

Slide Perkuliahan

Fisika Listrik dan Magnet

1600C302

(Bagian 2)



Prof. Elieser Tarigan, PhD.

Fakultas Teknik

UNIVERSITAS SURABAYA 2024

Pengantar

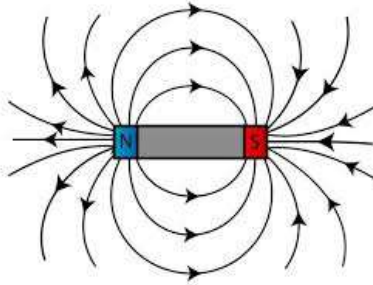
Dokumen ini merupakan Slide pembelajaran Listrik Magnet (Bagian 2) yang disediakan untuk mahasiswa. Fisika Listrik dan magnet merupakan salah satu mata kuliah dasar di Program Studi Teknik Mesin dan Teknik Kimia di Universitas Surabaya. Mata kuliah ini mengajarkan konsep dasar kelistrikan dan kemagnetan serta aplikasinya. Secara umum mata kuliah Fisika Listrik dan magnet menjadi dasar yang diperlukan bagi mata kuliah-mata kuliah di semester selanjutnya. Matematika yang digunakan dalam memecahkan persoalan-persoalan adalah matematika dasar aljabar dan kalkulus. Walaupun kalkulus muncul, tarafnya masih sederhana, terbatas pada perhitungan vektor, diferensial dan integral sederhana. Konsep muatan listrik diajarkan lebih dahulu karena merupakan bagian awal yang penting mendasari fenomena timbulnya sifat kelistrikan dan kemagnetan. Terbentuknya peristiwa medan listrik, gaya muatan tarik listrik (gaya Coulomb), potensial listrik dan energi listrik dijelaskan melalui konsep muatan listrik. Aplikasi gaya tarik antar muatan yang tidak sejenis di bahas pada beberapa aplikasi peralatan. Materi pokok kelistrikan adalah sifat listrik pada bahan ditinjau dari sifat resistansi (resistor), kapasitansi (resistor), dan induktansi (induktor). Ketiga piranti dasar ini menjadi komponen utama kelistrikan dan juga kemagnetan. Pembahasan awal adalah pembahasan ketiga piranti R, L, C pada sumber listrik searah. Pembahasan tahap berikutnya adalah fenomena kemagnetan, yang merupakan efek listrik dinamis. Pembangkitan tegangan induksi pada kumparan dibahas secara detail dan juga pembahasan ketiga piranti R, L, C pada sumber listrik bolak-balik. Setelah penyampaian konsep kemagnetan, diberikan contoh soal untuk penguatan konsep dan diakhiri dengan latihan soal yang kerap kali diberikan dalam bentuk tugas baik secara individu maupun kelompok.

Slide pembelajaran merupakan media visual yang sangat penting dalam mendukung proses pembelajaran di lingkungan perguruan tinggi. Dengan menggunakan slide, materi dapat disajikan secara sistematis, ringkas, dan mudah dipahami oleh mahasiswa. Slide membantu dosen menyampaikan poin-poin utama dari suatu topik secara terstruktur, sehingga mahasiswa dapat lebih fokus dalam menangkap inti pembelajaran tanpa merasa kewalahan oleh informasi yang berlebihan.

Selain itu, penggunaan elemen visual seperti gambar, grafik, dan diagram dalam slide mampu meningkatkan daya tarik serta memperkuat pemahaman konsep-konsep yang bersifat kompleks. Slide juga dapat membantu mengakomodasi gaya belajar visual dan auditori, menjadikannya alat yang inklusif bagi berbagai tipe pembelajar.

Dalam konteks pembelajaran modern, slide pembelajaran juga dapat diakses secara daring sebelum atau sesudah perkuliahan, sehingga mendorong mahasiswa untuk belajar mandiri dan melakukan review materi secara lebih efektif. Dengan demikian, slide pembelajaran tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu saat mengajar, tetapi juga sebagai sumber belajar yang mendukung peningkatan kualitas pemahaman dan partisipasi mahasiswa dalam proses belajar-mengajar

MEDAN MAGNET

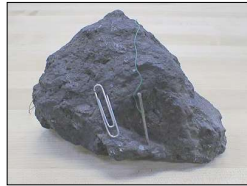


Diktat h.46

Materi :

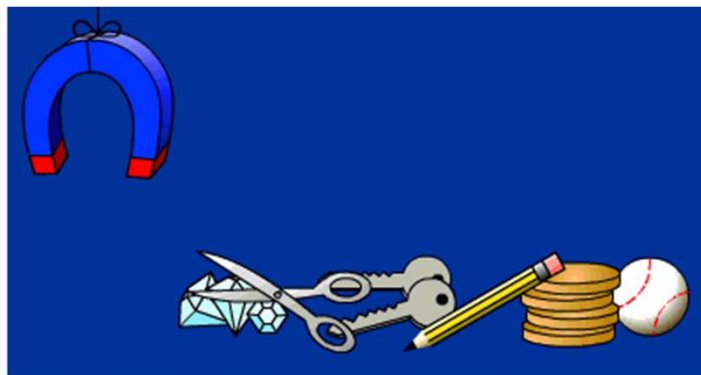
- GARIS INDUKSI MAGNET (h.46)
- SIFAT MAGNET BAHAN (h.47)
- GAYA LORENTZ (h.48-54)
- HUKUM BIOTSAVART (h.55-62)
 - Kawat lurus, Kawat melingkar, Solenoida, Toroida,
 - Gaya pada kawat lurus sejajar
- SOAL –SOAL (h.63-65)

Asal-usul Magnet



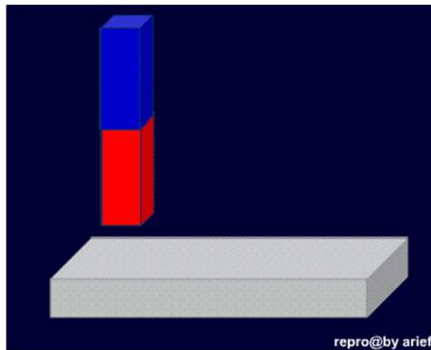
- Kata magnet berasal dari kata *magnesia*, yang merupakan nama suatu daerah di Asia Kecil, dimana ditemukannya *batu besi* lebih dari 2000 tahun yang lalu.
- Bangsa Cina sudah menggunakan petunjuk arah kompas magnetik dalam pelayaran kira-kira mulai tahun 1200.

Magnet dapat menarik bahan tertentu



Cara Membuat Magnet

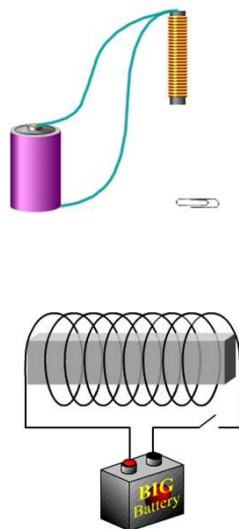
1. Dengan gosokan



Menggosokkan magnet secara berulang-ulang pada besi dan baja, maka besi dan baja akan bersifat magnetik.

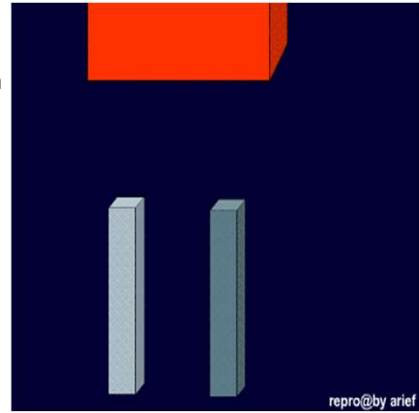
Kutub magnet yang dihasilkan di ujung bahan selalu berlawanan dengan kutub magnet yang menggosoknya.

2. Dengan menggunakan arus listrik (elektromagnetik)



3. Dengan Induksi

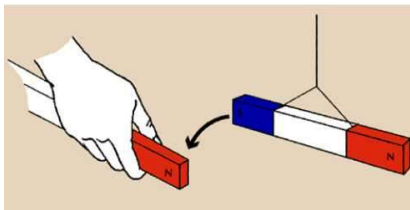
- Bila besi dan baja didekatkan (tidak menyentuh) pada bahan magnet yang kuat, maka besi dan baja akan menjadi magnet. Terjadinya magnet seperti ini disebut dengan **induksi**.
- Setelah dijauhkan kembali, besi akan mudah kehilangan sifat magnetnya, dan baja tetap mempertahankan sifat magnetnya.



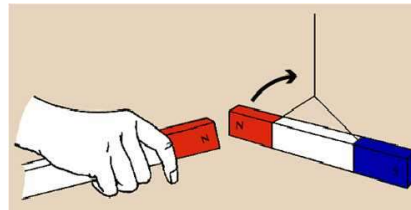
besi

baja

Sifat-sifat Kutub Magnet



Kutub tidak sejenis => tarik menarik



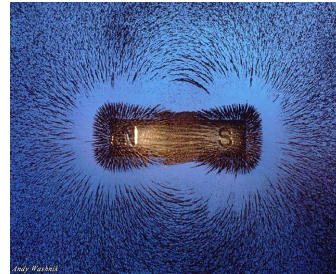
Kutub sejenis => tolak menolak





Magnet Memiliki Dua Kutub

- Magnet selalu mempunyai dua buah kutub, kutub utara (**N**) dan kutub selatan (**S**).
- Kutub magnet adalah ujung magnet yang mempunyai gaya tarik atau gaya tolak terbesar.



Satuan SI untuk **B** adalah : *tesla* (T)

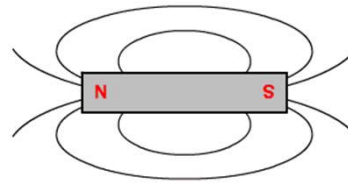
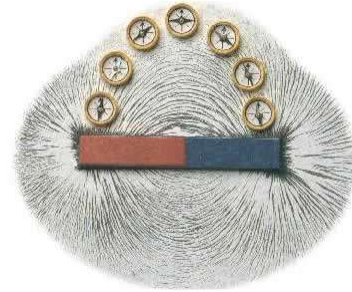
1 tesla = 1 N/A.m

Satuan yang lebih awal untuk **B** (bukan SI) adalah : *gauss*.

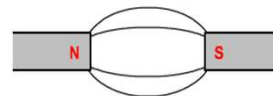
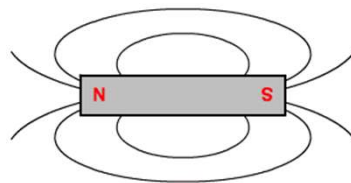
1 tesla = 10^4 gauss

GARIS INDUKSI MAGNET

- Medan magnetik adalah ruang di sekitar suatu magnet dimana benda lain yang mudah dipengaruhi magnet akan mengalami gaya magnetik jika diletakkan dalam ruang tersebut.
- Garis-garis gaya magnet (fluks magnetik) adalah garis-garis yang menggambarkan adanya medan magnetik.



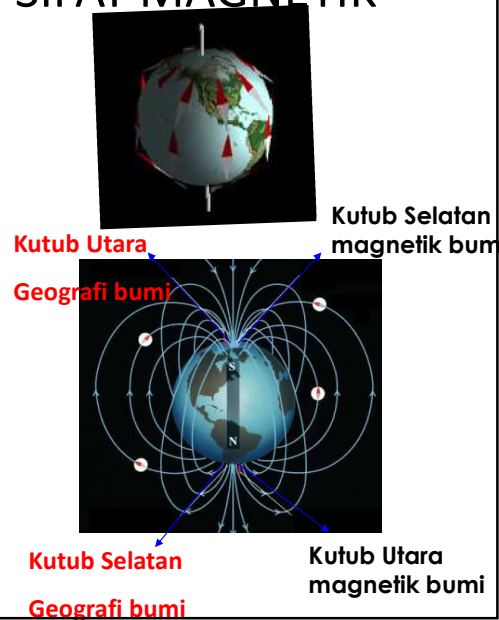
Sifat garis-garis gaya magnetik



- Garis-garis gaya magnet selalu keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan magnet.
- Garis-garis gaya magnet tidak pernah saling berpotongan.
- Tempat yang garis-garis gaya magnetnya rapat menunjukkan medan magnetnya kuat, sebaliknya
- Tempat yang garis-garis magnetiknya renggang menunjukkan medan magnetnya lemah.

BUMI MEMILIKI SIFAT MAGNETIK

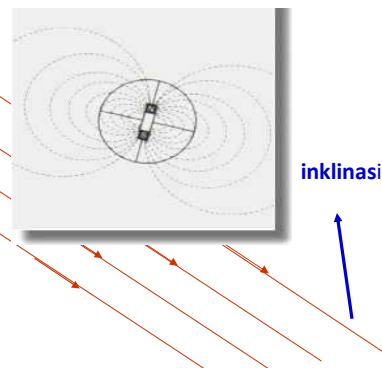
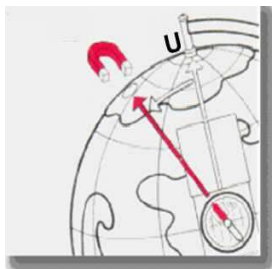
- Jarum kompas selalu menunjuk arah utara – selatan. Fakta ini menunjukkan bahwa bumi mempunyai sifat magnetik.
- Kutub selatan magnet bumi terdapat di dekat kutub utara geografi bumi.
- Kutub utara magnet bumi terdapat di dekat kutub selatan geografi bumi



Sudut Deklinasi dan Inklinasi

- Sudut deklinasi adalah sudut yang dibentuk antara arah utara-selatan geografi dengan arah utara-selatan kompas.

- Sudut inklinasi adalah sudut yang dibentuk medan magnetik (garis gaya magnetik) disebarkan titik dengan horisontal permukaan bumi.



SIFAT MAGNET BAHAN

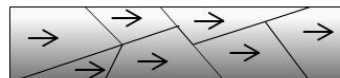
- Permeabilitas adalah sifat magnet bahan dalam arti kuat medan magnet dapat berlipat besarnya bila di dalam kumparan arus telah diisi zat sebagai pengganti udara atau vakum.
- Permeabilitas relatif, $\kappa_m = \mu / \mu_o$
- Permeabilitas udara, $\kappa_m = 1$ dan $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$
- Permeabilitas bahan, $\mu = \kappa_m \mu_o$

Bahan	κ_m
Fe Co tuang	2000 ... 6000
Besi murni	6000
Fe Si tuang	10 000 ... 20 000
Fe Ni tuang	15 000 ... 300 000
Ferit bermagnetik lemah	10 ... 40 000

Hipotesa Weber



Bukan magnet



Magnet

- Besi dan baja terdiri dari atom-atom magnet yang disebut magnet elementer.
- Besi dan baja yang tidak bersifat magnet susunan magnet elementernya tidak teratur.
- Besi dan baja yang bersifat magnet susunan magnet elementernya teratur.
- Magnet elementer pada besi mudah diarahkan.
- Magnet elementer pada baja sukar diarahkan.

Bahan Magnetik dan Non-magnetik

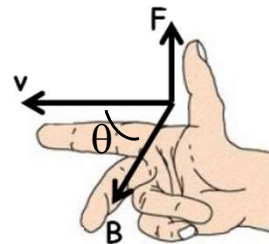
- Bahan non-magnetik, terdiri dari :
 - Bahan Paramagnetik,
Bahan yang ditarik dengan lemah oleh magnet dan tidak dapat dimagnetkan.
Contoh : platina, magnesium, wolfram, kayu, aluminium ($K_m \sim 1$)
 - Bahan diamagnetik,
Bahan yang ditolak dengan lemah oleh magnet dan tidak dapat dimagnetkan
Contoh : tembaga, bismuth, perak, emas, seng, NaCl ($K_m < 1$)
- Bahan magnetik atau Feromagnetik :
Bahan yang dapat ditarik dengan kuat oleh magnet dan dapat dimagnetkan.
Contoh : besi, baja, nikel, kobalt ($K_m > 1$)

GAYA LORENTZ (1)

- Muatan bergerak di dalam ruangan bermedan magnet mengalami **gaya Lorentz**.
- Gaya akibat medan magnet yang dialami oleh partikel bermuatan yang bergerak adalah

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

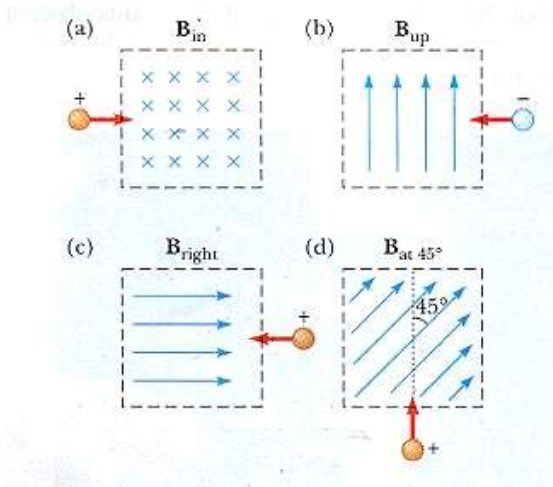
$$\vec{F} = q \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$



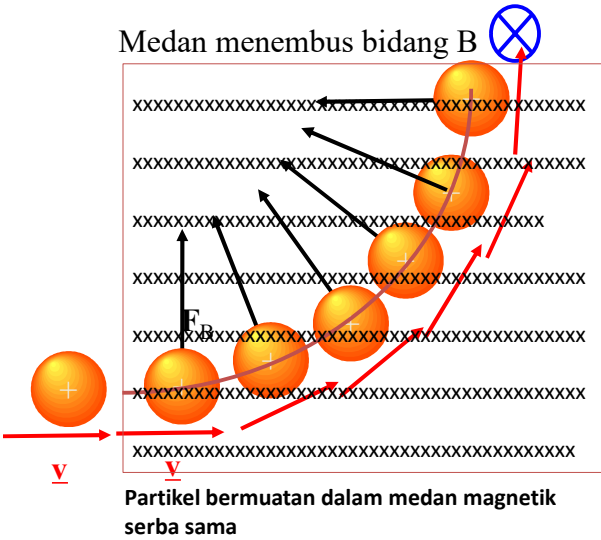
$$F = qvB \sin \theta$$

θ = sudut antara v dan B

KE MANA ARAH GAYA MAGNETNYA?



Lintasan Melingkar jika $v \perp B$



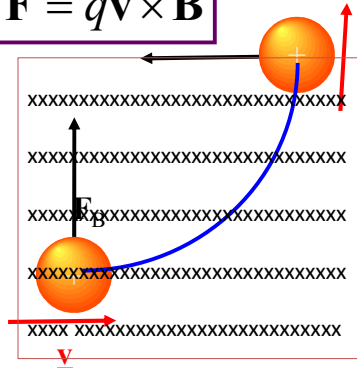
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Perhatikan laju tidak berubah tetapi arah berubah Melingkar

Arah gaya F selalu $\perp$ to v

Medan magnet B menembus bidang $\otimes$

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



Karena gaya selalu dalam arah radial (gaya sentripetal), ia bekerja untuk mempertahankan partikel bergerak melingkar

$$F = qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$qB = \frac{mv}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Soal

Elektron berputar dengan energi kinetik sebesar 22,5 eV. Medan magnetik yang keluar dari bidang gambar mempunyai magnituda sebesar $4,55 \times 10^{-4}$ T. Hitung :

- Jari-jari lingkaran
- Frekuensi
- Perioda

Jawab :

$$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad q = 1,6 \times 10^{-19}$$

$$K = 22,5 \text{ eV} = 22,5 \times (1,6 \times 10^{-19}) = 36 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2 \frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{2(36 \times 10^{-19})}{(9,1 \times 10^{-31})}} = 2,81 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$a) R = \frac{mv}{qB} = \frac{9,1 \times 10^{-31} (2,81 \times 10^6)}{(1,6 \times 10^{-19})(4,55 \times 10^{-4})} = 3,52 \text{ cm}$$

$$b) T = \frac{2\pi R}{v} = 12,7 \times 10^{-6} \text{ s}$$

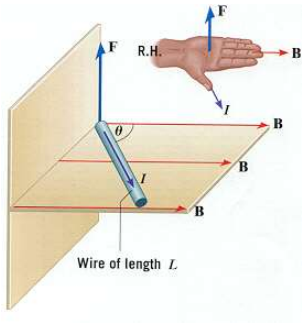
$$c) f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12,7 \times 10^{-6}} = 7,86 \times 10^8 \text{ Hz}$$

GAYA LORENTZ (2)

- Kawat lurus berarus listrik di dalam ruangan bermedan magnet mengalami gaya Lorentz.
- Gaya akibat medan magnet yang dialami oleh kawat berarus listrik adalah

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

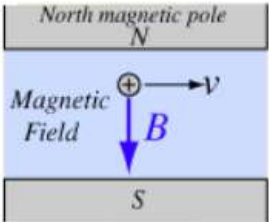
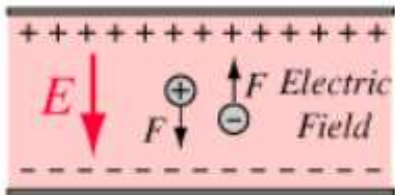
$$\vec{F} = I \cdot \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ L_x & L_y & L_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$



$$F = LIB \sin \theta$$

θ = sudut antara i dan B

GAYA LISTRIK DAN GAYA LORENTZ



Ke mana arah F_{magnet} ?

Perbedaan antara *gaya listrik* dan *gaya magnet*

Gaya Listrik

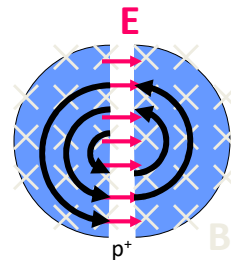
- ▶ Bekerja searah dengan medan listrik
- ▶ Bekerja pada partikel bermuatan tanpa memperdulikan apakah bergerak atau tidak
- ▶ Bekerja memindahkan partikel

Gaya Magnet

- ▶ Bekerja dalam arah tegak lurus medan magnet
- ▶ Bekerja pada partikel bermuatan hanya jika partikel tersebut bergerak
- ▶ Tidak bekerja untuk memindahkan partikel tetapi membelokkan.

Siklotron

- Siklotron: alat untuk mempercepat partikel (proton, deutron dll)
- Terdiri dari dua ruang semisilinder yang ditempatkan dalam medan magnet
- Di antara kedua semisilinder diberi potensial listrik bolak-balik (10^4 volt)
- Ion dalam semisilinder akan mengalami gaya magnet yang menyebabkan bergerak dalam setengah lingkaran lalu dipercepat oleh medan listrik E , masuk lagi ke dalam medan magnet B dan bergerak melingkar dengan jari-jari lebih besar (karena kecepatan lebih besar).



CYCLOTRON



Fermilab

$$R = \frac{mv}{qB} \quad K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$R = 52 \text{ mil} = 83,2 \text{ km}$$

$$\rightarrow K = 20 \text{ TeV} = 20 \times 10^{12} \text{ eV}$$

Soal

Sebuah cyclotron yang berjari-jari 53 cm beroperasi pada frekuensi 12 MHz. Medan magnetik yang digunakan adalah 1,6 T. Partikel bermuatan yang digunakan adalah deutron yang bermuatan sama dengan proton tapi bermassa dua kali massa proton. Hitung energi kinetik yang dihasilkan !

Jawab :

$$m = 2(1,67 \times 10^{-27}) = 3,34 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad q = 1,6 \times 10^{-19} \quad B = 1,6 \text{ T}$$

$$R = \frac{mv}{qB} \rightarrow v = \frac{qRB}{m} = \frac{(1,6 \times 10^{-19})(0,53)(1,6)}{3,34 \times 10^{-27}} = 3,99 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(3,34 \times 10^{-27})(3,99 \times 10^7)^2 = 16,6 \text{ MeV}$$

Pemilih Kecepatan

- Gaya :

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

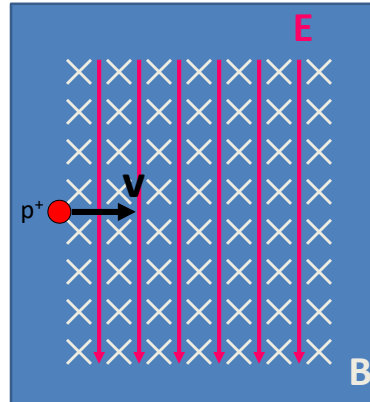
- Ketika $F = 0$ dan

$$\vec{v} \perp \vec{E} \perp \vec{B}$$

maka

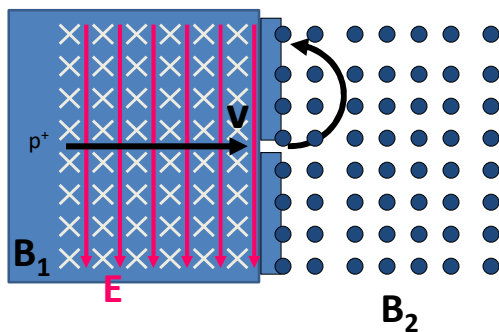
$$v = \frac{E}{B}$$

Agar partikel bergerak lurus ($F=0$)



Spektrometer Massa

- Alat yang digunakan untuk menentukan massa atau perbandingan massa terhadap muatan:



$$qvB_2 = \frac{mv^2}{R}$$

$$\frac{m}{q} = \frac{B_2 R}{v}$$

Dimana

$$v = \frac{E}{B_1}$$

Soal

Mass spectrometer adalah alat untuk mengukur massa ion. Prinsip kerjanya seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Sebuah ion bermassa m dan bermuatan $+q$ keluar dari sumber S yang diberi tegangan sebesar V . Ion akan dipercepat dan masuk ke dalam medan magnetik B , berputar dan jatuh di detektor pada jarak x . Tunjukkan besarnya massa dapat dihitung dari : $m = \frac{B^2 q}{8V} x^2$

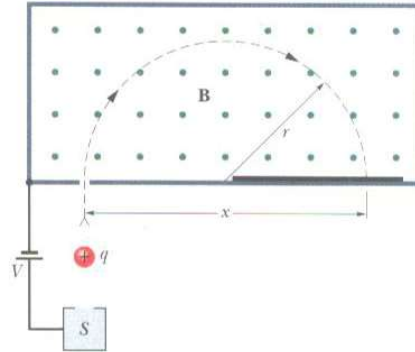
Jawab :

$$U = K \rightarrow qV = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

$$R = \frac{mv}{qB} \rightarrow m = \frac{RqB}{v} \text{ dan } R = x/2$$

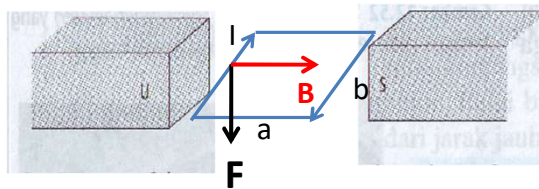
Akhirnya didapat

$$m = \frac{qB^2}{8V} x^2$$



▪ MOMEN GAYA PADA KUMPARAN

Kumparan persegi dengan sisi $a \times b$



Gaya pada kawat dengan panjang b : $F = BIlb$ (arah ke bawah)

Momen gaya pada kumparan : $\tau = Fa \sin \alpha = BIA \sin \alpha$

Momen gaya pada kumparan

untuk N lilitan :

$$\tau = NBIA \sin \alpha$$

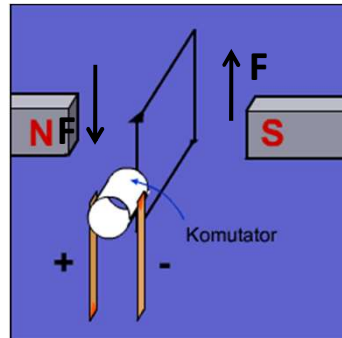
α = sudut antara B dengan normal bidang

N = banyaknya lilitan

A = luas kumparan

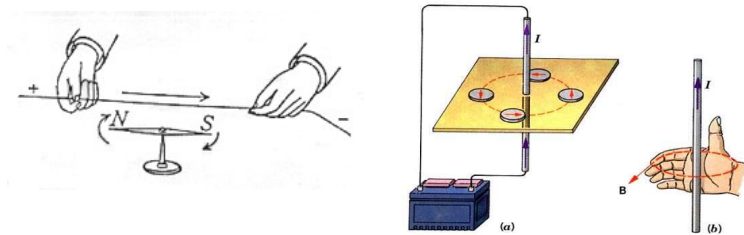
Penggunaan Gaya Magnetik pada Kumparan

- Gaya magnetik yang timbul pada penghantar berarus listrik digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak.
- Contoh : motor listrik , alat ukur listrik.



Fungsi komutator adalah agar arus listrik yang mengalir pada loop tidak berbalik arah, sehingga loop dapat terus berputar.

HUKUM BIOT- SAVART

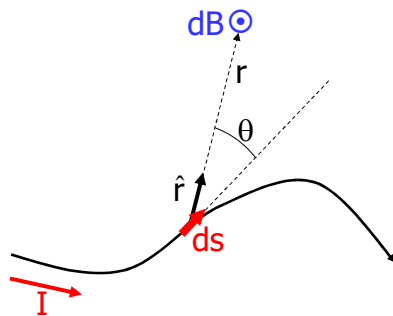


Arah ibu jari = arah arus listrik (I)

Arah keempat jari = arah medan magnetik (B)

- Tahun 1819, Oersted mengamati bahwa jarum kompas dapat menyimpang di atas kawat berarus
- Arus listrik sebagai sumber medan magnet.

Hukum Biot-Savart
pada elemen kawat berarus listrik

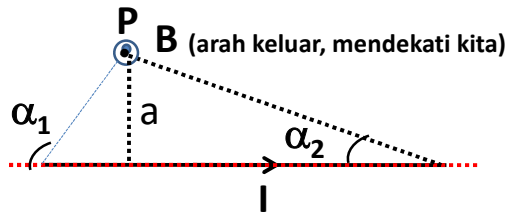


$$d\mathbf{B} = k' I \frac{d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \sin \theta}{r^2}$$

$$k' = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A.m}$$

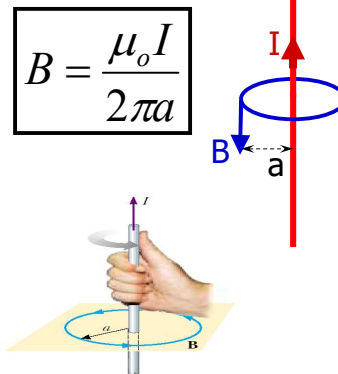
KAWAT LURUS



$$\mathbf{B} = \frac{k' I}{a} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} -\sin \alpha d\alpha$$

$$\mathbf{B} = \frac{k' I}{a} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

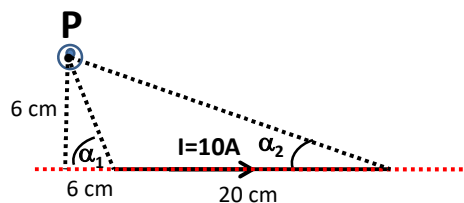
- Kawat lurus panjang tak hingga, $\alpha_1=180^\circ$ dan $\alpha_2=0$



SOAL

Tentukan besar dan arah medan magnet di P !

Jawab



$$\tan \alpha_1 = 6/6 \rightarrow \alpha_1 = 45^\circ$$

$$\tan \alpha_2 = 6/26 \rightarrow \alpha_2 = 13^\circ$$

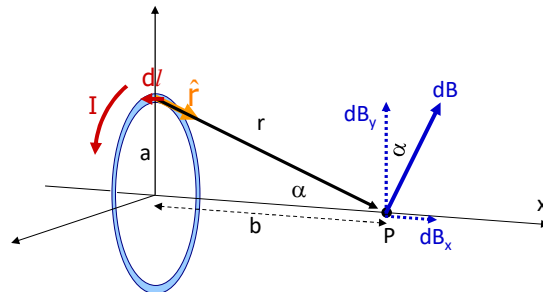
$$\mathbf{B} = \frac{k' I}{a} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

$$\mathbf{B} = \frac{10^{-7} \times 10}{6 \times 10^{-2}} (\cos 13^\circ - \cos 45^\circ)$$

$$\mathbf{B} = 4,45 \times 10^{-6} T$$

Arah keluar, mendekati kita

KAWAT MELINGKAR

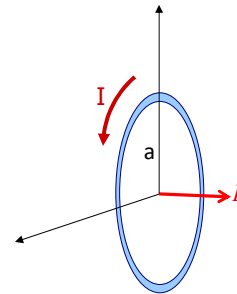


• Di sumbunya

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_x = \frac{k' I \sin \alpha}{r^2} 2\pi a$$

$$\mathbf{B}_y = 0$$

• Di pusatnya



$$B = \frac{\mu_o I}{2a}$$

SOAL

Tentukan besar dan arah medan magnet di P, jika diketahui $AP=PB=10$ cm dan $R_1 = R_2 = 10$ cm !

Jawab

$$\alpha = 45^\circ$$

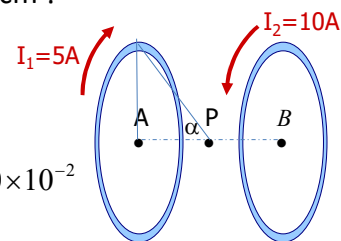
$$\mathbf{B}_1 = \frac{k' I \sin \alpha}{r^2} 2\pi a = \frac{10^{-7} \times 5 \sin 45^\circ}{(10\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} \times 2\pi \times 10 \times 10^{-2}$$

$$\mathbf{B}_1 = 1,11 \times 10^{-5} \text{ T ke kiri}$$

$$\mathbf{B}_2 = \frac{k' I \sin \alpha}{r^2} 2\pi a = \frac{10^{-7} \times 10 \sin 45^\circ}{(10\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} \times 2\pi \times 10 \times 10^{-2}$$

$$\mathbf{B}_2 = 2,22 \times 10^{-5} \text{ T ke kanan}$$

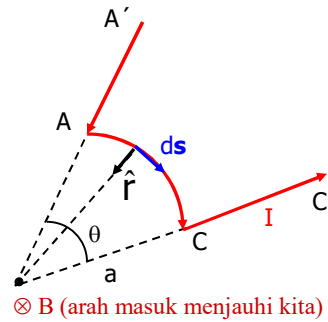
$$\text{Jadi } \mathbf{B}_p = \mathbf{B}_2 - \mathbf{B}_1 = 1,11 \times 10^{-5} \text{ T ke kanan}$$



DI PUSAT BUSUR LINGKARAN

$$B = \frac{k' I}{a^2} S$$

S = panjang busur
= $\theta \cdot a$



SOLENOIDA

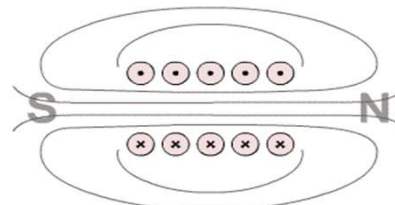
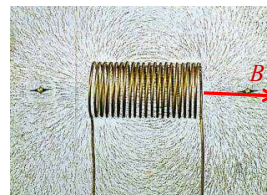
Solenoida panjang



$$B = \mu_o I n$$

$$n = \frac{N}{L}$$

n = jumlah lilitan tiap
satuan panjang



- Kawat dengan arah arus ke luar dari bidang.
- × Kawat dengan arah arus masuk ke bidang

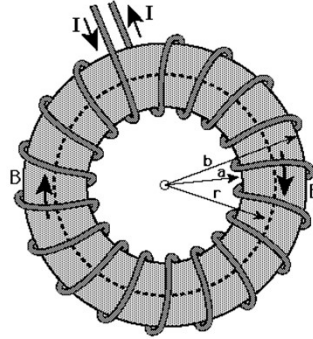
TOROIDA

$$B = \mu_o In$$

$$n = \frac{N}{L}$$

$$L = 2\pi R$$

$$R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$$



SOAL

Sebuah toroida dengan panjang 20 cm, luas penampang 2 cm^2 dan jumlah lilitan 500. Pada saat arusnya 0,03A didapat fluks magnet 10^{-5} Wb . Tentukan besarnya rapat fluks magnet dan permeabilitas relatif bahan !

Jawab

Rapat fluks magnet

$$B = \phi/A = 10^{-5}/(2 \times 10^{-4}) \\ = 5 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$B = \frac{\mu NI}{L} \rightarrow \mu = \frac{BL}{NI} = \frac{5 \times 10^{-2} \times 0,2}{500 \times 0,03} = 6,6 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$K_m = \frac{\mu}{\mu_o} = \frac{6,6 \times 10^{-4}}{12,57 \times 10^{-7}} = 525$$



Gaya Magnet pada Kawat Konduktor Sejajar

Telah teramati secara eksperimental bahwa pada kawat lurus panjang sejajar muncul gaya satu sama lain ketika dialiri arus.



Gaya per satuan panjang yang di alami kawat 1 dan kawat 2 adalah

$$\frac{F_1}{L_1} = \frac{F_2}{L_2} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$

SOAL

Tiga kawat lurus panjang dan sejajar, Hitung gaya persatuan panjang yang dialami kawat C akibat induksi magnet yang ditimbulkan oleh kawat A dan B !

Jawab

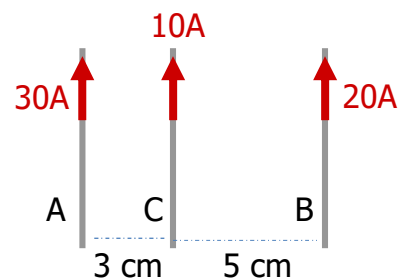
Kawat C mengalami induksi magnet dari kawat A dan B :

$$B_A = \frac{\mu_o I_A}{2\pi a_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 30}{2\pi \times 0,03}$$

$$= 2 \times 10^{-4} T \text{ arah masuk}$$

$$B_B = \frac{\mu_o I_B}{2\pi a_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 0,05}$$

$$= 0,8 \times 10^{-4} T \text{ arah keluar}$$



$$B_C = B_A - B_B = 1,2 \times 10^{-4} T \text{ (masuk)}$$

$$F_C = I L_C B_C = 10 \times L_C \times 1,2 \times 10^{-4}$$

$$F_C / L_C = 12 \times 10^{-4} N/m \text{ ke kanan}$$

SOAL-SOAL

- Diktat h.63
- No. 2 , 4, 6, 8, 10, 12

BAB 6

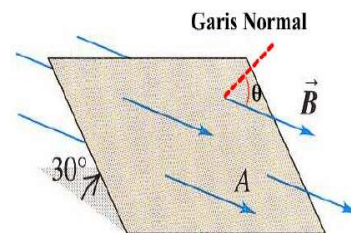
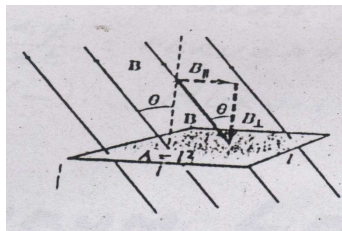
GGL INDUKSI

FLUKS MAGNETIK ϕ :

JUMLAH GARIS INDUKSI MAGNETIK YANG
MENEMBUS PERMUKAAN SECARA TEGAKLURUS

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

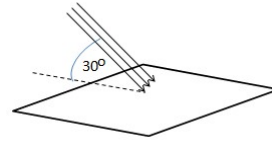
Weber (= Tesla m²)



$$\phi = B.A.\cos \theta$$

Contoh 1

Sebuah Koil berbentuk empat persegi panjang berukuran 10cm x 20 cm ditembus medan magnet 2T dengan arah seperti gambar. Tentukan fluks magnet total yang masuk koil



Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\Phi &= B A \cos \theta \\ &= 2 (200) (10^{-4}) \cos 60^\circ \\ &= 0,02 \text{ Web}\end{aligned}$$

GGL Induksi

Prinsip Dasar GGL Induksi

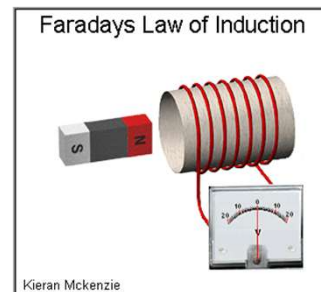
Arus listrik menghasilkan Medan magnet

Medan magnet (yang berubah) menghasilkan arus listrik

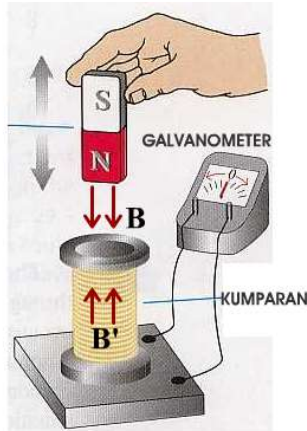
Medan magnet yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik

Medan listrik yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan medan magnet

Gabungan keduanya menghasilkan gelombang elektromagnetik --> radiasi



GGL Induksi



Batang magnet digerakkan mendekati/menjauhi kumparan, jarum Galvanometer bergerak-gerak.

Hukum Faraday

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Hukum Lenz

Arus induksi yang dihasilkan adalah sedemikian menentang penyebabnya

BESARNYA GGL

FARADAY :

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(BA \cos \theta)}{dt} \quad \text{volt}$$

ξ MUNCUL BILA :

- **B berubah (I berubah)**
- **A berubah**
- **θ berubah**

N : jumlah lilitan

$\frac{d\phi}{dt}$: perubahan fluks per satuan waktu

(-): Hukum Lenz : GGL Induksi selalu menghasilkan arus induksi yang medan magnetnya berlawanan dengan perubahan fluks asalnya

Dari hubungan

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Dan

$$\phi = B.A.\cos\theta$$

GGL dapat diperbesar dengan

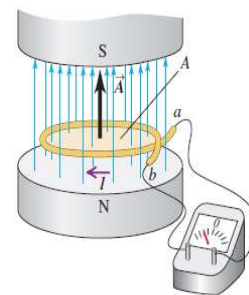
- mengubah medan B ,
- mengubah luas koil,
- mengubah sudut θ ,
- menambah jumlah lilitan N

Emf Induksi

7

Contoh 2

Dalam gambar medan magnetik di antara kutub magnetik homogen dan besarnya bertambah dengan kecepatan sebesar $0,02 \text{ T/s}$. Luas simpal konduktor dalam medan itu adalah 120 cm^2 , dan hambatan total rangkaian itu termasuk galvanometer adalah $5,0 \Omega$. Hitunglah besar tge induksi dan arus induksi pada rangkaian.

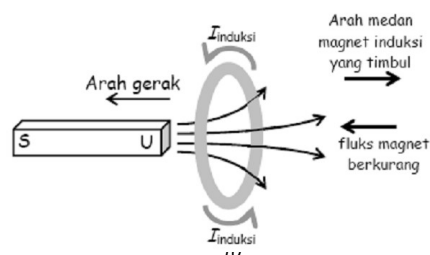
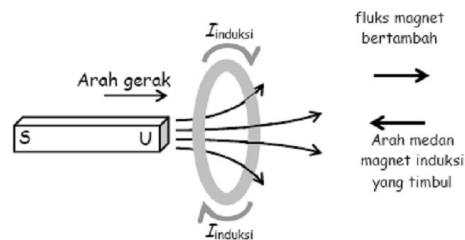


PENYELESAIAN a) Vektor $\vec{A}$ dan vektor $\vec{B}$ paralel dan $\vec{B}$ adalah homogen, sehingga $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA$. Luas daerah $A = 0,012 \text{ m}^2$ adalah konstan, maka kecepatan perubahan fluks magnetik itu adalah

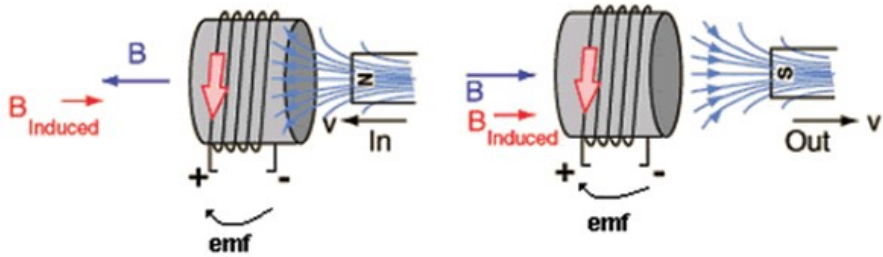
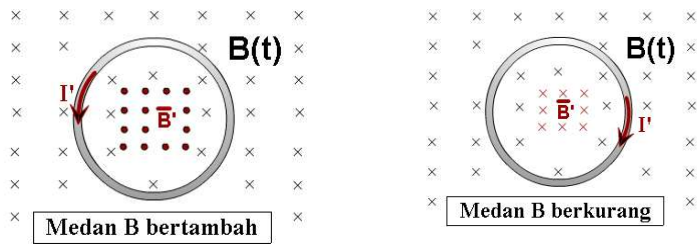
$$\begin{aligned}\frac{d\Phi_B}{dt} &= \frac{d(BA)}{dt} = \frac{dB}{dt} A = (0,020 \text{ T/s})(0,012 \text{ m}^2) \\ &= 2,4 \times 10^{-4} \text{ V} = 0,24 \text{ mV}.\end{aligned}$$

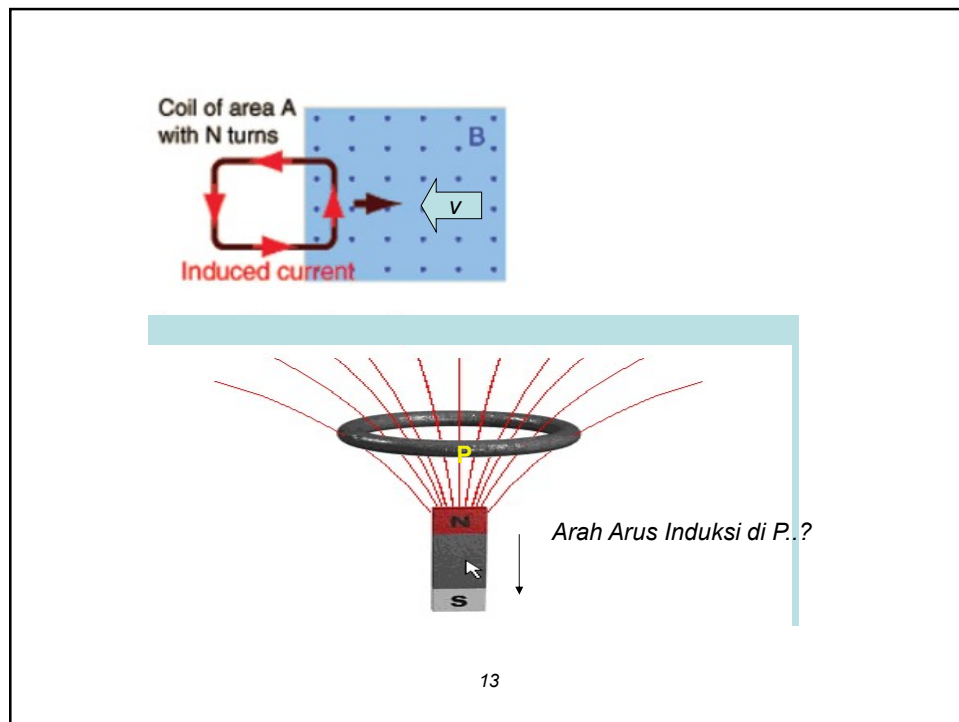
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2,4 \times 10^{-4} \text{ V}}{5,0 \Omega} = 4,8 \times 10^{-5} \text{ A} = 0,048 \text{ mA}.$$

Arah Arus Induksi - Aplikasi Hukum Lenz



Kawat Loop dalam B berubah



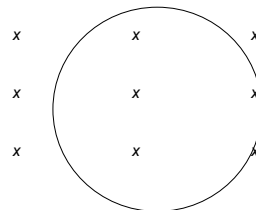


13

Contoh 3

Sebuah cincin dengan jari-jari 2 cm ditempatkan secara tegak lurus terhadap medan magnet B yang besarnya berubah-ubah mengikuti persamaan $B(t) = 2t$, t dalam detik, B dalam Tesla. Hambatan cincin adalah 0,1 ohm. Tentukan:

- besarnya GGL induksi pada cincin !
- besar dan arah arus induksi pada cincin !



14

Penyelesaian

a. GGL induksi : $\xi = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(B.A)}{dt}$

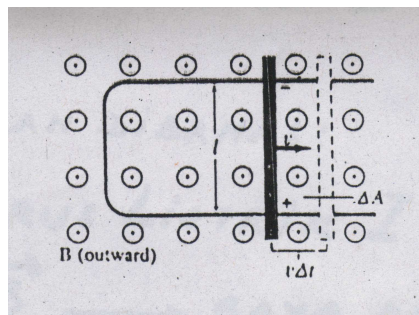
Pada kasus ini luas cincin A adalah konstan, sehingga diperoleh :

$$\xi = -N.A \frac{dB}{dt} = -1.\pi.0,02^2 \cdot \frac{d(2t)}{dt} = -1.\pi.0,02^2.2 = -0,0025 \text{ V}$$

b. Arus induksi yang timbul : $I' = \frac{|\xi|}{R} = \frac{0,0025}{0,1} = 0,025 \text{ A}$

Fluks magnet yang masuk cincin selalu bertambah karena $B(t) = 2t$ selalu membesar untuk setiap saat t . Jadi arah I' berlawanan arah jarum jam dan arah B' didalam cincin adalah keluar (menentang penyebabnya)

15

GGL INDUKSI PADA KONDUKTOR BERGERAK

- B UNIFORM DIBATASI KONDUKTOR U
- DALAM WAKTU dt , BATANG MENEMPUH JARAK :
 $dx = v dt$
- LUAS LUP BERTAMBAH :
 $dA = (v dt) l$

$$\xi = \frac{d\phi}{dt} = \frac{BdA}{dt} = \frac{B(vdt)l}{dt}$$

JADI :

$$\xi = Blv$$

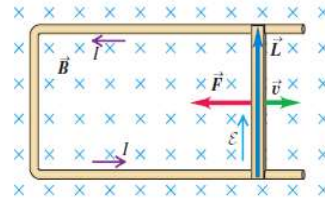
MOTIONAL EMF

Emf Induksi

16

Contoh 4

Diketahui panjang L adalah 0,1 m, kecepatan v adalah 2,5 m/s, hambatan total simpal adalah $0,03 \Omega$ dan medan magnetik B adalah 0,6 T. Carilah ε , arus induksi, dan gaya yang bekerja pada batang tsb.

**Penyelesaian**

$$\varepsilon = vBL = (2,5 \text{ m/s})(0,6 \text{ T})(0,1 \text{ m}) = 0,15 \text{ V}$$

Arus I dalam simpal adalah

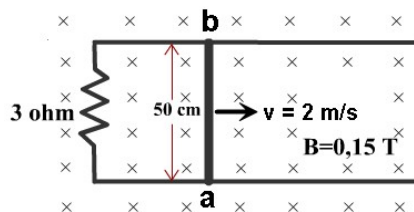
$$I = \varepsilon/R = (0,15 \text{ V})/(0,03 \Omega) = 5 \text{ A}$$

$$F = ILB = (5 \text{ A})(0,1 \text{ m})(0,6 \text{ T}) = 0,30 \text{ N}.$$

Contoh 5.

Sebuah kawat dengan panjang 50 cm diletakkan di atas rangkaian, Medan magnet sebesar 0,15 T diberikan secara tegak lurus bidang gambar. Hambatan rangkaian adalah 3 ohm. Kawat digerakkan ke kanan dengan kecepatan tetap 2 m/s.

- Tentukan besarnya GGL induksi dalam kawat !
- Tentukan besarnya arus induksi yang terjadi !
- Tentukan besarnya gaya yang diperlukan menggerakkan kawat tsb. !



Penyelesaian

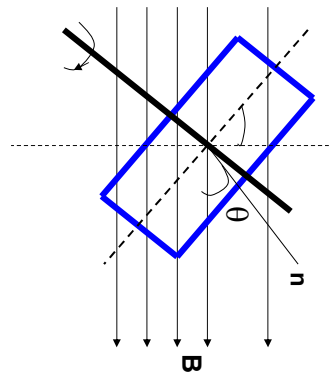
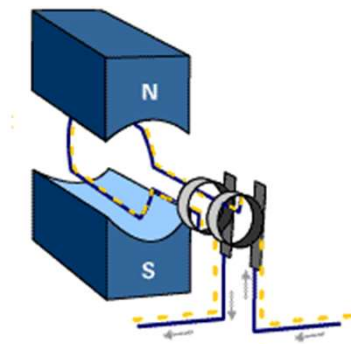
a. GGL induksi : $\xi = B.L.v = 0,15 (0,5) (2) = 0,15 \text{ V}$

b. Arus induksi yang timbul : $I' = \frac{|\xi|}{R} = \frac{0,15}{3} = 0,05 \text{ A}$

Arah arus induksi dari a ke b.

- c. Timbul interaksi antara arus induksi dengan medan magnet yang menghasilkan gaya pada kawat sebesar : $F = I.L.B \sin 90^\circ = 0,05 (0,5) (0,15) = 3,75 \text{ mN}$ dengan arah ke kiri. Agar kawat bergerak ke kanan dengan kecepatan konstan diperlukan gaya luar sebesar itu tetapi arahnya ke kanan.

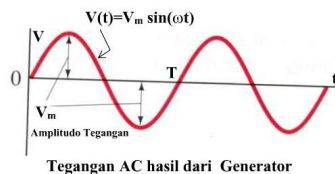
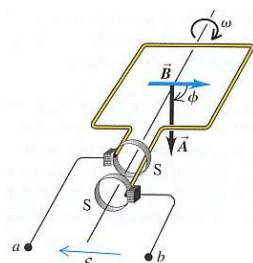
Generator Listrik



Emf Induksi

20

Generator



$$\phi = BA \cos \theta$$

$$\phi(t) = BA \cos(\omega t)$$

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\xi = -N \frac{d(BA \cos(\omega t))}{dt}$$

$$\xi = NBA \omega \sin(\omega t)$$

$$\xi = V_m \cdot \sin(\omega t)$$

$$V_m = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

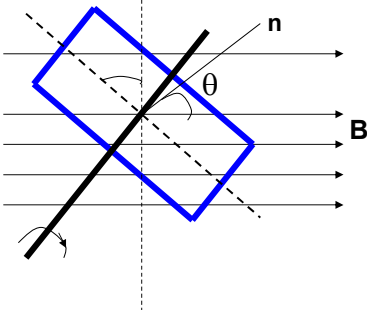
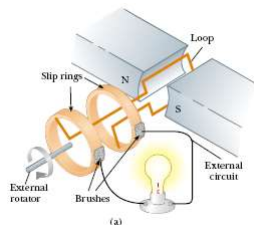
Tegangan AC hasil dari Generator

Emf Induksi

21

GGL INDUKSI KARENA θ YANG BERUBAH

Prinsip kerja GENERATOR LISTRIK



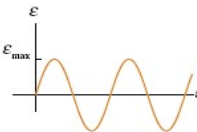
$$\Phi = B A \cos \theta$$

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(BA \cos \theta)}{dt}$$

$$= N B A \omega \sin \theta$$

$$\xi = \xi_m \sin \omega t$$

$$\xi_m = N B A \omega$$



Emf Induksi

22

Contoh 6.

Sebuah kumparan terdiri dari 5000 lilitan berpenampang lingkaran dengan diameter 4 cm berputar terhadap sumbu diameternya. Kumparan diputar dengan kecepatan 1800 putaran per menit dengan sumbu putar yang selalu tegak lurus terhadap induksi magnet sebesar $0,5 \text{ W/m}^2$. Tentukan GGL induksi sesaat dalam kumparan, ketika bidang kumparan membentuk sudut 30° terhadap induksi magnet !

23

Penyelesaian

Kumparan dalam soal di atas tidak lain adalah generator AC.

Fluks : $\phi(t) = BA \cos(\omega t)$

GGL induksi :

$$\xi = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\xi = NBA\omega \sin(\omega t)$$

Ketika $\theta = \omega.t = 60^\circ$ (dari garis normal bidang)

$$\xi = -5000(0,5)(0,04^2)(1800)(2\pi / 60)(\sin 60^\circ) = 41 \text{ volt.}$$

Contoh 7 :

Sebuah generator listrik terdiri atas lilitan-lilitan berbentuk bujur sangkar dengan luas $0,5 \text{ m}^2$ sebanyak 500 lilitan dan diletakkan diantara dua kutub magnet yang memberikan medan homogen sebesar $0,4 \text{ Tesla}$ tegak lurus terhadap sumbu putar lilitan. Jika lilitan tersebut diputar dengan kecepatan 10 rad/s dan pada saat $t = 0$ fluks pada simpal minimum, tentukan :

- Besarnya GGL imbas pada saat $t = 1 \text{ detik}$
- Daya maksimum yang timbul jika diketahui hambatan lilitan sebesar 100 ohm .

Jawab :

a. GGL imbas : $\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = NBA \omega \sin(\omega t + \theta_o)$

Pada saat $t = 0$ fluks minimum ($\phi_{\min} = 0$):

$$\phi = B A \cos(\omega t + \theta_o) \longrightarrow \theta_o = \frac{\pi}{2}$$

sehingga $\varepsilon = NBA \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

$$\varepsilon = 500 \cdot 0,4 \text{ T} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ rad/s} \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right)$$

pada $t = 1 \text{ s} \rightarrow \varepsilon = 100 \sin\left(10 \cdot 1 + \frac{\pi}{2}\right) = -84 \text{ V}$

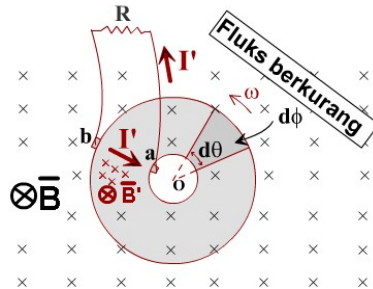
b. Daya listrik yang terbentuk :

$$P = \varepsilon \cdot i = \varepsilon \cdot \left(\frac{\varepsilon}{R}\right) = \frac{\varepsilon^2}{R}$$

$$P = \frac{(NBA \omega \sin(\omega t + \theta_o))^2}{R} = \frac{(NBA \omega)^2}{R} \sin^2(\omega t + \theta_o)$$

jadi $P_{\text{maks}} = \frac{(NBA \omega)^2}{R} \longrightarrow P_{\text{maks}} = 10 \text{ kW}$

Dinamo Faraday



$$\xi = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\begin{aligned} -d\Phi &= B \cdot dA \\ &= B \cdot \frac{1}{2} \cdot (R_b^2 - R_a^2) \cdot d\theta \end{aligned}$$

$$\xi = \frac{1}{2} B (R_b^2 - R_a^2) \frac{d\theta}{dt}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot (R_b^2 - R_a^2)$$

Cakram Pejal ($R_a = R_b = R$):

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot R^2$$

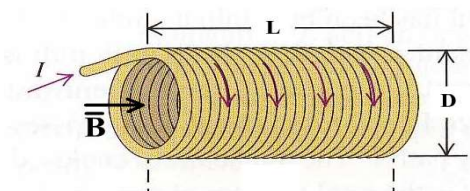
Contoh 8

Sebuah cakram tembaga dengan jari-jari 10 cm berada di dalam medan magnet homogen yang tegak lurus sebesar 0,6 T. Jika cakram diputar dengan kecepatan 200 putaran per detik, tentukan beda potensial antara pusat dan tepi cakram itu !

Penyelesaian

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot R^2 = 0,5 (0,6) (2\pi \cdot 200) (0,1^2) = 3,8 \text{ Volt}$$

INDUKTANSI SOLENOIDA~



$$B = \mu_o I n$$

$$n = \frac{N}{\ell}$$

$$\xi = - N \frac{d \phi}{dt}$$
$$\xi = - L \frac{dI}{dt}$$

$$L = N \frac{dQ}{dI} = N \frac{d \left(\mu_o I \frac{N}{\ell} A \right)}{dI}$$

$$L = \frac{\mu_o N^2 A}{\ell}$$

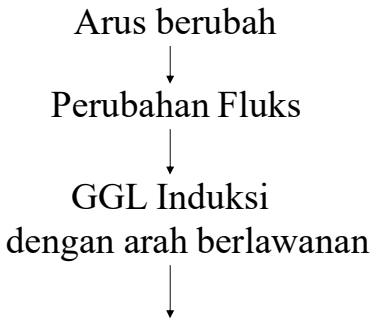
Bila dalam solenoida dimasukkan bahan, maka

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

Emf Induksi

29

KUMPARAN TUNGGAL



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

L : Induktansi (diri) (henry)

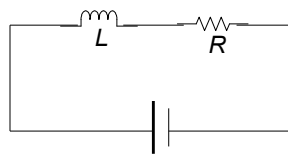
Induktor : kumparan dengan induktansi L besar



Emf Induksi

30

ENERGI INDUKTOR



$$V = V_L + V_R$$

$$V = L \frac{dI}{dt} + I.R$$

Daya listrik sesaat pada rangkaian :

$$P = V.I$$

$$P = L.I \frac{dI}{dt} + I^2.R$$

Energi yang tersimpan pada induktor L selama waktu dt :

$$dW = P_L dt = L.I. \frac{dI}{dt} . dt = L.I.dI$$

Bila arus bertambah dari 0 menjadi I , maka energi listrik yang tersimpan pada induktor:

$$W = \int_0^I L.I.dI \longrightarrow W = \frac{1}{2} L I^2$$

Emf Induksi

31

INDUKTANSI SILANG

Arus I_1 berubah



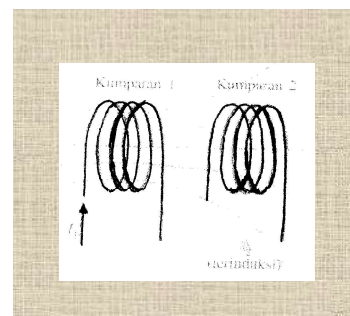
GGL Induksi di Kumparan 2

$$\xi_2 = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d(BA)}{dt}$$

$$B \sim I_1$$

$$\xi_2 \sim \frac{dI_1}{dt}$$

$$\xi_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$$



M : Induktansi silang (henry)

Tergantung pada :

- ada tidaknya besi
- jumlah lilitan dan ukuran kumparan
- jarak pisah kumparan

Emf Induksi

32

Contoh Soal 8

Sebuah solenoida dengan panjang 0,50 m dan luas penampang 10 cm^2 , dililit secara rapat dengan 1000 lilitan. Sebuah solenoida lain dengan 10 lilitan mengelilingi solenoida pertama di pusatnya. Hitunglah induktansi bersama.

Penyelesaian

Diketahui: $\ell = 0,50 \text{ m}$, $A = 10 \text{ cm}^2 = 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$N_1 = 1000$ lilitan, $N_2 = 10$ lilitan

Ditanya: $M = ?$

Jawab: $B_1 = \mu_0 n_1 i_1 = \frac{\mu_0 N_1 i_1}{\ell}$

$$M = \frac{N_2 \Phi_{B1}}{i_1} = \frac{N_2 B_1 A}{i_1} = \frac{N_2 \mu_0 N_1 i_1 A}{i_1 \ell} = \frac{\mu_0 A N_1 N_2}{\ell}$$

$$= \frac{(4\pi \times 10^{-7})(10 \times 10^{-4})(1000)(10)}{0,50} = 25 \times 10^{-6} \text{ H}$$

Contoh Soal 9

Sebuah solenoida toroida dengan luas penampang $5,0 \text{ cm}^2$ dan jari-jari 0,10 m dililit secara rapat dengan 200 lilitan. Hitunglah induktansi sendiri.

Penyelesaian

Diketahui: $A = 5,0 \text{ cm}^2 = 5,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $r = 0,10 \text{ m}$

$N = 200$ lilitan

Ditanya: $L = ?$

Jawab: $\Phi = BA = \frac{\mu_0 N i A}{2\pi r}$

$$L = \frac{N \Phi_B}{i} = \frac{\mu_0 N^2 A}{2\pi r}$$

$$= \frac{(4\pi \times 10^{-7})(200)^2(5 \times 10^{-4})}{2\pi (0,10)} = 40 \times 10^{-6} \text{ H}$$

FENOMENA ARUS EDDY

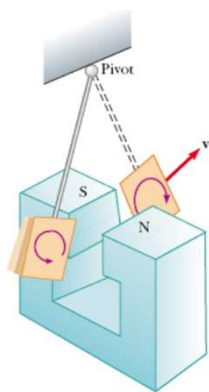
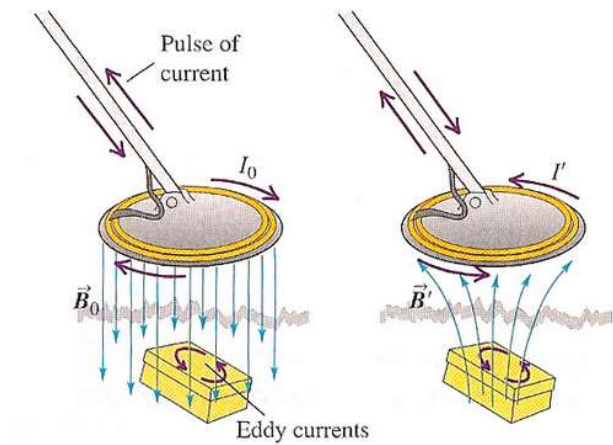


Figure 31.22 Formation of eddy currents in a conducting plate moving through a magnetic field. As the plate enters or leaves the field, the changing magnetic flux induces an emf, which causes eddy currents in the plate.

Metal Detector



Elektromagnetic Brake

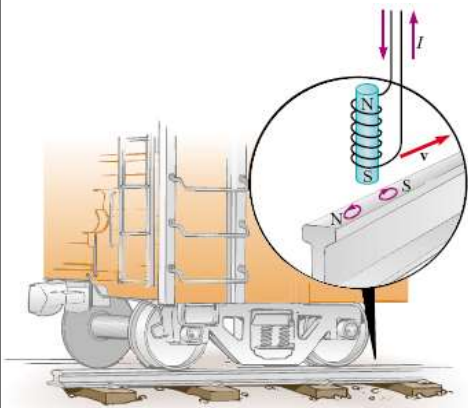
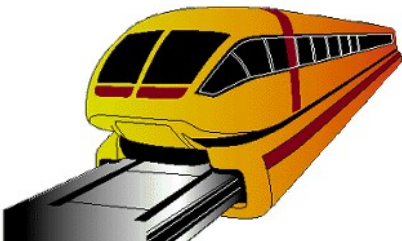
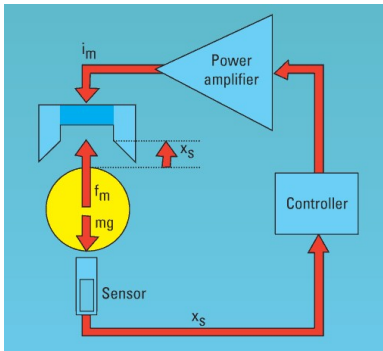


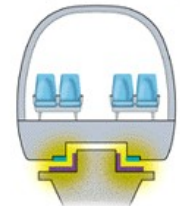
Figure P31.46 represents an electromagnetic brake that utilizes eddy currents. An electromagnet hangs from a railroad car near one rail. To stop the car, a large steady current is sent through the coils of the electromagnet. The moving electromagnet induces eddy currents in the rails, whose fields oppose the change in the field of the electromagnet. The magnetic fields of the eddy currents exert force on the current in the electromagnet, thereby slowing the car. The direction of the car's motion and the direction of the current in the electromagnet are shown correctly in the picture. Determine which of the eddy currents shown on the rails is correct. Explain your answer.

MAGLEV TECHNOLOGY



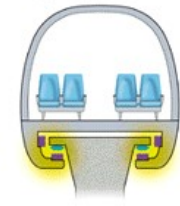
Levitation Techniques

ELECTRODYNAMIC



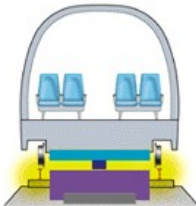
Electromagnets on the guideway levitate the car.

ELECTROMAGNETIC



Electromagnets on the cars lift the cars.

INDUCTRACK



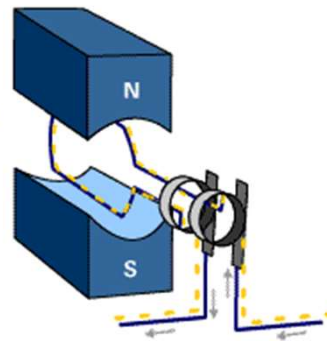
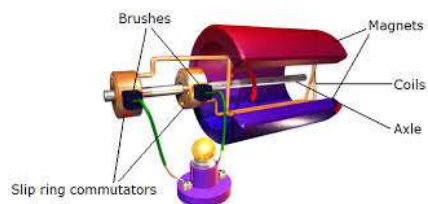
Permanent magnets levitate over passive coils.

Latihan Soal Hal 79 - 81

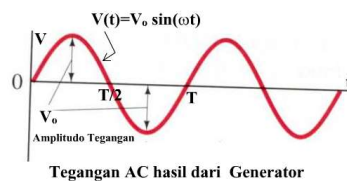
BAB 7

ARUS BOLAK BALIK

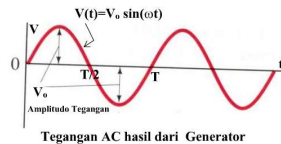
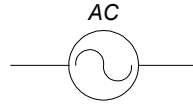
GENERATOR AC



Tegangan yang dihasilkan oleh generator adalah tegangan sinusoidal. Tegangan tersebut berubah-ubah terhadap waktu. Pada saat tertentu mencapai maksimum (+) dan pada yang saat lain mencapai minimum (-) sehigggga dinamakan **tegangan bolak-balik (AC)**.



SIMBOL TEGANGAN AC



$$v = v_o \sin \omega t$$

V_o adalah tegangan puncak dalam satuan volt,

$\omega = 2\pi f$ adalah kecepatan sudut dalam satuan rad/s,

f adalah frekuensi dinyatakan dalam satuan hertz.

Di negara USA dan Kanada menggunakan $f=60$ Hz pada tegangan 120V, sedangkan Eropa dan negara lain menggunakan $f=50$ Hz pada tegangan 220V (efektif).

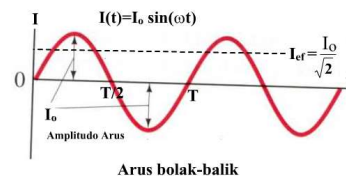
NILAI EFEKTIF

Karena besarnya arus ac berubah-ubah dari waktu ke waktu maka diambil **nilai efektif**, dengan cara mencari rata-rata daya untuk satu siklus (daya efektif).

Energi pada resistor (energi nyata) yang dilewati arus efektif I_{ef} yang konstan sama dengan energi pada satu siklus arus ac :

$$W = I_{ef}^2 R T = \int_0^T i^2 R dt$$

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T I_o^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{I_o^2}{2}$$



$$V_{ef} = V_{rms} = V = \frac{V_o}{\sqrt{2}}$$

$$I_{ef} = I_{rms} = I = \frac{I_o}{\sqrt{2}}$$

Cara mengukur tegangan AC



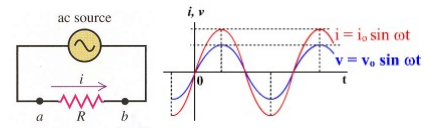
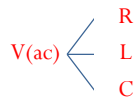
CONTOH SOAL
Sebuah alat pengering rambut
memilik daya 1500 W / 120 V.

- a. Tentukan hambatan total pada alat tersebut !
- b. Tentukan arus (efektif) jika dipakai pada tegangan 120 V!

Jawab

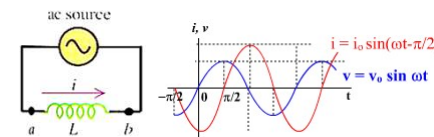
$$P = I^2 \cdot R = \left(\frac{V}{R}\right)^2 \cdot R \quad R = \frac{V^2}{P} = \frac{120^2}{1500} = 9,6 \Omega$$
$$I = \frac{V}{R} = \frac{120}{9,6} = 12,5 A$$

SUMBER AC dihubungkan R,L,C



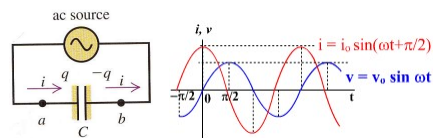
V_R dan I_R sefase

Pada saat V_R
berada di puncak
 I_R juga di puncak.



V_L mendahului I_L
sebesar fase 90°

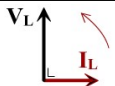
Pada saat V_L
berada di puncak
 I_L tertinggal
sebesar 90°



I_C mendahului V_C
sebesar fase 90°

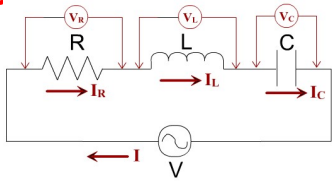
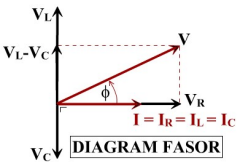
Pada saat I_C
berada di puncak
 V_C tertinggal
sebesar 90°

DIAGRAM FASOR

No	Komponen	Kuantitas komponen	Fase tegangan terhadap arus	Fasor
1	 $V_R = I \cdot R$	R	V_R Sefase I_R	
Resistor R				
2	 $V_L = I \cdot X_L$	$X_L = \omega L$	V_L Mendahului I_L sebesar 90°	
Induktor L				
3	 $V_C = I \cdot X_C$	$X_C = 1/(\omega C)$	V_C Ketinggalan I_C sebesar 90°	
Kapasitor C				

RANGKAIAN SERI R-L-C

- V_L dan V_C menghasilkan $(V_L - V_C)$. Kemudian bergabung dengan V_R menghasilkan resultan tegangan total V yang tidak lain adalah tegangan sumber. Sehingga diperoleh diagram fasor :



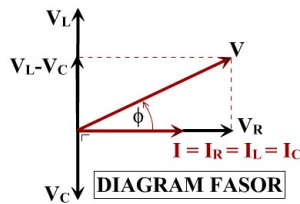
$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$
$$V = \sqrt{(I_R \cdot R)^2 + (I_L \cdot X_L - I_C \cdot X_C)^2}$$
$$V = I \cdot \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I \cdot Z$$

- Sudut fase ϕ adalah sudut antara V dan I sumber, terlihat dari diagram fasor berlaku:

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{I \cdot (X_L - X_C)}{I \cdot R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Impedansi

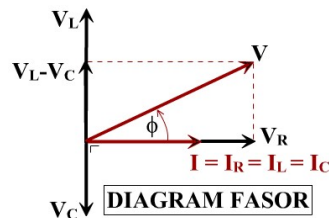


SUDUT FASE

- Pada umumnya pada rangkaian R, L, dan C, antara tegangan dan arus tidak sefase. Sudut yang menyatakan berapa jauh tegangan sumber V tertinggal atau mendahului arus sumber I dinamakan **sudut fase ϕ** .

IMPEDANSI

- Mirip dengan Hukum Ohm, pada rangkaian ac antara tegangan dan arus (sumber) berlaku hubungan:
- $V = I \cdot Z$
- dengan Z adalah **impedansi** rangkaian, dengan satuan ohm.



DAYA LISTRIK AC

- Pada rangkaian ac dengan tegangan sumber V menimbulkan arus sebesar I (arus yang melalui sumber). Jika sudut fase antara V dan I adalah ϕ maka daya yang hilang dalam bentuk panas (daya rangkaian) adalah
 - $P = V I \cos \phi$
 - Besaran $\cos \phi$ dinamakan **faktor daya**.
 - Untuk resistor, faktor daya adalah satu,
 - Untuk induktor dan kapasitor, faktor daya adalah nol, artinya tidak ada daya yang hilang pada induktor dan kapasitor.
 - Dapat juga ditulis daya rangkaian adalah
 - $P = \sum (I_R^2 \cdot R)$
- Artinya bahwa yang menyerap daya listrik pada rangkaian hanya komponen yang bersifat resistor.

RANGKAIAN SERI R-L-C

- Tinjau suatu rangkaian seri R, L, dan C yang dihubungkan dengan sumber tegangan ac.
- Besarnya arus yang melalui komponen-komponen seri adalah sama,
- Sedangkan penjumlahan total tegangannya (secara vektor) adalah sama dengan tegangan sumber.
- Pedoman dalam membuat diagram fasor,
 I_R dan V_R selalu digambarkan sefase
 V_L selalu digambarkan mendahului 90° terhadap I_L ,
 V_C selalu digambarkan ketinggalan 90° terhadap I_C .

3. Sebuah rangkaian seri R-L-C, memiliki $R = 100 \text{ ohm}$, $L = 0,1 \text{ H}$, dan $C = 20 \text{ }\mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber ac: 220 V , 50 Hz . Tentukan:

- arus rangkaian
- daya yang hilang
- sudut fase antara arus dengan tegangan induktor

4. Sebuah sumber ac: 120 V, 60 Hz, dihubungkan resistor 800 ohm dengan kapasitor secara seri. Ternyata tegangan pada resistor adalah 102 V.

- Tentukan tegangan pada kapasitor !
- Tentukan reaktansi kapasitor !

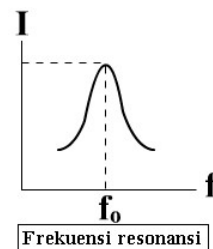
Frekuensi resonansi pada rangkaian seri R-L-C

Pada rangkaian seri R-L-C, jika ditinjau dari pemakaian frekuensi sumber ac ada tiga kemungkinan, yaitu:

1. Saat $X_L = X_C$, terjadi resonansi, dimana impedansi rangkaian mencapai minimum ($Z = R$) dan arus rangkaian mencapai maksimum. Saat resonansi tegangan sefase dengan arusnya, **frekuensi resonansi** adalah

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$



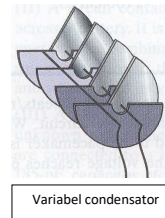
2. **Rangkaian bersifat induktif.** Saat $X_L > X_C$, atau $f > f_o$, tegangan mendahului arus sejauh sudut ϕ .
3. **Rangkaian bersifat kapasitif.** Saat $X_L < X_C$, atau $f < f_o$, arus mendahului tegangan sejauh sudut ϕ .

CONTOH SOAL

- Pada rangkaian *tunning*, diketahui tegangan sumber ac sebesar 1 volt, nilai $R = 500 \text{ ohm}$, $L = 0,4 \text{ mH}$. Ternyata suatu pemancar tertentu terdeteksi pada saat nilai $C = 100 \text{ pF}$.
- Tentukan frekuensi pemancar !
 - Tentukan arus rangkaian *tuning* pada saat resonansi !

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-12}}} = 796 \text{ khz}$$

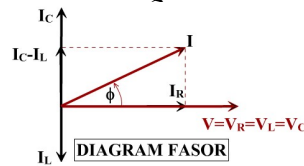
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{R} = \frac{1}{500} = 2 \text{ mA}$$



- Sebuah penerima radio (rangkaian seri R-L-C) menggunakan induktor $L = 1 \mu\text{H}$ pada tegangan sumber 1 V dengan arus 5 mA, digunakan untuk penerima pemancar FM 94,1 MHz. Tentukan nilai R dan C !

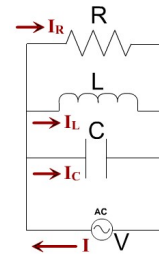
RANGKAIAN PARALEL R-L-C

- Tinjau suatu rangkaian paralel R, L, dan C yang dihubungkan dengan sumber tegangan ac. Besarnya tegangan pada komponen-komponen paralel adalah sama, sedangkan penjumlahan total arusnya (secara vektor) adalah sama dengan arus sumber.



- Sudut fase ϕ adalah sudut antara V dan I sumber, terlihat dari diagram fasor berlaku:

$$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{V}{X_C} - \frac{V}{X_L}}{\frac{V}{R}} = R \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)$$



$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$V = I \cdot Z$$

$$\frac{V}{Z} = \sqrt{\frac{V_R^2}{R^2} + \left(\frac{V_C}{X_C} - \frac{V_L}{X_L} \right)^2}$$

Sehingga impedansi rangkaian sebesar

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2}}$$

8. Sebuah resistor 400 ohm dan sebuah kapasitor 6 μF disambungkan paralel ke sumber ac: 220 V dengan frekuensi sudut 360 rad/s. Tentukan

- arus yang melalui resistor dan kapasitor
- beda fase antara tegangan sumber dan arus pada resistor
- beda fase antara tegangan sumber dan arus pada rangkaian
- faktor daya
- daya rangkaian

TRANSFORMATOR

- Salah satu keuntungan sumber listrik ac (daripada sumber listrik dc) adalah lebih mudah untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik. Dengan memberikan sumber arus ac yang berubah terhadap waktu (ingat prinsip GGL induksi) dapat dihasilkan output tegangan yang dikehendaki. Hal ini tidak dapat dilakukan oleh listrik dc, arus konstan

$V_1 = \text{GGL induksi pada kumparan primer}$

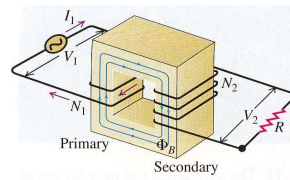
$V_2 = \text{GGL induksi pada kumparan sekunder}$

$$V_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad V_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{Diperoleh : } \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Daya kumparan primer = Daya kumparan sekunder

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$



- Jika $N_2 > N_1$ maka dihasilkan $V_2 > V_1$, artinya tegangan output lebih besar. Hal ini dinamakan **transformator step-up**. Contohnya adalah trafo tegangan tinggi.
- Jika $N_2 < N_1$ maka dihasilkan $V_2 < V_1$, artinya tegangan output lebih kecil. Hal ini dinamakan **transformator step-down**. Contohnya adalah adaptor untuk *charger* handphone.

- Jika kumparan sekunder dihubungkan dengan kabel dengan hambatan total R maka berlaku

$$V_2 = I_2 \cdot R$$



Charger adalah merupakan transformator step-down dan dilengkapi dioda penyearah untuk mengubah menjadi tegangan dc

CONTOH SOAL

Sebuah pembangkit listrik dengan kapasitas daya 120 kW ditransmisikan pada tegangan 24 kV ke kota lain yang berjarak 10 km dengan menggunakan kabel yang memiliki hambatan total 0,4 ohm.

- Tentukan daya listrik yang hilang pada transmisi tersebut !
- berapa prosentasi kerugiannya !

$$i = \frac{P}{V} = \frac{120000}{24000} = 5 A$$

Daya listrik yang hilang :

$$P = i^2 \cdot R = 25 \cdot 0,4 = 10 W$$

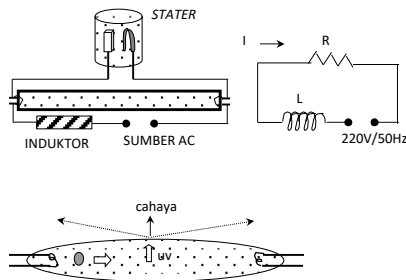
Prosentasi kerugian :

$$\frac{P}{P_o} \times 100\% = \frac{10}{120000} \times 100\% = 0,008\%$$

Jika ditransmisikan pada tegangan lebih rendah, misalnya 240 V maka arus transmisinya menjadi lebih besar, yaitu 500 A. Daya listrik yang hilang 100 kW, suatu kerugian daya yang besar sekitar 80%. Sehingga dibutuhkan transformator step-up untuk menaikkan tegangan sebelum ditransmisikan ke kota yang jauh.

LAMPU TL

- Untuk menyalakan lampu TL atau lampu neon harus dilengkapi dengan induktor yang dinamakan **balast**. Fungsi dari induktor sebagai pembatas arus agar lampu neon dapat nyala dengan baik pada arus yang lebih dikehendaki.
- Rangkaian lampu TL adalah rangkaian seri R-L yang dihubungkan dengan sumber ac. Lampu berperan sebagai resistor yang memiliki hambatan tertentu tergantung dari banyaknya atom gas yang berhasil terionisasi dan balast sebagai induktornya.

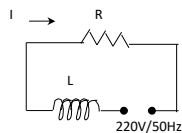


Lampu TL dilengkapi *starter* untuk mempercepat ionisasi gas di dalam lampu. Gas yang terionisasi menjadi penghantar, timbul arus, dan terjadi tumbukan antara elektron dengan atom gas Ne. Tingkat energi atom gas akan naik dan segera kembali ke tingkat stabilnya sambil memancarkan sinar ultra violet menembus dinding kaca lampu yang dilapisi serbuk fosfor. Sinar ultra violet yang mengenai dinding lampu akan berpendar (efek fluoresensi) memancarkan cahaya putih

Contoh Soal

Sebuah lampu neon dinyalakan pada tegangan ac: 220V/50 Hz. Diketahui pada saat menyala tegangan pada lampu adalah 160V dan arus yang melalui rangkaian adalah 160 mA. Tentukan:

- hambatan pada lampu pada saat menyala !
- induktansi balast
- faktor daya rangkaian
- daya rangkaian



Cara lain :

$$P = I_R^2 \cdot R = 0,16^2 \cdot 1000 = 25,6 \text{ W}$$

Hambatan

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{160}{0,16} = 1000 \text{ ohm}$$

$$V^2 = V_R^2 + V_L^2$$

$$220^2 = 160^2 + V_L^2$$

$$V_L = 151 \text{ Volt}$$

$$V_L = I \cdot X_L \Rightarrow 151 = 0,16 \cdot X_L$$

$$X_L = 943,75 \text{ ohm}$$

$$\text{Induktansi } L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{943,75}{2\pi \cdot 50} = 3 \text{ H}$$

$$\text{Faktor daya : } \cos \phi = \frac{V_R}{V} = \frac{160}{220} = 0,73$$

$$\begin{aligned} \text{Daya : } P &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ &= 220 \cdot 0,16 \cdot 0,73 = 25,7 \text{ W} \end{aligned}$$

SOAL – SOAL h. 99-100

1. Suatu generator menghasilkan tegangan 500V. Kemudian tegangan dinaikkan menjadi 5 KV dengan menggunakan transformator ideal sehingga diperoleh arus primer sebesar 10A. Kemudian listrik ditransmisikan melalui kabel panjang yang memiliki hambatan total 50 ohm.
 - Tentukan prosentasi daya listrik yang hilang jika tegangan tidak dinaikkan (tidak menggunakan trafo step up)
 - Tentukan prosentasi daya listrik yang hilang jika tegangan dinaikkan (menggunakan trafo step up)

3. Sebuah rangkaian seri R-L-C, memiliki $R = 100 \text{ ohm}$, $L = 0,1 \text{ H}$, dan $C = 20 \text{ }\mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber ac: 220 V , 50 Hz . Tentukan:

- arus rangkaian
- daya yang hilang
- sudut fase antara arus dengan tegangan induktor

4. Sebuah sumber ac: 120 V , 60 Hz , dihubungkan resistor 800 ohm dengan kapasitor secara seri. Ternyata tegangan pada resistor adalah 102 V .

- Tentukan tegangan pada kapasitor !
- Tentukan reaktansi kapasitor !

5. Sebuah travo 'step-down' (dianggap ideal) bekerja pada jaringan 2,5 kV (tegangan primer) dan dapat memberi arus 80 A (arus sekunder). Perbandingan lilitan pada kumparan primer dan sekunder adalah 20:1. Tentukan :

- tegangan sekunder
- arus primer
- daya dari travo tersebut

7. Sebuah lampu neon dinyalakan pada tegangan ac: 220V/50 Hz. Diketahui pada saat menyala hambatan pada lampu adalah 160 ohm. Jika daya rangkaian adalah 40 W. Tentukan:

- arus rangkaian
- tegangan pada lampu
- tegangan pada balast
- induktansi balast
- faktor daya

8. Sebuah resistor 400 ohm dan sebuah kapasitor 6 μF disambungkan paralel ke sumber ac: 220 V dengan frekuensi sudut 360 rad/s. Tentukan

- arus yang melalui resistor dan kapasitor
- beda fase antara tegangan sumber dan arus pada resistor
- faktor daya
- daya rangkaian

8. Pada sebuah rangkaian R-L-C seri, tegangan sumber tertinggal 54° terhadap arus sumber. Reaktansi kapasitor 350 ohm dan hambatan $R = 180$ ohm. Daya rata-rata yang diberikan oleh sumber adalah 140 W. Tentukan:

- reaktansi induktor
- arus rangkaian
- tegangan sumber

12. Sebuah penerima radio (rangkaiian seri R-L-C) menggunakan induktor $L = 1 \mu\text{H}$ pada tegangan sumber 1 V dengan arus 5 mA, digunakan untuk penerima pemancar FM 94,1 MHz. Tentukan nilai R dan C !

14. Sebuah induktor dirangkai seri dengan hambatan 48 ohm. Pada frekuensi 80 Hz tegangan yang melalui induktor mendahului $52,3^\circ$ terhadap arusnya. Tentukan nilai induktansi dari induktor tersebut !