimum yang terjadi?

JAWAB;

2. Diketahui : $R = 7 \times 10^{-6} \Omega$

$$d = 1,6 \text{ cm} = 0,016 \text{ m}, r = 0,008$$

$$\Delta B = 0,260 \text{ T}$$

$$t = 0,050 \text{ s}$$

Ditanya : ε_{in}

$$I_{in}$$

Jawab :

$$\varepsilon_{in} = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{in} = -(50) \frac{(0,26)}{0,050} \underbrace{(\pi (0,008)^2)}_{2 \times 10^{-4}}$$

$$\varepsilon_{in} = 0,052 \text{ volt}$$

$$I_{in} = \frac{0,052}{7 \times 10^{-6}} = 7,47 \times 10^3 \text{ A}$$

3. Diketahui : $N = 50$

$$A = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\omega = 0,7 \text{ rad/s}$$

$$B = 0,5 \text{ T}$$

Jawab :

$$(\varepsilon_{in})_{max} = \omega NAB = (0,7)(50)(4,5 \times 10^{-4})(0,5)$$

$$(\varepsilon_{in})_{max} = 7,875 \times 10^{-3} \text{ volt}$$

$$(\varepsilon_{in})_{min} = -\omega NAB = -7,875 \times 10^{-3} \text{ volt}$$

$$\varepsilon_{in} = \omega NAB \sin \omega t$$

$$\varepsilon_{in} = \omega NAB \sin \theta$$

4. Sebuah solenoida dengan inti besi dengan diameter 1,8 cm dan panjang 25 cm dan mempunyai lilitan kawat sebanyak 300. Jika arus yang melalui kawat sebesar 0,40 A dan permeabilitas besi 150. Berapakah besar fluks yang melalui solenoida tersebut?

Jawab :

$$\Phi = BA = \mu nI(\pi r^2)$$

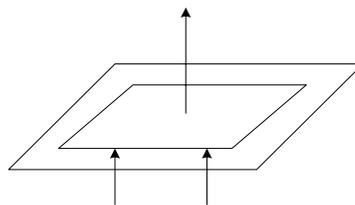
$$= (4\pi \times 10^{-7})(150)(1200)(0,4)(\pi)(0,9 \times 10^{-2})^2$$

$$= 2,26 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

5. Sebuah kumparan datar luas 40 cm^2 ditempatkan dalam medan magnet $B = 200 \text{ G}$ arah sumbu x positif. Misalkan θ adalah sudut antara sumbu kumparan dan sumbu x . Hitung perubahan fluks yang terjadi jika θ berubah dari :

a. 0° ke 60°

b. 30° ke 40°



Jawab :

$$\Phi_1 = BA \cos \theta_1$$

$$\Phi_2 = BA \cos \theta_2$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$\Delta\Phi = (200 \times 10^{-4})(40 \times 10^{-4})(\cos 60^\circ - \cos 0^\circ)$$

a. $\Delta\Phi = -4 \times 10^{-5} \text{ Wb}$

b. $\Delta\Phi = 8000 \times 10^{-8}(\cos 40^\circ - \cos 30^\circ) = -8,0 \times 10^{-6} \text{ Wb}$

6. Hitung besar GGL induksi pada kumparan jika perubahan θ tersebut memerlukan waktu 0,5 s.

Jawab :

$$a. \quad \varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{4 \times 10^{-5}}{0,5} = 8 \times 10^{-5} V$$

$$b. \quad \varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{8 \times 10^{-6}}{0,5} = 1,6 \times 10^{-5} V$$

7. Sebuah kumparan datar yang berisi 400 lilitan dengan radius 4 cm terletak mendatar di atas meja jika medan magnet vertikal sebesar 0,250 T tiba-tiba dinyalakan. Maka ada GGL iduksi sebesar 0,6 V. Berapa lama waktu yang diperlukan dari mati sampai ada medan sebesar 0,250 T tersebut.

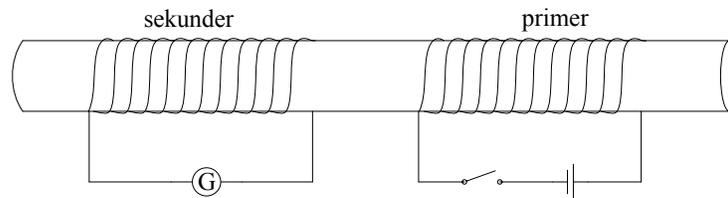
Jawab :

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} ; \Delta\Phi = A(\Delta B) = \pi(4 \times 10^{-2})^2(0,25) = 12,56 \times 10^{-4} Wb$$

$$\Delta t = -N \frac{\Delta\Phi}{\varepsilon} = (400) \left(\frac{12,56 \times 10^{-4}}{0,6} \right) = 8,37 \times 10^3 \times 10^{-4} = 0,837 s$$

8. Dua buah kumparan dililitkan pada batangan besi kumparan sekunder berisi 500 lilitan dan masing-masing lilitan mempunyai radius 0,40 cm. Jika switch dinyalakan pada kumparan primer, medan magnet naik dari 0 ke 0,60 T dalam waktu 0,030 s. Hitung GGL induksi rata-rata selama waktu tersebut ?

Jawab :



$$\Delta\Phi = A(\Delta B); A = \pi(0,4 \times 10^{-2})^2; \Delta B = 0,60$$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 500 \left(\frac{30,144 \times 10^{-6}}{0,030} \right) = 0,502 V$$

9. Sebuah band pernikahan mempunyai resistansi $7,0 \times 10^{-6} \Omega$. Jika rangkaian tersebut dililitkan pada solenoida ($r = 0,80$ cm). Dimana B berubah dari nol ke 0,96 T dalam waktu 0,050 s. Hitung GGL dan arus induksi rata-rata dan cincin ketika medan solenoida tersebut berubah?

Jawab :

$$\Delta\Phi = A\Delta B = \pi(0,8 \times 10^{-2})^2(0,26) = 0,52 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = (1) \left(\frac{0,52 \times 10^{-4}}{0,050} \right) = 1,04 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1,04 \times 10^{-3}}{7,0 \times 10^{-6}} = 1,48 \times 10^2 \text{ A}$$

10. Di suatu tempat, medan magnet bumi sebesar $0,65 \text{ T}$ dengan arah 60° di bawah horizontal. Seorang menempatkan cincin dengan $r = 3,0 \text{ cm}$ di meja dan kemudian digelindingkannya dengan laju 40 cm/s . Berapa besar GGL induksi pada cincin ?

Jawab :

$$\varepsilon_{ind} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$\Delta\Phi$ bisa disebabkan oleh perubahan medan magnet atau perubahan luas, namun dalam kasus tersebut baik ΔB maupun ΔA keduanya nol. Sehingga $\Delta\Phi = 0$ maka $\varepsilon_{ind} = 0$.

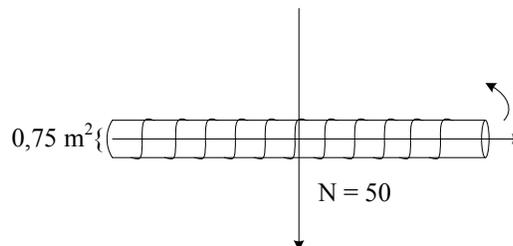
11. Jika GGL induksi pada kumparan pada gambar diatas pada saat tertentu $1,37 \times 10^{-3} \text{ V}$. Berapa besar medan magnet uniform tersebut ?

Jawab :

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bvd$$

$$B = \frac{\varepsilon}{vd} = \frac{1,37 \times 10^{-3}}{(0,2)(0,045)} = 0,15 \text{ T}$$

12. Sebuah dengan sumbu timur-barat dengan luas $0,75 \text{ m}^2$ dan $N = 50$, berotasi dengan laju $3,0 \text{ rev/s}$. Jika medan magnet bumi disana sebesar $0,65 \text{ G}$. Hitung GGL induksi maksimum pada kumparan ?



$$\omega = 3 \text{ rev/s} = 3 \text{ putaran/s} = 2\pi \text{ rad/s} = 18,84 \text{ rad/s}$$

GGL induksi maksimum jika sudut antara sumbu kumparan dan B adalah nol, B
//sumbu kumparan.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= NBA\omega \\ &= (50)(0,65 \times 10^{-4})(0,75)(18,84) \\ &= 0,0459 \text{ V}\end{aligned}$$