

LISTRIK MAGNET
“INDUKSI ELEKTROMAGNETIK”



DISUSUN OLEH:

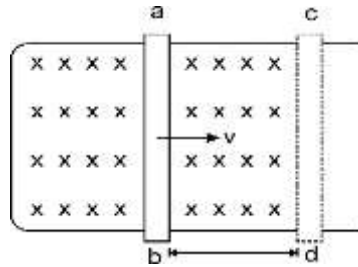
- 1. HARJUANDI (E1Q012014)**
- 2. LALU MULIYADI (E1Q012021)**
- 3. PUTRI IMAN SARI (E1Q012043)**
- 4. SUKMAWANDI RAHMAT (E1Q012060)**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS MATARAM

2014

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

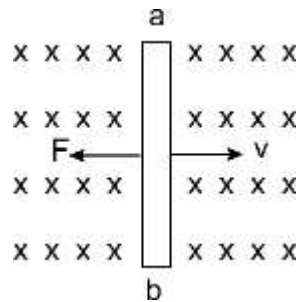
A. GAYA GERAK LISTRIK



Gambar 1.1

Medan magnet homogeny dengan rapat garis gaya B , dengan arah tegak lurus masuk menuju bidang kertas. Kawat pengantar ab dapat digerakkan bebas ke kiri ataupun ke kanan. Bila pengantar ab digerakkan dengan kecepatan v , sejauh s , maka selama terjadi perpindahan ini akan terjadi perubahan jumlah garis gaya yang dilingkupi oleh rangkaian $abcd$, sehingga akan timbul arus induksi.

Arah arus listriknya dari b ke a , dapat ditunjukkan dengan hukum Lenz.



Gambar 1.2

Karena arah B ke dalam atau masuk tegak lurus bidang kertas, arah v ke kanan maka muatan positif yang ada pada batang ab mendapatkan gaya ke atas dan muatan negatif mendapatkan gaya ke bawah, sesuai dengan gaya *Lorentz*. Arah arus listrik sesuai dengan muatan positif, jadi arus listriknya dari b ke a .

Oleh karena arus listriknya dari b ke a maka akan timbul pula gaya *Lorentz* F yang arahnya ke kiri, ini dapat dicari dengan aturan tangan kanan.

Besar gaya Lorentz tersebut adalah:

$$F = B i l$$

Misalkan pengantar ab berpindah sejauh s dengan kecepatan v dalam selang waktu t . Maka usaha yang diperlukan untuk perpindahan itu adalah:

$$W = -Fs$$

F bertanda negatif karena berlawanan dengan arah gerak pengantar ab . Dalam hal ini $-FS$ yang menurut hukum kekekalan energi telah berubah menjadi energi listrik yaitu:

$$W = i \varepsilon t$$

Dari hukum kekekalan energi tersebut maka:

$$i \varepsilon t = -FS$$

$$i \varepsilon t = -B i l s$$

$$\varepsilon = -\frac{B l s}{t}$$

Karena $\frac{s}{t}$ sama dengan v maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi

$$\varepsilon = -B l v$$

B. HUKUM FARADAY

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya arus listrik akibat adanya perubahan fluks magnetik. Fluks magnetik adalah banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang.

Persamaan ggl imbas elektromagnetik dirumuskan:

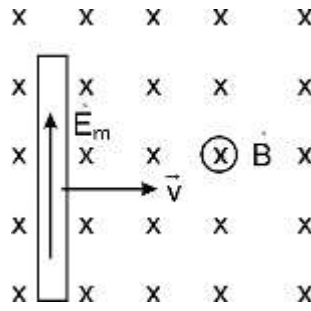
$$\varepsilon_{\text{imb}} = \frac{d\Phi}{dt}$$

Bila berupa kumparan dengan N lilitan maka GGL induksi yang timbul menjadi

$$\varepsilon_{\text{imb}} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Tanda negatif menunjukkan persesuaian arah dengan hukum Lenz.

Dari sebuah percobaan yang dilakukan oleh Faraday, batang konduktor yang digerakkan dengan kecepatan \vec{v} tegak lurus arahnya pada medan magnet \vec{B} yang seragam. Muatan bebas q di dalam konduktor mengalami gaya $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ akibat bergeraknya batang konduktor di bawah ini.



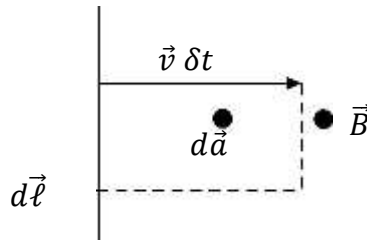
Gambar 1.3

Muatan positif mengalami gaya $F = qvB$ dan terkumpul menuju ujung batang atas. Gerak perpindahan muatan ini, terjadi akibat adanya elektromotif $E_m = \frac{F}{q} = vB$ atau secara vektor ditulis $\vec{E}_m = \vec{v} \times \vec{B}$. Gaya gerak listrik imbas pada elemen $d\vec{\ell}$ dari konduktor dirumuskan:

$$d\varepsilon = \vec{E}_m \cdot d\vec{\ell} = \vec{v} \times \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = -\vec{B} \cdot \vec{v} \times d\vec{\ell}$$

Dalam selang waktu δt , elemen konduktor $d\vec{\ell}$ mengalami perpindahan sejauh $v\delta t$ sehingga luas daerah pada Gambar 1.2 adalah $d\vec{a} = (\vec{v} \delta t \times d\vec{\ell})$, sehingga diperoleh

$$d\varepsilon = -\frac{1}{\delta t} (\vec{B} \cdot d\vec{a})$$



Gambar 1.4

Karena ada rangkaian tertutup dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka ggl total yang ditimbulkan pada lingkaran adalah

$$\varepsilon = \oint d\varepsilon = -\frac{1}{\delta t} (\vec{B} \cdot d\vec{a}) = \frac{\delta\Phi}{\delta t}$$

Di mana $\varepsilon \oint \vec{B} \cdot d\vec{a}$ merupakan netto fluks magnet yang melewati permukaan, terbentuk oleh perubahan luas lingkaran dalam selang waktu δt

Untuk selang waktu yang sangat pendek, ggl imbas ditulis $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$, dimana fluks magnet dari \vec{B} melewati seluruh rangkaian tertutup.

Dalam bentuk perumusan umum ggl imbas dinyatakan dengan

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ atau}$$

$$\varepsilon = \int_s \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{a} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{a} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (bentuk persamaan diferensial Faraday).

Jika \vec{B} =konstan, maka $\int_s \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{a} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$ (medan elektrostatis)

Berdasarkan hukum Biot – Savart bahwa

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j} \times \hat{r}_o}{r^2} d\tau$$

Sehingga medan listrik \vec{E} (hukum Faraday murni) menjadi

$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \times \hat{r}_o}{r^2} d\tau = \frac{d}{dt} \left\{ -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{B} \times \hat{r}_o}{r^2} d\tau \right\}$$

Dengan pertolongan rumus

$$\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{B} \times \hat{r}_o}{r^2} d\tau$$

Maka perumusannya menjadi

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

dan lengkapnya

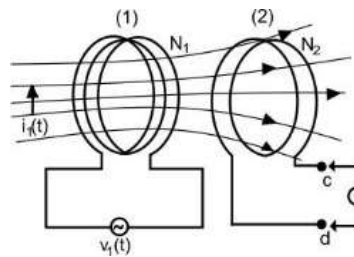
$$\vec{E} = -\nabla V = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

C. INDUKTANSI

Suatu komponen yang banyak digunakan dalam arus bolak-balik ialah inductor. Kebanyakan inductor terbuat dari kawat yang dililitkan sehingga berbentuk solenoida. Induktor dihubungkan parallel dengan kapasitor dengan membentuk suatu rangkaian yang resonan. Kombinasi ini digunakan untuk menerima gelombang radio dan frekuensi tertentu. Rangkaian semacam ini kita jumpai pada setiap pesawat radio ataupun pesawat televisi

1. Induktansi Bersama

Andai kita mempunyai dua cincin atau dua kawat dan kita letakkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1.5 Dua cincin kawat. Cincin (1) dialiri arus $i_1(t)$

Kumparan (1) kita aliri arus $i_1(t)$ yang berubah dengan waktu. Sebagian fluks magnet dihasilkan i_1 menembus cincin kawat (2). Misalkan fluks magnet oleh i_1 yang diterima tiap lilitan pada loop (2) adalah ϕ_{21} . Karena i_1 berubah dengan waktu, fluks ϕ_{21} berubah dengan waktu pula. Menurut hukum induksi Faraday, pada kedua ujung loop (2) terjadi gaya gerak listrik imbas

$$\varepsilon_{21} = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

GGL imbas ini dapat diukur dengan voltmeter yang dipasang antara ujung c dan d pada kumparan (2) seringkali kita tahu perubahan arus $\frac{di_1}{dt}$, dan kita ingin menyatakan GGL imbas pada kumparan (2) oleh arus pada kumparan (1) yaitu ε_{21} terhadap $\frac{di_1}{dt}$.

$$\varepsilon_{21} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{di_1} \frac{di_1}{dt} = -N_2 \frac{\Phi_{21}}{i_1} \frac{di_1}{dt}$$

Karena Φ_{21} sebanding dengan arus i_1 , maka

$$\frac{d\Phi_{21}}{di_1} = \frac{\Phi_{21}}{i_1}$$

Kita definisikan induktansi bersama (*mutual inductance*) sebagai

$$M_{21} = N_2 \frac{\Phi_{21}}{i_1}$$

Sehingga hubungan diatas menjadi

$$\varepsilon_{21} = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Induktansi bersama, M_{21} memberikan gaya gerak listrik imbas pada kumparan (2) bila pada kumparan (1) ada arus yang berubah dengan laju $\frac{di_1}{dt}$.

Satuan induktansi dalam sistem satuan mks atau SI ialah *henry* (H). Kita dapat mendefinisikan induktansi bersama sebagai

$$M_{21} = N_2 \frac{\Phi_{21}}{i_1} \quad ,$$

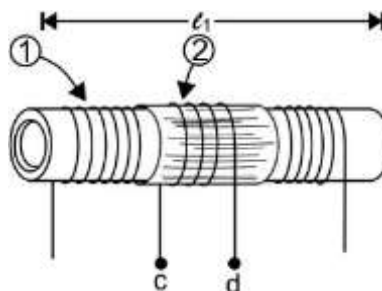
yaitu yang memberi hubungan antara ggl imbas pada kumparan (1) karena pada kumparan (2) arus berubah dengan laju $\frac{di_2}{dt}$. hubungan ini adalah

$$\varepsilon_{21} = -M_{21} \frac{di_2}{dt}$$

Dapat ditunjukkan bahwa secara umum induktansi bersama $M_{12} = M_{21} = M$.

Contoh soal

Kumparan (1) dililitkan pada sebuah batang silinder berisi udara. Di bagian tengah kumparan (1) dililitkan kumparan (2) seperti pada gambar berikut.



Gambar kumparan 1.6 (2) dililitkan pada bagian tengah kumparan (1)

Misalkan lilitan pada kumparan (1) adalah $N_1=20$ lilitan, panjang kumparan $l_1=10$ cm, dan luas penampang kumparan $A=3$ cm². Kumparan (2) mempunyai lilitan sebanyak $N_2=5$ lilitan.

- Hitunglah induktansi bersama antara kumparan (1) dan (2)
- Bila pada kumparan (1) dialiri arus $i_1(t) = 2 \cos 100 t$, hitunglah beda tegangan antara kedua ujung kumparan (2)

Jawab:

- Bila kumparan (2) terpusatkan pada bagian tengah kumparan (1), induktansi magnet B_1 oleh arus i_1 adalah

$$B_1 = \mu_0 \frac{N_1 i_1}{l_1}$$

Fluks induksi magnet yang masuk dalam kumparan (2) adalah

$$\Phi_{21} = AB_1 = \mu_0 \frac{N_1 i_1}{l_1} A$$

Induktansi bersama antara kedua kumparan adalah

$$\begin{aligned} M_{12} &= N_2 \frac{\Phi_{12}}{i_1} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 i_1}{l_1} A \\ &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{20 \times 5}{0.1} \times 3 \times 10^{-4} \\ &= 0.04 \times 10^{-6} H \\ &= 0.04 \mu H \end{aligned}$$

- Bila pada kumparan (1) ada arus $i_1(t)$, maka pada kumparan (2) timbul ggl.

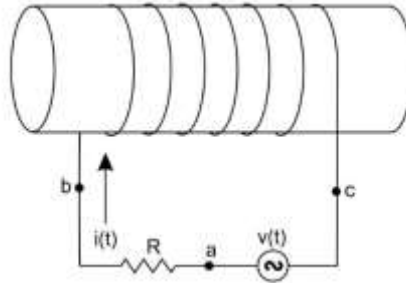
$$V_{cd} = \varepsilon_{21} = -M \frac{di_1}{dt}$$

Bila $i_1(t) = 2 \cos 100 t$, maka

$$\begin{aligned} V_{cd} &= -(0.04 \times 10^{-6})(2)(100)(-\sin 100 t) \\ &= 8 \times 10^{-6} \sin 100 t \text{ Volt} \\ &= 8 \sin 100 t \mu V \end{aligned}$$

2. Induktansi Diri

Kita tinjau sebuah kumparan atau gulungan kawat terdiri dari N buah lilitan. Misalkan pada kawat dialirkan arus $i(t)$ yang berubah dengan waktu. Agar lebih jelas, perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 1.7 Kumparan dialiri arus $i(t)$

Karena fluks induksi magnet Φ dalam kumparan berubah dengan waktu,

$$\varepsilon' = -N \frac{d\Phi}{dt}(t)$$

Seperti halnya induksi antara dua kumparan, seringkali kita ingin menyatakan ggl imbas terhadap perubahan arus $\frac{di}{dt}$.

Dalam hal ini persamaan 5-19 dapat kita tuliskan sebagai $\varepsilon' = -N \frac{d\varphi}{di} \frac{di}{dt}$. Kita definisikan induktansi diri sebagai

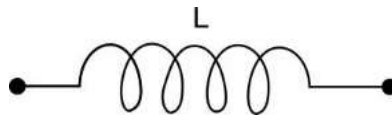
$$L = N \frac{d\varphi}{di}$$

Dalam hal fluks φ sebanding dengan i , $\frac{d\varphi}{di} = \frac{\varphi}{i}$, maka induktansi

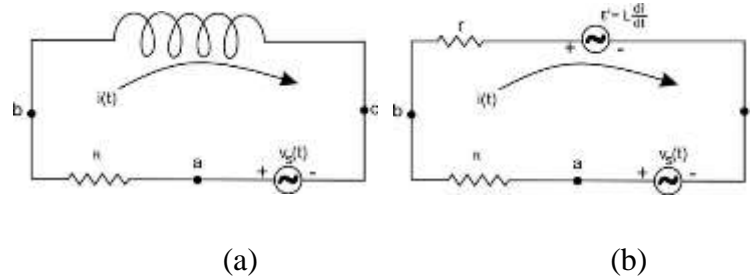
$$L = N \frac{\varphi}{i}$$

Satuan untuk induktansi diri sama dengan induktansi bersama yaitu *henry* (H). Suatu kumparan yang dibuat agar mempunyai harga induktansi tertentu disebut *induktor*.

Dalam diagram rangkaian, induktor dilukiskan dengan simbol seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1.8 Simbol induktor dalam rangkaian L adalah harga induktansi induktor



Gambar 1.9 (a) rangkaian seri RL dan (b) rangkaian ekivalen

Bila kita mempunyai rangkaian seperti pada gambar (a), maka bila hambatan pada kawat lilitan adalah r , kita dapat melukiskan rangkaian ini dengan diagram seperti pada gambar (b). Kita dapat menggunakan hukum kirchoff untuk menentukan persamaan arus dalam rangkaian sebagai berikut :

Dalam loop berlaku $\sum \varepsilon = \sum i R$

$$V_s(t) - \varepsilon^1 = i \times R + i \times r$$

Dimana GGL imbas $\varepsilon^1 = L \frac{di}{dt}$

$$V_s(t) = L \frac{di}{dt} i(R + r)$$

Contoh soal

Sebuah induktor terbuat dari kumparan kawat dengan 50 buah lilitan. Induktor berisi udara. Bila panjang kumparan $l=5$ cm dan luas penampang $A= 1 \text{ cm}^2$ serta permeabilitas vakum $\mu_0=4\pi \times 10^{-10}$ SI

Hitunglah

- Induktansi inductor bila kumparan kosong (berisi udara)
- Induktansi bila kumparan diisi bahan ferit dengan permeabilitas relative $K_m = 500$

Anggaplah induktansi magnet B dalam kumparan serba sama

Jawab

- a. Bila induksi magnet B dalam kumparan dapat dianggap serba sama (penyebaran garis induksi pada ujung kumparan diabaikan) maka

$$B = \mu_0 \frac{N i}{l}$$

Fluks induksi magnet

$$\Phi = BA = \mu_0 \frac{N i}{l} A$$

Induktansi diri

$$L = N \frac{\Phi}{i} = \mu_0 \frac{N^2}{l} A$$

- b. Bila kumparan diisi ferit dengan permeabilitas $K_m=500$, maka

$$L = K_m \mu_0 \frac{N^2}{l} A = K_m L_0$$

Dimana L_0 adalah induktansi kumparan kosong, jadi bila diisi ferit

$$L = 500L_0$$

$$= (500)(6.28)\mu H = 3.14 mH$$

DAFTAR PUSTAKA

Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar: Listrik, Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB.

Loeksmanto, Waloejo. 1993. *Medan Elektromagnetik*. Bandung: ITB.

Dapatkan Makalah lainnya di <https://hanyasetengah.blogspot.com>

MyContact:

Email | sukmawandi1994@gmail.com

Facebook | *Sukmawandi Rahmat*

Twitter | [@Andhy_SN](#)

Youtube | *S-NOAH* dan *SR-Project*