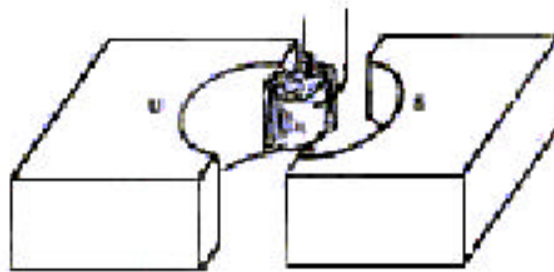




# DASAR KEMAGNETAN

ELK-DAS.21

20 JAM



Penyusun :

TIM FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
EDISI 2001



## KATA PENGANTAR

Modul dengan judul “**DASAR KEMAGNETAN**” merupakan bahan ajar yang digunakan sebagai panduan praktikum peserta diklat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) untuk membentuk salah satu bagian dari kompetensi Penerapan Konsep Dasar Elektro pada Bidang Keahlian Teknik Elektro

Modul ini menekankan pada pengetahuan tentang konsep kemagnetan terutama yang berkaitan dengan kelistrikan. Kegiatan Belajar 1 dalam modul ini merupakan pemahaman mengenai magnetostatika dan tentang induksi magnet serta pengaruhnya terhadap medan magnet. Kegiatan Belajar 2 memuat penjelasan tentang sifat-sifat kemagnetan beserta lengkung histerisis. Pada Kegiatan Belajar 4 diberikan uraian mengenai pengaruh arus listrik yang melewati penghantar terhadap besarnya kuat medan magnet. Selanjutnya, pada Kegiatan Belajar 4 merupakan uraian mengenai gaya elektromagnetik beserta contoh-contoh penerapannya.

Modul ini terkait dengan modul lain yang membahas ilmu bahan, fisika, dan dasar elektrostatika, sehingga sebelum menggunakan modul ini peserta diklat diwajibkan telah memahami bahasan-bahasan tersebut.

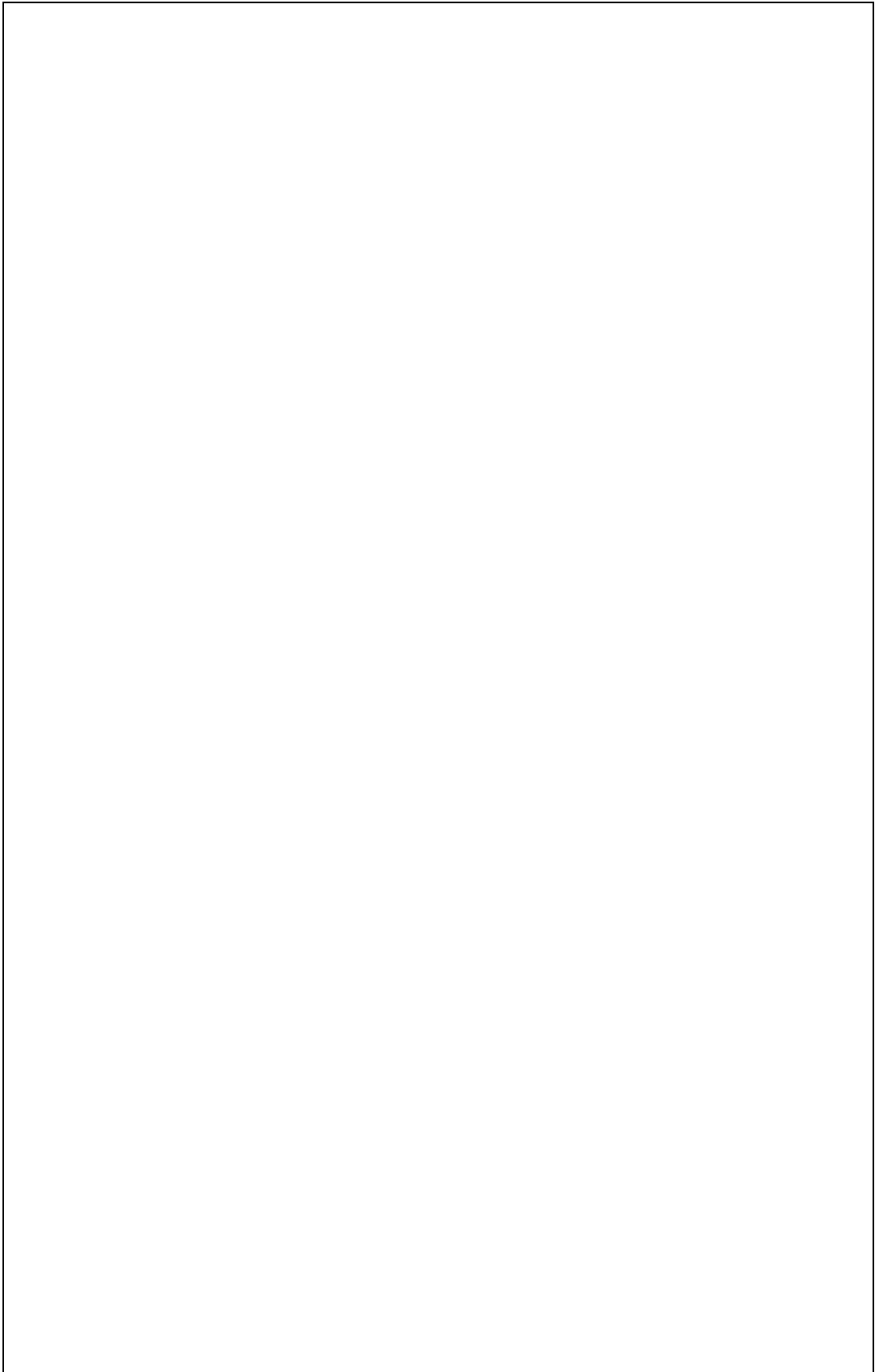
Yogyakarta, Nopember 2001

Penyusun.  
Tim Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Yogyakarta

## DESKRIPSI MODUL

**DASAR KEMAGNETAN** merupakan modul praktikum berisi tentang pengetahuan dan pemahaman konsep kemagnetan terutama yang berkaitan dengan kelistrikan serta beberapa contoh penerapan dari gaya Lorentz dalam bidang teknik.

Modul ini terdiri dari 4 (empat) kegiatan belajar, antara lain Kegiatan Belajar 1 tentang magnetostatika yang didalamnya mencakup besaran-besaran kemagnetan beserta rumus-rumusnya termasuk pengukuran fluks dan kerapatan fluks magnet, Kegiatan Belajar 2 tentang medium magnet yang didalamnya meliputi teori atomik kemagnetan, paramagnetik, diamagnetik, ferromagnetik dan pengukuran langsung histeresis dengan CRO serta X-Y recorder, Kegiatan Belajar 3 tentang kemagnetan listrik yang membahas rumus Biot-Savart, rumus untai magnet, persamaan Maxwell IV, medan magnet kumparan selenoidal dan kumparan toroidal dan kemagnetan dan saklar magnet (magnetic contactor) dan Kegiatan Belajar 4 tentang gaya elektromagnetik yang didalamnya mencakup gaya Lorentz dan penerapannya, rumus Ampere untuk gaya antara arus-arus listrik dan satuan kuat arus listrik Ampere Absolut. Dengan menguasai modul ini diharapkan peserta diklat dapat memahami dan menerapkan konsep kemagnetan terutama yang berkaitan dengan kelistrikan.



## PRASYARAT

Untuk melaksanakan modul **DASAR KEMAGNETAN** memerlukan kemampuan awal yang harus dimiliki siswa, yaitu :

- Peserta diklat telah memahami kajian tentang ilmu bahan dan fisika, serta dasar elektrostatika.
- Peserta diklat telah menguasai tentang penggunaan alat CRO, X–Y recorder, dan miliweber meter..
- Peserta diklat dapat menggunakan amperemeter DC dan amperemeter AC.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DESKRIPSI JUDUL .....	iii
PETA KEDUDUKAN MODUL .....	iv
PRASYARAT .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
PERISTILAHAN/ GLOSSARY .....	viii
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL .....	ix
<b>TUJUAN</b> .....	<b>x</b>
1... Tujuan Akhir .....	x
2. Tujuan Antara .....	x
<b>KEGIATAN BELAJAR 1</b> .....	<b>1</b>
Lembar Informasi .....	1
Lembar Kerja .....	3
Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	4
Langkah Kerja .....	4
Lembar Latihan .....	6
<b>KEGIATAN BELAJAR 2</b> .....	<b>7</b>
Lembar Informasi .....	7
Lembar Kerja .....	13
Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	14
Langkah Kerja .....	14
Lembar Latihan .....	18
<b>KEGIATAN BELAJAR 3</b> .....	<b>19</b>
Lembar Informasi .....	19
Lembar Kerja .....	29
Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	29

Langkah Kerja .....	30
Lembar Latihan .....	33
<b>KEGIATAN BELAJAR 4 .....</b>	<b>34</b>
Lembar Informasi .....	34
Lembar Kerja .....	48
Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	48
Langkah Kerja .....	48
Lembar Latihan .....	50
<b>LEMBAR EVALUASI .....</b>	<b>51</b>
<b>LEMBAR KUNCI JAWABAN .....</b>	<b>52</b>
Kunci Jawaban Kegiatan Belajar 1 .....	52
Kunci Jawaban Kegiatan Belajar 2 .....	52
Kunci Jawaban Kegiatan Belajar 3 .....	52
Kunci Jawaban Kegiatan Belajar 4 .....	53
Kunci Jawaban Lembar Evaluasi .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



## PERISTILAHAN / GLOSSAARY

1. Magnetostatika : kemagnetan statis (diam).
2. Paramagnetisme : bahan yang bersifat memperkuat medan magnet.
3. Diamagnetisme : bahan yang bersifat memperlemah medan magnet.
4. Ferromagnetisme : bahan yang bersifat mudah dijadikan magnet.
5. Magnetic Contactor : saklar magnet.

## **PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL**

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mempelajari modul ini :

1. Bacalah lembar informasi pada setiap kegiatan belajar dengan seksama.
2. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan pada setiap kegiatan belajar.
3. Lakukan pengamatan pada setiap kegiatan belajar dengan teliti.
4. Rakitlah setiap komponen sesuai diagram rangkaian yang diberikan pada setiap kegiatan belajar.
5. Ceklah kembali rangkaian yang sudah dibuat.
6. Konsultasikan rangkaian kepada instruktur sebelum dihubungkan ke sumber tegangan.
7. Hati-hatilah selama melakukan percobaan.
8. Kembalikan semua peralatan praktik yang digunakan.

## TUJUAN

### 1. Tujuan Akhir

Dengan mempelajari modul ini diharapkan siswa dapat menerapkan konsep kemagnitan terutama yang berkaitan dengan kelistrikan dengan benar.

### 2. Tujuan Antara

- Siswa mampu menjelaskan tentang induksi magnet dan juga pengaruhnya terhadap medan magnet listrik dengan benar.
- Siswa mampu menggunakan beberapa macam alat untuk mengukur lengkung histerisis dengan benar.
- Siswa dapat menjelaskan pengaruh besarnya arus listrik yang melewati penghantar terhadap besarnya kuat medan magnet dengan benar.
- Siswa dapat menjelaskan pengaruh besarnya arus dan panjang penghantar terhadap besarnya gaya Lorentz dari kawat berarus yang berada dalam medan magnet dengan benar.

## KEGIATAN BELAJAR 1

# MAGNETOSTATIKA

### Lembar Informasi

Pengetahuan kemagnetan diawali dengan pengamatan terhadap serpihan batuan biji besi yang jika digantungkan secara bebas akan selalu menunjuk ke utara – selatan. ujung yang menunjuk ke utara disebut kutub utara dan yang lainnya disebut kutub selatan. Kutub-kutub magnet itu bisa dikatakan sebagai muatan-muatan magnet yang sejalan dengan muatan-muatan listrik. Bedanya, kutub magnet selalu berada dalam pasangan sehingga selalu dalam wujud dipool-dipool magnet, yakni tidak pernah satu jenis kutub magnet berada sendirian.

Hukum Coulomb berlaku juga untuk gaya antara kutub-kutub magnet, karena hukum-hukum coulomb dalam elektrostatika merupakan hukum dasar. Berlakunya hukum coulomb dalam magnetostatika akan mengakibatkan analogi yang meluas antara magnetostatika dan elektrostatika, di mana semua rumus elektrostatika yang langsung terjabarkan dari hukum coulomb dapat langsung diambil analoginya dalam magnetostatika, seperti dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analogi rumus elektrostatis dalam magnetostatika

Elektrostatika		Magnetostatika	
Hukum coulomb	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon r^2}$	Hukum coulomb	$F_m = \frac{P_1 P_2}{4\pi \mu r^2}$
Muatan listrik	q	Kutub magnet	P
Permittivitas	$\epsilon$	Permeabilitas	$\mu$
Suseptibilitas elektrik	$\chi$	Suseptibilitas magnetik	$\chi_m$
Polarisasi	$P = \epsilon_0 \chi E$	Magnetisasi	$M = \mu_0 \chi_m H$
Kuat medan listrik	$\vec{E}$	Kuat medan magnet	$\vec{H}$
Induksi elektrik	$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$	Induksi magnetik	$\vec{B} = \mu \vec{H}$
Momen dipol listrik	$\vec{p} = ql$	Momen dipool magnet	$\vec{m} = pi$
	$\vec{t} = p \times \vec{E}$		$\vec{t} = p \times \vec{H}$
	$V = -p \cdot \vec{E}$		$V_m = -m \cdot \vec{H}$
	$\vec{F} = (p \text{ grad.}) \vec{E}$		$\vec{F}_m = (m \text{ grad.}) \vec{H}$
Theorema gauss Persamaan Maxwell I	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = q / \epsilon$ $\text{div.} \vec{D} = q$	Theorema gauss Persamaan Maxwell II	$\oint \vec{H} \cdot d\vec{a} = 0$ $\text{div.} \vec{B} = 0$

Dari tabel di atas terlihat bahwa theorema Gauss dan persamaan Maxwell untuk magnetostatika adalah nol, karena muatan magnet, yaitu kutub magnet selalu berpasangan dalam wujud dipool sehingga total muatan magnet selalu nol.

Di dalam medium dengan kondisi  $\mu > \mu_0$  (untuk magnetostatika) jika permeabilitas magnetnya ( $\mu$ ) besar maka gaya coulomb  $F_m$  juga besar, sedangkan di dalam medium dengan kondisi  $\epsilon > \epsilon_0$  (untuk elektrosatika) jika permitifitasnya ( $\epsilon$ ) besar maka gaya coulomb  $F$  akan lebih kecil. Hal ini dapat diterangkan berdasarkan hipotesis bahwa besarnya muatan magnet atau kutub magnet  $p$  lebih besar di dalam

medium yang permeabilitasnya lebih besar, misalnya dengan menyatakan

$$p = (\mu/\mu_0)P_0$$

di mana  $\mu_0$  ialah permeabilitas vakum dan  $p_0$  adalah kuat kutub yang seandainya berada di dalam vakum, yang mengakibatkan :

$$F_m = (\mu/\mu_0)F_{m0}$$

Di mana  $F_{m0}$  merupakan  $F_m$  yang berada di dalam vakum, hal tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa  $F_m$  sebanding dengan permeabilitas  $\mu$ .

Muatan magnet  $p$  dapat berubah dengan medium yang berbeda, lain halnya dengan muatan listrik  $q$  yang tidak tergantung pada jenis medium, tetapi hal ini tak berpengaruh sebab muatan magnet itu secara material tidak ada, karena dipool magnet itu sebenarnya adalah arus melingkar saja, seperti yang ditimbulkan oleh Bergeraknya elektron mengelilingi inti atom, sehingga di dalam medium yang permeabilitasnya lebih besar, arus melingkar itu akan menghasilkan momen dipool magnet yang lebih besar, yang seolah-olah muatan magnet itu menjadi terpolarisasi.

## LEMBAR KERJA

### Alat dan bahan

1. Amperemeter DC 0 – 1000 mA..... 1 buah
2. Amperemeter AC 0 – 1000 mA..... 1 buah
3. Multimeter ..... 1 buah
4. Mili Weber (Flukmeter) 75 mWb..... 1 buah
5. Transformator step down 220 V – 220 V – 12 V..... 1 buah
6. Rheostat 10.000  $\Omega$ ..... 1 buah
7. Rheostat 500  $\Omega$  ..... 1 buah
8. Beberapa macam Search Coil ..... 3 buah
9. Magnetic Contactor ..... 2 buah
10. Power Supply 0 – 25 Volt..... 1 buah
11. Variac 0 – 250 Volt..... 1 buah

12. Togel Switch..... 1 buah

13. Bok dan kabel penghubung..... secukupnya

### **Kesehatan dan keselamatan kerja**

1. Ikutilah langkah-langkah kerja sesuai dengan yang ditentukan dalam kegiatan belajar ini.
2. Sesuaikan batas ukur dari alat ukur yang akan digunakan.
3. Lakukan lah praktik dengan cermat dan ujilah data yang anda peroleh dengan perhitungan secara teoritis, apakah sudah mendekati kebenaran atau ada kejanggalan.
4. Tanyakan pada instruktur jika menemui masalah.
5. hati-hati dalam melakukan praktek.

### **Langkah Kerja**

#### **Percobaan I**

1. Ambil sebuah search coil, catat jumlah lilitannya beserta luas efektifnya atau luas penampang coil yang tertera pada search coil.
2. Rangkailah seperti pada Gambar 1 di bawah ini:



**Gambar 1. Rangkaian Pengukuran Search Coil**

3. Tekan tombol yang bersimbol (  $\rightarrow$  ) dan atau (  $\leftarrow$  ) untuk mengatur kedudukan jarum agar pas di tengah.
4. Masukkan batang magnet ke dalam atau dekatkan search coil tersebut, jarum akan menyimpang menunjukkan harga tertentu, catatlah simpangannya, masukkan data ke dalam Tabel 2..
5. Kembalikan jarum ke kedudukan nol.

- Tarik batang magnet dengan cepat, jarum akan menunjukkan harga tertentu catatlah simpangannya, dan masukkan hasilnya ke dalam Tabel 2 di bawah ini.

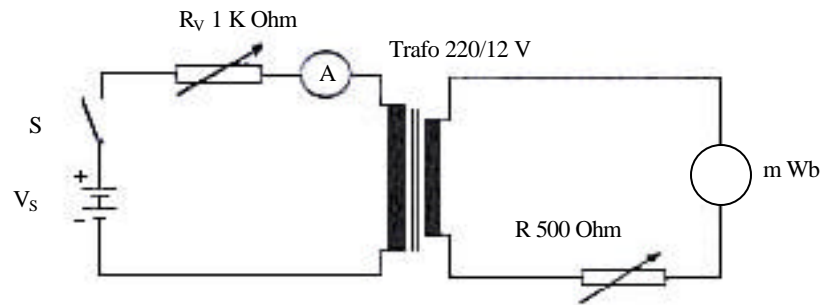
Tabel 2. Pengamatan search coil

No.	Jumlah Lilitan	Luas Penampang	Simpangan	
			Magnet Masuk	Magnet ditarik

- Lakukan pengamatan langkah 1 sampai dengan 6 untuk search coil yang lain.

### Percobaan II

- Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Arus Trafo

- Aturlah  $R_v$  pada posisi minimum ( $R = 0 \Omega$ ) kemudian hubungkan S.
- Aturlah tegangan sumber sehingga diperoleh arus ( $I$ ) = 10 mA
- Aturlah  $R_v$  sehingga diperoleh arus ( $I$ ) = 1 mA.
- Tekanlah tombol (  $\longrightarrow$  ) atau  $\longleftarrow$  ) untuk mengatur mili weber pada kedudukan nol.
- Lepaskan ujung X kemudian hubungkan saklar S.
- Hubungkan ujung X kemudian hubungkan saklar S.



8. Bacalah penunjukan miliweber.
9. Ulangi langkah 4 sampai dengan 8 untuk arus (I) seperti pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Pengamatan trafo dengan arus bervariasi.

Arus (I) / mA Simpangan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

### Lembar Latihan

#### Percobaan I

1. Hitunglah kerapatan fluk (B) dengan rumus :

$$10^{-4} = \text{Konstanta meter}$$

$$B = \frac{10^{-4}}{N \cdot A} \cdot a \cdot mWb / m^2$$

$$\alpha = \text{Skala penunjukan (simpangan)}$$

$$N = \text{Jumlah lilitan (turn of coil)}$$

2. Hitunglah besar fluk ( jumlah garis gaya )  $\Phi$  dengan rumus :

$$f = \frac{10^{-4}}{N} \cdot a \cdot Wb$$

#### Percobaan II

3. Hitunglah besar mutual inductance ( M ) dengan rumus :

$$A = \text{Luas lilitan (turn area)}$$

$$M = \frac{10^{-4}}{N} \cdot a \cdot mH$$

$$\Phi = \text{Jumlah garis gaya}$$

$$I = \text{Arus penguat}$$

$$M = \text{Mutual Inductance}$$

4. Gambarlah grafik  $M = f(I)$  !

## KEGIATAN BELAJAR 2

### MEDIUM MAGNET

#### LEMBAR INFORMASI

Medium magnetik merupakan medium yang mempengaruhi medan magnet sebagaimana dielektrikum mempengaruhi medan listrik. Tetapi kalau dielektrikum selalu memperlemah medan listrik, maka medium magnetik ada yang justru memperkuat medan magnet yang dinamakan medium paramagnetik. Biji besi bersifat memperkuat medan magnet dan dinamakan medium ferromagnetik, karena ferromagnetik merupakan sifat kemagnetan yang istimewa dari bahan besi (ferum).

Sebenarnya penguatan medan magnet oleh bahan paramagnetik dan pelemahan medan magnet oleh bahan diamagnetik hanya sedikit saja, yakni dengan suseptibilitas magnetik  $\chi_m$  antara  $-10^{-5}$  sampai  $10^{-8}$  untuk bahan diamagnetik seperti misalnya Hg, Ag, H<sub>2</sub>, A, Au, Bi, dan Km, antara  $10^{-7}$  sampai  $10^{-3}$  bagi bahan paramagnetik seperti misalnya Pt, Al, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. Sedangkan untuk bahan ferromagnetik mempunyai nilai suseptibilitas magnetik  $\chi_m$  sampai ribuan ( $10^3$ ).

#### 1. Teori Atomik Kemagnetan

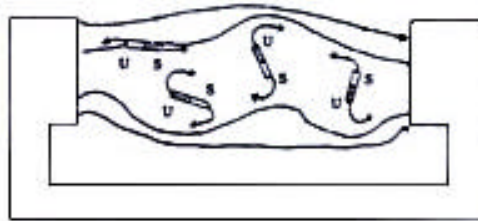
Menurut Ampere, dipool magnet merupakan arus listrik yang melingkar. Adapun arus melingkar di dalam atom berasal dari gerakan orbital elektron, yang mengakibatkan gerakan muatan listrik elektron mengelilingi inti atom. Di samping itu gerak rotasi elektron mengelilingi sumbunya sendiri juga menghasilkan gerak rotasi muatan listrik elektron yang memberikan arus melingkar.

Jadi momen dipool atom merupakan jumlahan atau resultante momen–momen dipool dari gerakan orbital maupun rotasi atau spin semua elektron – elektronnya. Jika resultante itu nol, maka atom akan

bersifat diamagnetik, sedangkan jika tidak sama dengan nol, akan bersifat paramagnetik.

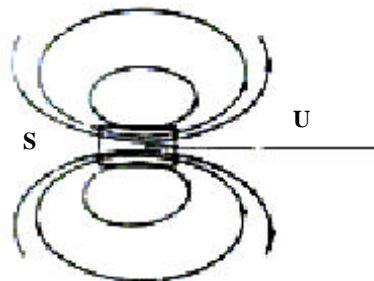
## 2. Paramagnetik

Bahan paramagnetik bersifat memperkuat medan magnet dapat, hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 3.



Gambar 3. Bahan paramagnetik dengan dipool magnet atomnya

Sebagaimana dikemukakan pada teori kemagnetan diatas, bahan yang momen dipool magnet atomnya tidak nol, bersifat paramagnetik. Di dalam medan magnet, dipool–dipool magnet atom bahan ferromagnetik akan terorientasi mengikuti arah medan magnet, yakni kutub utaranya akan mengarah pada arah medan magnet sedangkan kutub selatannya pada arah sebaliknya, hampir sama dengan momen dipool listrik molekul–molekul dielektrikum didalam medan listrik, seperti yang dijelaskan oleh Gambar 4.



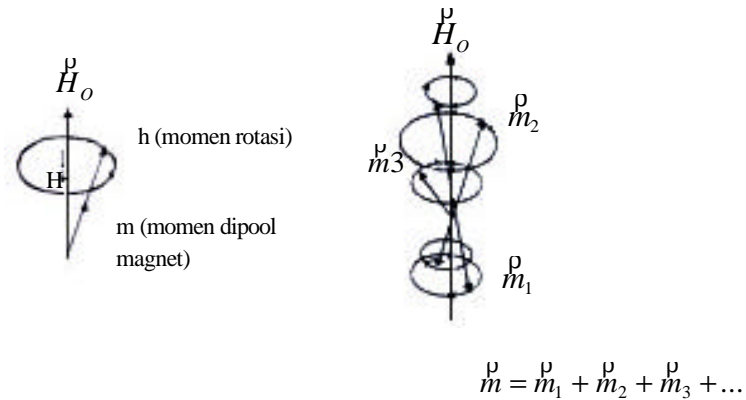
Gambar 4. Dipool magnet di dalam medan magnet

Berbeda dengan dipool listrik di dalam medan listrik yang menampilkan garis gaya medan listrik yang arahnya berlawanan dengan arah medan listrik yang dikenakan, maka garis gaya dari dipool magnet di dalam medan magnet itu sebagian besar berada pada arah yang sama dengan arah medan magnet yang dikenakan karena sifat rotasional garis gaya medan magnet itu sehingga di dalam dipool magnet arah garis gaya itu bukan dari utara ke selatan melainkan sebaliknya dari selatan ke utara. Dengan demikian bahan paramagnetik itu menambah kerapatan garis gaya medan magnet yang dikenakan, yang berarti akan memperkuat medan magnet.

### **3. Diamagnetik**

Bahan yang momen dipool magnet atom-atomnya nol bersifat diamagnetik. Karena momen dipool magnetnya nol, maka tidak berupa dipool magnet sehingga tidak mengalami orientasi pemutaran di dalam medan magnet. Sepintas bahan tersebut tidak berinteraksi dengan medan magnet, dan tidak mempengaruhi medan magnet yang dikenakan padanya. Namun pada kenyataannya bahan tersebut memperlemah medan magnet. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan timbulnya gaya Lorentz terhadap elektron yang mengorbit ataupun dapat diterangkan berdasarkan terjadinya presesi yang berkaitan dengan perubahan momentum rotasi dari gerakan orbital elektron karena adanya momen gaya pada dipool magnet arus melingkar di dalam medan magnet sebagaimana terjadinya presesi gasing akibat terjadinya perubahan momentum rotasi oleh momen gaya dari medan gaya grafitasi. Presesi dipool magnet arus melingkar yang dikenal sebagai presesi Larmor itu sudah tentu menghasilkan gerakan presesi atom. Selanjutnya presesi arus melingkar itu akan menampilkan komponen gerak melingkar yang seirama dengan gerak presesi yang menimbulkan medan magnet yang arahnya berlawanan dengan arah medan magnet yang dikenakan. Gambar 5 akan

menjelaskan terjadinya presesi Larmour dan pelemahan medan magnet.

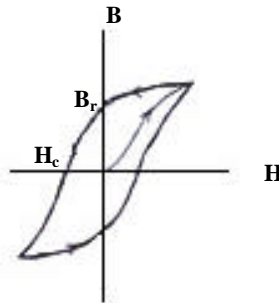


Gambar 5. Presesi Larmaur dan pelemahan medan magnet

Sebenarnya bahan paramagnetik juga memiliki gejala diamagnetisme, tetapi efek diamagnetiknya dapat diabaikan terhadap efek paramagnetiknya sebab presesi Larmour tentu juga terjadi secara umum bagi sembarang gerakan orbital muatan listrik di dalam medan magnet.

#### 4. Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik memiliki suseptibilitas magnetik yang amat besar, yakni dalam orde ribuan, bahan tersebut juga memiliki sifat khusus, yakni memperlihatkan gejala apa yang disebut histerisis yang secara umum didefinisikan sebagai keterlambatan reaksi atau respon atas aksi yang lazim terjadi pada kebanyakan komponen mesin. Dalam kemagnetan, histerisis ini berkaitan dengan keterlambatan variasi induksi magnetik B terhadap variasi medan magnet H yang dikenakan, yang berarti permeabilitas magnetik bahan bukan merupakan tetapan melainkan bervariasi selama proses pengubahan kuat medan magnet yang dikenakan seperti yang di jelaskan oleh Gambar 6.



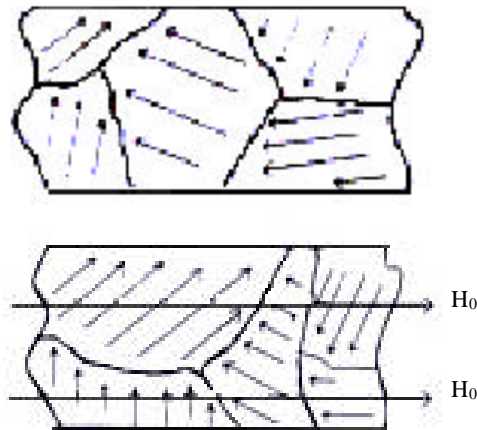
Gambar 6. Kurve Histerisis bahan feromagnetik

Dalam proses magnetisasi bahan, semula naiknya induksi magnetik B lebih pesat daripada bertambahnya kuat medan magnet H, tetapi kemudian variasi B itu lebih lambat sampai terjadi keadaan jenuh di mana variasi H hampir tidak mengubah B. Kalau kemudian kuat medan magnet H semakin dikurangi, maka induksi magnetik B tidak segera mengikuti perubahan H, sehingga pada saat  $H = 0$ , B belum menjadi nol tetapi masih tersisa sebesar apa yang dinamakan remanen magnetik  $B_r$ . Untuk membuat  $B = 0$  diperlukan pembalikan medan magnet H sampai sejauh apa yang disebut gaya koersif  $H_c$ , selanjutnya pembalikan kembali arah H yang mengakibatkan pembalikan arah B, tetapi perubahan B tidak secepat perubahan H. Variasi B senantiasa tertinggal terhadap variasi H. seperti halnya dengan gejala histerisis dalam komponen mesin dikaitkan dengan adanya gesekan ataupun desipasi tenaga mekanik menjadi panas, sebagaimana timbulnya pemanasan dalam proses variasi B oleh variasi H, histerisis dalam kemagnetan juga dikaitkan dengan desipasi tenaga, yang menurut termodinamika, usaha mekanik dalam proses perubahan B oleh perubahan H diberikan oleh integral  $\int \vec{B} \cdot d\vec{H}$ , sehingga desipasi tenaga per putaran sepanjang apa yang disebut kurve histerisis diberikan oleh :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{H}$$

persamaan ini merupakan luas daerah di dalam kurve histerisis.

Keterlambatan respons atau aksi yang dikaitkan dengan semacam gesekan atau desipasi tenaga itu mencerminkan tidak lancarnya proses pemagnetan bahan sehingga memotivasi Weiss untuk mengajukan teorinya dalam pemagnetan yang dikenal sebagai teori domain yang dapat dijelaskan dengan Gambar 7.



Gambar 7. Teori domain Weiss

Menurut Weiss, atom-atom bahan feromagnetik berupa dipool-dipool magnet yang arah vektor momennya mengelompok di dalam domain-domain di mana di dalam tiap domain mempunyai arah vektor dipool tertentu. Pengenaan medan magnet tidak mengorientasikan vektor-vektor momen dipool magnet atom bahan, melainkan menggusur domain sehingga domain yang vektor momen dipool atom-atomnya searah atau mendekati arah medan magnet yang dikenakan akan meluas. Sebaliknya, yang arahnya cenderung berlawanan akan menyempit. Ini berarti bahwa pengenaan medan magnet akan berakibat terjadinya pergeseran batas-batas domain dan proses pergeseran batas domain itu mengalami gesekan sehingga tidak reversible, yakni tidak dapat dibalik sebagaimana ditunjukkan oleh terjadinya gejala histerisis. Di samping itu, gesekan tersebut juga

menimbulkan desipasi tenaga yang berupa pemanasan, yaitu besarnya desipasi tenaga tersebut per siklus sama dengan luas yang dibatasi oleh kurve histerisis.

Karena bahan feromagnetik sangat memperkuat medan magnet, maka bahan tersebut dalam bidang teknik dipakai sebagai inti elektromagnet yang berupa lilitan arus listrik sekeliling batang besi sebagai medium feromagnetiknya.

Oleh karena sifat histerisisnya, bahan feromagnetik dipakai untuk membuat batang magnet karena adanya remanen atau sisa kemagnetan  $B_r$ , yakni dengan meliliti batang besi feromagnetik dengan lingkaran arus listrik dengan kuat arus sedikit demi sedikit dinaikkan sampai maksimum, lalu sedikit demi sedikit diturunkan sampai nol kembali.

### Lembar Kerja

#### Alat dan bahan :

1. Multimeter ..... 1 buah
2. Variac.....1 buah
3. Miliampere DC.....1 buah
4. CRO ..... 1 buah
5. AFG ..... 1 buah
6. X – Y Recorder ..... 1 buah
7. Flukmeter ..... 1 buah
8. Trafo isolasi .....1 buah
9. Traso step up/step down.....2 buah
10. Rheostat  $500 \Omega / 1 - 1,1 A$  ..... 1 buah
11. Rheostat  $10.000 \Omega / 0,25 A$ .....1 buah
12. Capacitor non polar  $3,25 \mu F$  ..... 1 buah
13. Bok penghubung..... 1 buah
14. Kabel penghubung..... secukupnya



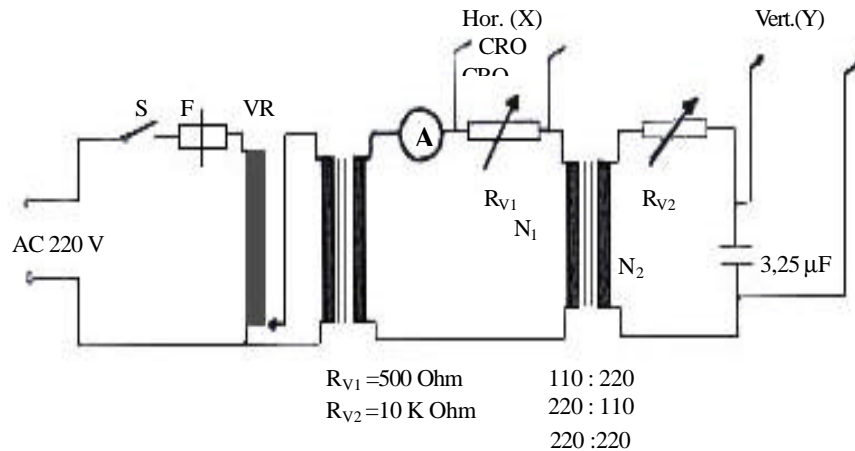
### Keselamatan dan kesehatan kerja

1. Gunakanlah pakaian praktik.
2. bacalah dan pahami petunjuk praktikum serta langkah-langkah kerja pada setiap lembar kegiatan belajar.
3. Sesuaikan batas ukur meter yang akan digunakan
4. Ambilah data secara cermat, ujlilah data yang anda peroleh dengan perhitungan secara teoritis, apakah sudah mendekati kebenaran atau ada kejanggalan.
5. Tanyakan pada instruktur jika ada masalah.
6. Hati-hatilah dalam melakukan praktik.

### Langkah kerja

#### Percobaan I. Pengukuran lengkung hysteresis dengan CRO

1. Rangkailah seperti Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Pengukuran lengkung Histerisis dengan CRO

2. Periksa rangkaian saudara pada dosen pembimbing.
3. Bila telah disetujui, hidupkan CRO dan letakkan pada posisi X – Y, Volt/div. Sesuai dengan Tabel.4.
4. Hubungkan rangkaian dengan sumber tegangan, atur variac pelan-pelan sehingga pada layar CRO tampak gejala lengkung

hysteresis, kemudian atur pelan-pelan  $Rv_1$  dan  $Rv_2$  sampai didapat gambar yang baik, kemudian gambarlah hasil pengamatan tersebut. Catat besarnya X dan Y . Masukkan semua data-data hasil pengamatan ke dalam Tabel 4.

5. Matikan CRO dan lepas hubungan dari sumber tegangan, kemudian ukur juga  $Rv_1$  dan  $Rv_2$  masukkan data ke dalam tabel 1.
6. Bila telah selesai lanjutkan dengan perbandingan transformasi sesuai dengan tabel di bawah, kemudian lakukan pengamatan seperti pada langkah 1 sampai dengan 5 diatas.

Tabel 4. Pengukuran lengkung hysteresis dengan CRO

No	Perbandingan Transformasi	Posisi V/div		Gambar	Besarnya		$Rv_1$	$Rv_1$
		X	Y		X	Y		
1.	110 : 220	10	10					
2.	220 : 110	5	5					
3.	220 : 220	10	10					

7. Bila telah selesai percobaan di atas gantilah trafonya dengan yang lain. Lakukan pengamatan seperti pada langkah 1 sampai dengan 6 di atas dan hasilnya masukkan dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Pengukuran lengkung hysteresis dengan CRO

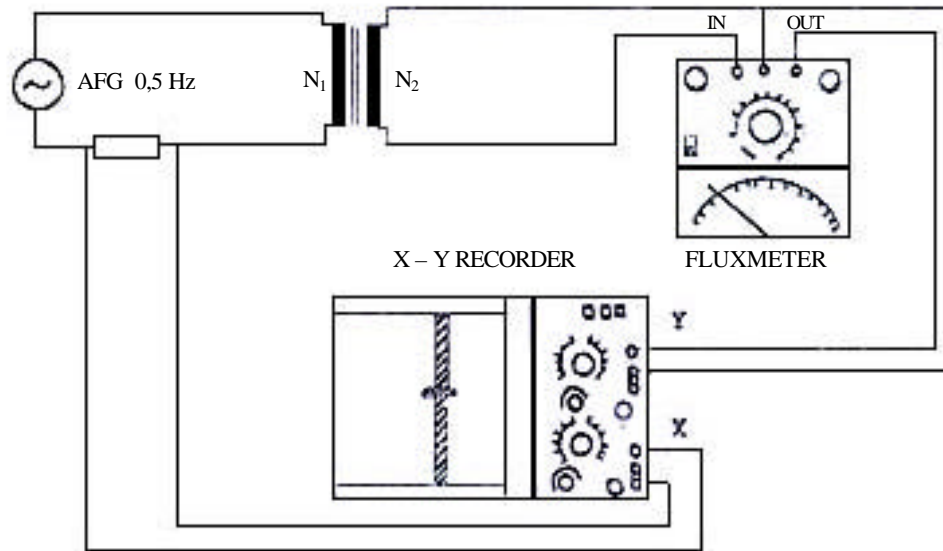
No	Perbandingan Transformasi	Posisi V/div		Gambar	Besarnya		RV <sub>1</sub>	RV <sub>1</sub>
		X	Y		X	Y		
1.	110 : 220							
2.	220 : 110							
3.	220 : 220							

8. Lepas semua rangkaian, kemudian lanjutkan dengan percobaan berikutnya.

**Percobaan II**

**Pengukuran lengkung hysteresis dengan X – Y recorder**

1. Rangkailah seperti Gambar 9 di bawah ini dengan benar, tanpa menghubungkan dengan sumber tegangan dari AFG terlebih dahulu.



Gambar 9. Pengukuran Lengkung Histerisis dengan X - Y Recorder

2. Atur tegangan AFG sebesar 4 Volt/50 Hz, kemudian matikan dan pindah frekuensi pada kedudukan 0,4 Hz, masukkan dalam rangkaian.
3. Pasang kertas pada alas pencatat dan pasang pula pena pencatat pada tempatnya dengan posisi terangkat. Hidupkan sumber tegangan untuk X - Y recorder, tutup saklar perekat magnetic untuk kertas (awas saklar pena dan perekam masih terbuka). Letakkan batas ukur meter dan pencatat sebagai berikut :

Flukmeter :  $1 \times 10^5$

Trafo : 220 : 220 (trafo buatan sendiri)

X-Y rec : Sensivity X = 5 mV

Y = 5 mV

Var. cal X = maximum

Y = minimum

4. Hidupkan sumber tegangan AFG, tutup saklar flukmeter, cek gerakannya usahakan agar berada di tengah-tengah (jangan

sampai over ke kiri atau ke kanan). Perhatikan gerakan dari jarum X - Y recorder sudah baik atau belum. Bila telah merasa yakin baik, tutup saklar pena pencatat dalam posisi "down".

Catatan : untuk mendapatkan gerakan dari jarum X - Y recorder adalah dengan menggeser saklar perekam ke posisi "record" secara serempak

- Amati dan ambillah gambar yang diperoleh tadi (tegangan, frekuensi, flukmeter) jadikanlah sebagai bahan analisa saudara.
- Bila telah selesai gantilah trafo buatan sendiri dengan trafo buatan pabrik, dengan data sebagai berikut :

Flukmeter :  $3 \times 10^3$

Trafo : 220 : 220 (trafo buatan pabrik)

X-Y Rec. : Sensitivity X = 2 mV

Y = 2 mV

Var. cal. X = maximum

Y = minimum

AFG : maximum

Tahanan :  $0,25 \Omega$

- Lakukan pengamatan seperti pada langkah 1 sampai dengan 5 di atas.

### Lembar latihan

- Coba ulangi beberapa kali lagi pengukuran lengkung histerisis bahan ferromagnetic dari inti transformator yang berbeda-beda, baik menggunakan CRO maupun X-Y Recorder. Bandingkan hasil lengkung histerisis satu dengan lainnya dan interpretasikan hasil tersebut.

### KEGIATAN BELAJAR 3

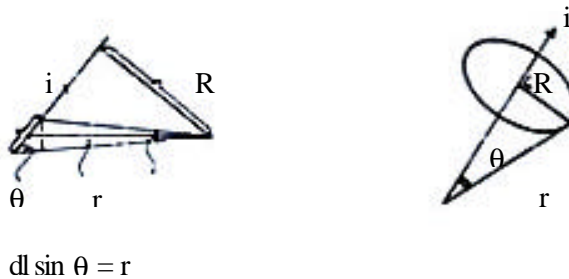
## MEDAN MAGNET ARUS LISTRIK

### Lembar Informasi

Pada tahun 1819 Oersted menemukan bahwa disekitar arus listrik timbul medan magnet yang garis gayanya melingkari arus listrik itu.

#### 1. Rumus Biot-Savart

Kuat medan magnet arus listrik tentunya merupakan jumlahan dari kontribusi masing-masing bagian atau elemen panjang arus listrik itu. Lebih lanjut Biot dan Savart berpendapat bahwa kuat medan magnet itu berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari elemen arus dengan arah menyilang tegak lurus arah elemen arus tersebut, serta sebanding dengan panjang elemen arus sebagaimana kelihatan dari tempat di mana kuat medan magnet itu ditinjau, seperti dijelaskan pada gambar 10.



Gambar 10. Rumus Biot-Savart

Hukum Biot –savart tidak tergantung medium, secara singkat dirumuskan sebagai berikut :

$$dH = \frac{idl \sin \alpha}{4\pi r^3}$$

Arah medan magnet dan arah arus listrik dapat ditentukan dengan kaidah sekrup, yang menyatakan jika sekrup diputar, arah putaran

sekrup menunjukkan medan magnet dan arah gerakan sekrup menunjukkan arah arus listrik. Oleh sebab itu rumus Biot-Savart lebih lengkap dituliskan dalam persamaan vektor :

$$\overline{dH} = \frac{i \, dl \times \overline{r}}{4\pi r^3}$$

Kuat medan magnet diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan di atas, misalnya untuk arus listrik yang lurus dan amat panjang, kuat medan magnet yang ditimbulkan pada jarak R dari arus, diberikan oleh :

$$H = \int \frac{i \, dl \sin \theta}{4\pi r^2}$$

yang dengan transformasi variabel :

$$dl \sin \theta = r \, d\theta \text{ serta } r \sin \theta = R$$

seperti yang dijelaskan pada gambar 15.1, akan diperoleh rumus :

$$H = \int_0^p \frac{i r \, d\theta}{4\pi r^2} = \frac{1}{4\pi r} \int_0^p \sin \theta \, d\theta = \frac{i}{2\pi R}$$

yang lalu berarti :

$$2\pi R \cdot H = i$$

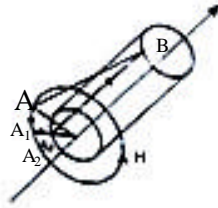
ruas kiri persamaan di atas dapat dibaca sebagai usaha oleh satu satuan muatan magnet atau kutub magnet di sekeliling lingkaran garis gaya.

## 2. Rumus Untai Ampere

Medan magnet adalah medan gaya yang konservatif, sebagaimana usaha oleh muatan magnet yang bergerak dari satu titik ke titik lainnya tidak tergantung lintasan yang ditempuhnya, khususnya usaha dari satu titik kembali ke titik itu lagi, adalah nol.

Tetapi menurut hasil usaha, usaha sepanjang garis gaya sekeliling arus listrik tidaklah nol tetapi sama dengan arus yang dikelilinginya. Hal ini disebabkan oleh sifat rotasional garis gaya medan magnet arus listrik. Namun demikian menurut Ampere, karena sifat konservatif medan magnet, usaha dari satu titik ke titik itu lagi, meskipun tidak

sepanjang garis gaya, akan sama dengan arus yang dikelilinginya. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 11.



Gambar 11. Bukti theorem untai Ampere

Kita tinjau lintasan dari A ke B dan seterusnya sampai kembali ke A lagi tetapi dengan mengelilingi arus I juga.

Dari Gambar 11 terlihat bahwa usaha dari A ke B sama dengan yang dari A ke A<sub>1</sub> ke A<sub>2</sub> baru ke B, mengingat sifat konservatif medan magnet, yaitu usaha tak tergantung lintasan. Tetapi usaha dari A<sub>1</sub> ke A<sub>2</sub> maupun dari A<sub>2</sub> ke B adalah nol sebab arah lintasannya tegak lurus garis gaya medan magnet arus listrik itu. Jadi usaha dari A ke B sama dengan dari A ke A<sub>1</sub> dan seterusnya sepanjang lingkaran garis gaya.

Hal tersebut dikenal sebagai theorem untai Ampere dan secara singkat terumuskan oleh persamaan :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{r} = i$$

### 3. Persamaan Maxwell IV

Seperti halnya dari theorem Gauss yang berkaitan dengan integral luasan yang mencakup suatu volum diturunkan persamaan Maxwell I yang berkaitan dengan diferensial di suatu titik setempat untuk muatan listrik yang terdistribusi, maka dari theorem untai Ampere yang berkaitan dengan integral jarak yang mencakup suatu



luasan diturunkan persamaan Maxwell IV yang berkaitan dengan diferensial di suatu titik setempat.

Untuk arus listrik yang terdistribusi dengan rapat arus  $\vec{j}$  yang didefinisikan sebagai total kuat arus yang mencakup luasan integral jarak dalam theorema untai Ampere akan sebanding dengan rapat arus di daerah luasan integrasi. Kita dapat mengatakan intensitas nilai integral keliling sekitar titik sebanding dengan rapat arus di sekitar titik itu, dan sebagai ukuran intensitas integral bagi  $\vec{H}$  kita definisikan curl  $\vec{H}$ , atau rotasi  $\vec{H}$  atau disingkat rot.  $\vec{H}$  sedemikian hingga :

$$\text{Curl } \vec{H} = \vec{j}$$

Yang menurut theorema untai Ampere berarti :

$$\text{curl} \vec{H} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} = \nabla \times \vec{H}$$

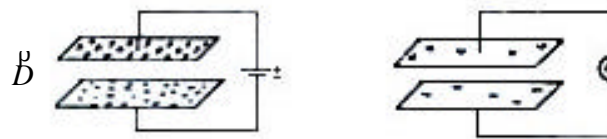
di mana  $\Delta A$  adalah luas daerah integrasi keliling.

Secara matematik, dari aljabar diferensial vektor, dapat ditunjukkan bahwa :

$$\text{curl} \vec{H} = \nabla \times \vec{H}$$

Variasi kuat medan listrik juga menimbulkan medan magnet. Hal ini kiranya dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 12.

Kita tinjau medan listrik diantara dua keping kondensator seperti di Gambar 12 jelaslah bahwa medan listrik itu homogen dan dengan sendirinya sama dengan yang dipermukaan keping di mana induksi dielektriknya diberikan oleh  $\vec{D} = \vec{S}q$ .



Gambar 12. Medan magnet oleh variasi medan listrik

Kalau sumber tegangan di ujung kedua keping elektrode itu bolak-balik, maka banyaknya muatan listrik, rapat muatan listrik di permukaan kedua kepingnya serta induksi elektriknya, bervariasi bolak balik pula. Bervariasinya muatan listrik di kedua keping kondensator itu dapat dipandang sebagai adanya muatan listrik yang melewati kedua keping, sehingga mengalirnya muatan listrik positif dari keping atas akan menyebabkan turunnya medan listrik dan induksi elektik dari arah atas ke bawah. Dengan demikian berlaku persamaan :

$$\overset{\rho}{j} = -\frac{\partial \overset{q}{d}}{\partial t} = -\frac{\partial \overset{D}{D}}{\partial t} \text{ yaitu } \frac{\partial \overset{D}{D}}{\partial t} = -j$$

yang berarti variasi  $\vec{D}$  terhadap waktu, yakni  $\partial \vec{D} / \partial t$  bersikap sebagai rapat arus listrik yang akan menimbulkan medan magnet juga.

Berdasarkan persamaan kontinuitas bagi sejumlah muatan listrik di dalam elemen volum, berlaku persamaan kontinuitas :

$$\text{div.} \overset{\rho}{j} = -\partial \rho / \partial t$$

Mengalirnya muatan dari elemen volum akan mengakibatkan turunnya rapat muatan di dalam elemen volum itu. Di lain pihak kita mempunyai persamaan Maxwell I :

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

sehingga berlaku persamaan :

$$\text{div.}(\overset{\rho}{j} + \partial \vec{D} / \partial t) = 0$$

dari diferensial vektor dan matematika, didapat  $\text{div. Curl}$  sembarang vektor adalah nol, sehingga hubungan  $\text{curl } \vec{H} = \vec{j}$  di atas dapat kita tuliskan sebagai berikut :

$$\text{curl } \vec{H} = \overset{\rho}{j} + \partial \vec{D} / \partial t$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan Maxwell IV.

#### 4. Medan Magnet Kumbaran Solenoidal dan Kumbaran Toroidal

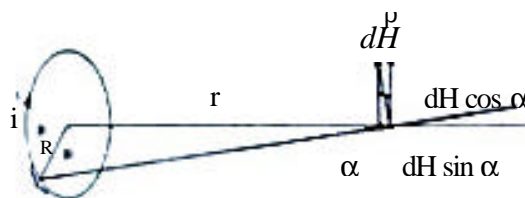
Kumbaran solenoidal adalah deretan seri lilitan yang melingkari kawat yang jika dialiri arus listrik akan menjadi sumber medan magnet

seperti yang dihasilkan oleh batang magnet yang berbentuk silinder memanjang seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, sedangkan kumparan toroidal adalah seperti solenoidal hanya saja dilengkungkan melingkar sehingga ujung-ujungnya bertautan. Kumparan yang tak berujung pangkal demikian boleh dikatakan sebagai solenoida yang tak terhingga panjangnya.



Gambar 3.4. Kumparan solenoidal dan kumparan toroidal

Untuk merumuskan kuat medan magnet di sepanjang sumbu solenoida, yaitu kumparan solenoidal, kita tinjau kuat medan magnet di sepanjang sumbu yang melewati pusat dan tegak lurus dengan bidang lingkaran arus tersebut, seperti yang dijelaskan oleh gambar 3.5



Gb. 3.5. Kuat medan magnet di sumbu lingkaran arus

Yaitu dengan menguraikan vektor kuat medan magnet oleh masing-masing elemen arus  $I dl$  dari komponen aksial saja sebab resultante dari yang radial adalah nol. Jadi resultante kuat medan magnet dari elemen-elemen arus  $I dl$  dengan menerapkan rumus Biot-Savart, adalah :

$$H = \oint dH \sin a = \int \frac{idl}{4\pi S^2} \sin a = \frac{i \sin a}{4\pi S^2} \cdot 2\pi R$$

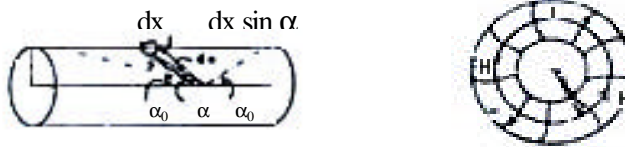
$$= \frac{1}{2} i \frac{R^2}{S^3}$$

Maka kontribusi dari bagian kumparan sepanjang dx apabila ada sebanyak n lilitan per satuan panjang kumparan adalah:

$$dH = \frac{1}{2} (ndx) i \frac{R^2}{S^3}$$

yang sebagaimana terlihat pada Gambar 13, dapat kita tuliskan :

$$\frac{R}{S} = \sin a \quad \text{serta} \quad dx \sin \alpha \approx S d\alpha$$



Gambar 13. Penjabaran kuat medan magnet solenoida dan toroida

akan dihasilkan rumus :

$$H = \frac{1}{2} ni (\cos a_0 + \cos a_0^1)$$

Untuk solenoida yang amat panjang, dengan memasukkan  $\alpha_0 = 0$  dan  $\alpha_0^1 = 0$  akan didapat :

$$H = ni$$

Berbeda dengan solenoida, untuk toroida, yakni kumparan toroidal, rumus Biot-Savart boleh dikatakan tidak berpengaruh. Dari theorema untai Ampere dapat dihasilkan rumus kuat medan magnet sepanjang sumbunya, yaitu :

$$\oint H dx = 2\pi a ni \quad \text{yakni} \quad H 2\pi a = 2\pi a ni$$

atau

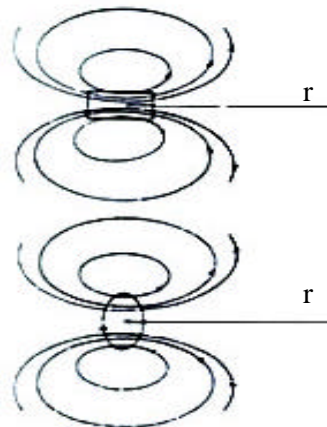
$$H = ni$$

Persamaan tersebut sama dengan rumus untuk solenoida yang amat panjang.

Sebagaimana telah dijelaskan bahwa kumparan solenoidal menghasilkan medan magnet yang pola garis gayanya seperti pola garis gaya dari batang magnet, maka pola garis megnetik yang dihasilkan oleh arus melingkar akan bersifat seperti keping magnet. Makin kuat arus yang melingkar, makin kuat medan magnet yang dihasilkan, yang berarti pula makin besar momen dipoolnya.

### 1. Momen Dipool Magnet Arus Melingkar

Untuk merumuskan momen dipool magnet arus melingkar, kita bandingkan rumus kuat medan magnet di poros, dengan rumus kuat medan magnet dengan batang magnet di sumbu, seperti yang dijelaskan oleh Gambar 14.



$$Hr = \frac{2m}{4\pi r^3}$$

$$H \approx \frac{1}{2} iR^2 / r^3 = \frac{2mIA}{4\pi r^3}$$

Gambar 14. Rumus momen dipool magnet arus melingkar

Dengan mengambil analogi elektrostatika, maka komponen-komponen kuat medan magnet di dalam sistem koordinat polar oleh dipool magnet dengan momen dipool  $m$  diberikan oleh rumus :

$$Hr = \frac{2m \cos \theta}{4\pi r^3} \quad \text{dan} \quad H\theta = \frac{m \sin \theta}{4\pi r^3}$$

jika sepanjang sumbu,  $\theta = 0$  maka :

$$Hr = \frac{2m}{4\pi r^3} \quad \text{dan} \quad Hq = 0$$

dengan membandingkan antar rumus kuat medan magnet oleh arus melingkar di sepanjang poros dengan rumus kuat medan magnet oleh arus melingkar, maka momen dipool magnet arus melingkar adalah sebagai berikut :

$$m = \mathbf{mi} A$$

dengan  $A = \pi R^2$  merupakan luas bidang lingkaran arus listrik itu

Maka ampere mengatakan bahwa dipool magnet hanya merupakan arus melingkar, dan muatan magnet atau kutub magnet itu dapat dikatakan tidak ada secara material, hanya merupakan konsep abstrak saja, dan dapat dikatakan medan magnetpun merupakan konsep abstrak juga.

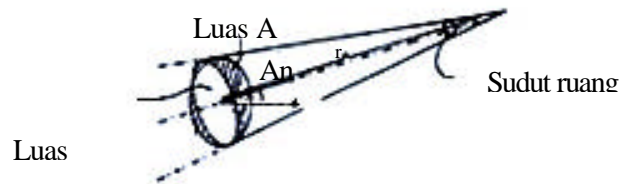
## 2. **Potensial Dipool Magnet Arus Melingkar**

Analog dengan potensial dipool listrik, maka potensial dipool magnet dirumuskan sebagai berikut :

$$Vm = \frac{m \cos \mathbf{q}}{4\pi m r^2}$$

dengan mensubstitusikan  $\mu i A$  pada  $m$  serta sudut ruang  $\Omega$  dengan luasan  $A$ , seperti yang dijelaskan oleh Gambar 14 maka kita dapat menyatakan potensial magnetik dalam bentuk :

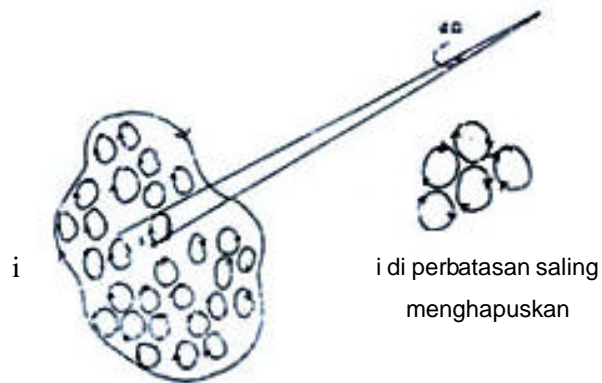
$$Vm = \frac{i \Omega}{4\pi}$$
$$\Omega = \frac{An}{r^2} = \frac{A \cos \mathbf{q}}{r^2}$$



Gambar. 14. Potensial magnetik dan sudut ruang

Rumus potensial magnetik dijabarkan berdasarkan anggapan  $l \gg R$  untuk arus melingkar ataupun  $r \gg 1$  untuk dipool magnet. Namun berikut ini akan ditunjukkan bahwa rumus potensial magnetik yang dikaitkan dengan sudut ruang berlaku umum tidak hanya untuk lingkaran arus yang amat kecil saja.

Untuk membuktikannya, lingkaran arus yang tidak kecil kita pandang terdiri atas lingkaran-lingkaran arus kecil seperti dijelaskan oleh Gambar 15.



Gambar 15. Rumus potensial magnetik dan sudut ruang

Oleh karena di perbatasan-perbatasan arus-arus melingkar itu saling meniadakan, maka resultante arus-arus kecil itu sama dengan sebuah lingkaran arus besar sepanjang tepi himpunan arus-arus kecil tersebut, sehingga mengingat potensial magnetik sama dengan jumlah

ptensial-potensial magnetik oleh masing-masing arus melingkar kecil dengan sudut ruang sembarang, maka :

$$V_m = \int \frac{id\Omega}{4p} = \frac{i\Omega}{4p}$$

### Lembar Kerja

#### Alat dan bahan :

1. Amperemeter DC 0 – 1000 mA..... 1 buah
2. Amperemeter AC 0 – 1000 mA..... 1 buah
3. Multimeter..... 1 buah
4. Milli Weber (Flukmeter) 75 mWb..... 1 buah
5. Transformator step down 220 V – 220 V – 12 V..... 1 buah
6. Rheostat 10.000  $\Omega$ ..... 1 buah
7. Rheostat 500  $\Omega$ ..... 1 buah
8. Beberapa macam Search Coil..... 1 buah
9. Magnetic Contactor ..... 1 buah
10. Power Supply 0 – 25 Volt..... 1 buah
11. Variac 0 – 250 Volt ..... 1 buah
12. Togel Switch..... 1 buah
13. Bok dan kabel penghubung..... secukupnya

#### Keselamatan dan kesehatan kerja

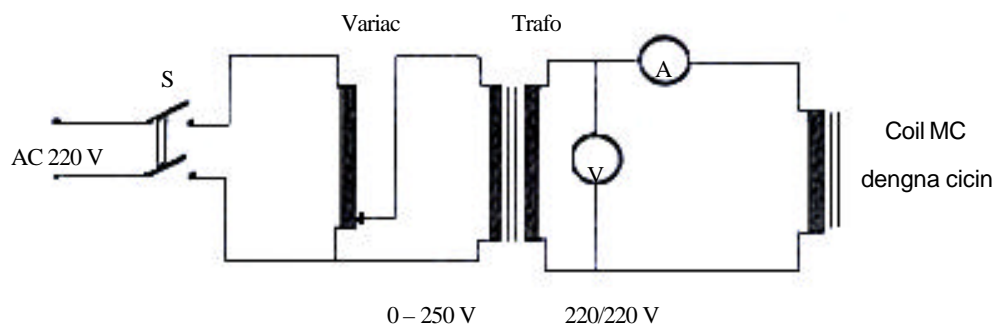
1. Gunakanlah pakaian praktik.
2. bacalah dan pahami petunjuk praktikum serta langkah-langkah kerja pada setiap lembar kegiatan belajar.
3. Sesuaikan batas ukur meter yang akan digunakan
4. Ambil data secara cermat, ujlilah data yang anda peroleh dengan perhitungan secara teoritis, apakah sudah mendekati kebenaran atau ada kejanggalan.
5. Tanyakan pada instruktur jika ada masalah.
6. Hati-hatilah dalam melakukan praktik.



## Langkah Kerja

### Percobaan I Magnetik Kontaktor Dengan Cincin

1. Rangkailah seperti Gambar 16 di bawah ini.
2. Setelah disetujui oleh instruktur, hubungkan rangkaian saudara dengan sumber tegangan AC 220 Volt.
3. Atur Variac dari nol sampai harga tertentu seperti tertera dalam Tabel 6.



Gambar 16. Rangkaian Percobaan Magnetik Kontaktor Dengan Cincin

4. Baca arus yang mengalir, perhatikan apa yang terjadi, kemudian catat tegangan dan arus, ketika MC menjelang dan saat bekerja.

Tabel 6. Pengamatan magnetik kontaktor bercincin dengan kenaikan tegangan .

No	Tegangan Sumber (Volt)	Arus (mA)	Keterangan
1	10		
2	50		
3	80		
4	100		
5	"		
6	130		
7	150		
8	200		
9	220		

"). Naikan sedikit demi sedikit sampai MC bekerja (on).

- Turunkan tegangan Variac pelan – pelan dari 220 Volt hingga nol Volt dengan interval penurunan seperti pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Pengamatan magnetik kontaktor brcincin dengan penurunan tegangan.

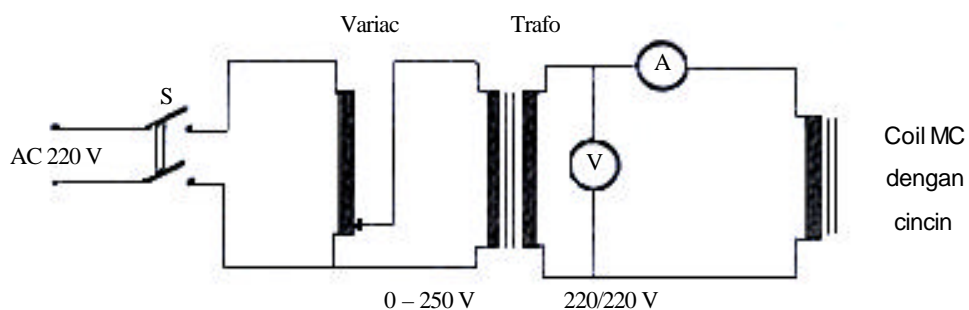
No	Tegangan Sumber (Volt)	Arus (mA)	Keterangan
1	220		
2	200		
3	150		
4	110		
5	"		
6	75		
7	50		
8	10		

"). Naikan sedikit demi sedikit sampai MC tidak bekerja (off).

- Catat tegangan dan arus, ketika MC menjelang dan saat tidak bekerja.

### Percobaan II Magnetik Kontaktor Tanpa Cincin

- Rangkailah seperti Gambar 17 di bawah ini



Gambar 17. Rangkaian Percobaan Magnetik Kontaktor Tanpa Cincin

- Setelah disetujui oleh instruktur, hubungkan rangkaian saudara dengan sumber tegangan AC 220 Volt.
- Atur Variac dari nol sampai harga tertentu seperti tertera dalam Tabel 8 di bawah.

Tabel 8. Pengamatan magnetik kontaktor tanpa cincin dengan kenaikan tegangan..

No	Tegangan Sumber (Volt)	Arus (mA)	Keterangan
1	10		
2	50		
3	80		
4	100		
5	"		
6	130		
7	150		
8	200		
9	220		

"). Naikan sedikit demi sedikit sampai MC bekerja (on).

4. Baca arus yang mengalir, perhatikan apa yang terjadi.
5. Catat tegangan dan arus, ketika MC menjelang dan saat bekerja.
6. Turunkan tegangan Variac pelan – pelan dari 220 Volt hingga nol Volt dengan interval penurunan seperti pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Pengamatan magnetik kontaktor tanpa cincin dengan penurunan tegangan..

No	Tegangan Sumber (Volt)	Arus (mA)	Keterangan
1	220		
2	200		
3	150		
4	110		
5	"		
6	75		
7	50		
8	10		

"). Naikan sedikit demi sedikit sampai MC tidak bekerja (off).

7. Catat tegangan dan arus, ketika MC menjelang dan saat tidak bekerja.
8. Hentikanlah kegiatan dan kembalikan semua peralatan ke tempat semula. Kemudian simpulkan secara keseluruhan percobaan tadi.

### **Lembar Latihan**

1. Gambarlah grafik  $I = f(v)$
2. !Jelaskan mengapa pada tegangan tertentu arusnya turun drastis ?
3. Sebutkan perbedaan antara MC yang menggunakan cincin dengan yang tanpa cincin !
4. Coba ulangi percobaan di atas beberapa kali untuk magnetic contactor yang berbeda kemudian bandingkan grafik  $I = f ( V )$  dari beberapa percobaan tersebut dan interpretasikan hasil tersebut.

## KEGIATAN BELAJAR 4

### GAYA ELEKTROMAGNETIK

#### LEMBAR INFORMASI

Gaya elektromagnetik merupakan gaya antara arus listrik dan batang magnet ataupun gaya antara arus-arus listrik, ataupun gaya pada arus listrik yang tengah berada di dalam medan magnet. Tetapi dari teori Ampere tentang magnet dipahami bahwa dipool magnet adalah arus melingkar saja, sehingga gaya antara kutub-kutub magnet tidak lain adalah gaya antara arus-arus melingkar saja. Karena dipool magnet maupun arus melingkar menimbulkan medan magnet, maka dapat disimpulkan bahwa gaya elektromagnetik merupakan gaya pada arus listrik yang berada di dalam medan magnet, yang secara kuantitatif dirumuskan oleh Lorentz.

Timbulnya gaya pada dipool magnet oleh arus listrik, seperti yang dijelaskan oleh Gambar 17.a, dapat diterangkan berdasarkan timbulnya medan magnet oleh arus listrik yang dengan sendirinya menimbulkan gaya pada dipool magnet yang berada di dalam medan magnet tersebut.

Sebaliknya, timbulnya gaya pada arus listrik, oleh dipool magnet seperti yang dijelaskan oleh Gambar 17.b, merupakan konsekuensi dari hukum Newton III yang menyatakan sifat gaya yang interaktif, yakni untuk setiap aksi selalu timbul reaksi, yang dalam hal ini karena pada dipool magnet bekerja gaya oleh arus listrik, maka sebaliknya pada arus listrik harus timbul gaya oleh dipool magnet. Gejala ini berarti pula adanya gaya pada arus listrik yang berada di dalam medan magnet.

Adanya gaya antara arus-arus listrik seperti yang dijelaskan oleh Gambar 17.c dapat diterangkan berdasarkan timbulnya medan magnet oleh arus listrik yang menimbulkan gaya pada arus listrik yang lainnya yang berada di dalam medan magnet itu.

## 1. Gaya Lorentz

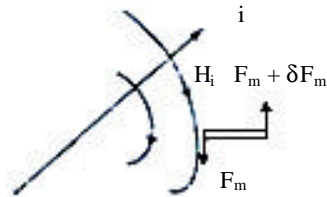
Gaya Lorentz adalah gaya pada arus listrik di dalam medan magnet. Tetapi arus listrik adalah arus muatan listrik, yang berarti bahwa muatan listrik yang bergerak akan bertindak sebagai arus listrik. Oleh sebab itu gaya Lorentz adalah juga gaya pada muatan listrik yang tengah bergerak di dalam medan magnet sehingga rumus gaya Lorentz muncul dalam 2 bentuk, yakni :

$$\vec{dF} = i \vec{dl} \times \vec{B}$$

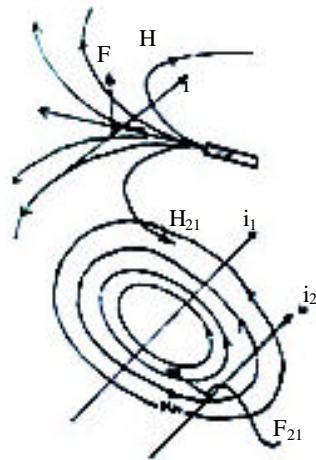
untuk arus listrik yang berada di dalam medan magnet, dan

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

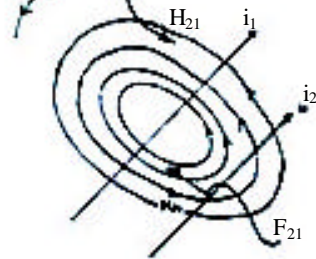
Untuk muatan listrik yang tengah bergerak di dalam medan magnet.



a. Gaya pada dipool magnet oleh arus listrik

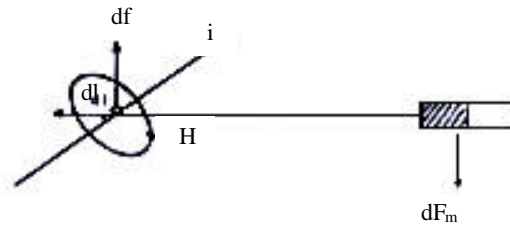


b. Gaya pada arus listrik di dalam medan magnet



c. Gaya pada arus  $i_2$  di dalam medan magnet oleh  $i_1$

Gambar.17. Berbagai penampilan gaya Lorentz



Gambar.18. Penjabaran rumus gaya Lorentz

Gaya pada arus listrik di dalam medan magnet diperoleh dari gaya pada dipol magnet yang berada di dalam medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik. Gaya Lorentz dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 18. Yaitu dengan meninjau gaya pada dipol magnet di dalam medan magnet yang ditimbulkan oleh elemen arus listrik  $I dl$  yang arahnya tegak lurus serta sebidang dengan sumbu dipol magnet pada jarak  $r$ . Misalkan kuat medan magnet oleh arus  $I$  di kutub  $U$  adalah  $H$  diberikan oleh persamaan Biot-Savart :

$$dH_i = \frac{dl}{4\pi r^2} \text{ yakni } \partial dH_i = \frac{\partial}{\partial r}(dH_i)\partial r = -\frac{idl}{2\pi r^3}\partial r$$

maka gaya pada dipol magnet yang kuat kutubnya  $P$  oleh elemen arus  $I dl$  adalah :

$$dF_m = -Pd\partial H_i = m\frac{dl}{2\pi r^3}$$

dimana  $m = P \delta r$  tak lain ialah momen dipol magnet. Akan tetapi di lain pihak medan magnet oleh dipol magnet di tempat  $I dl$ , pada jarak  $r$  diberikan oleh :

$$H = \frac{m}{2\pi r^3}$$

sehingga dengan mengingat  $B = \mu H$ , kita dapatkan hasil :

$$dF_m = i dl B$$

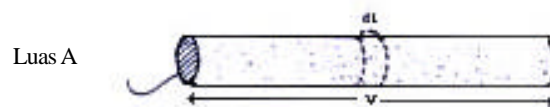
dengan arah ke bawah.

Dengan demikian sebaliknya, menurut hukum Newton III dalam mekanika, gaya pada elemen arus  $dl$  oleh dipol magnet mempunyai besar yang sama tetapi dengan arah yang berbeda, yaitu keatas, yang dengan notasi vektor dapat ditulis sebagai :

$$\vec{dF} = i \vec{dl} \times \vec{B}$$

Yang dikenal sebagai rumus gaya Lorentz untuk arus listrik di dalam medan magnet.

Adapun rumus gaya Lorentz untuk muatan listrik yang bergerak di dalam medan magnet dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 19.



Gambar 19.. Muatan yang bergerak sebagai arus listrik

Kita tinjau arus listrik di dalam sebatang konduktor sebagai arus muatan listrik dengan kerapatan  $\rho$  yang semuanya bergerak sepanjang batang konduktor dengan kecepatan  $v$ . setelah 1 satuan waktu, semua muatan listrik yang berada sampai sejauh  $v$  dari ujung kanan di Gambar 19 sudah akan melewati ujung itu. Jadi kalau luas penampang batang adalah  $A$ , kuat arus yang didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang melintas penampang persatuan waktu, diberikan oleh :

$$i = A v \rho$$

Sedangkan banyaknya muatan listrik di sepanjang  $dl$  adalah :

$$q = A \rho dl$$

Sehingga berlaku persamaan :

$$i dl = qv$$



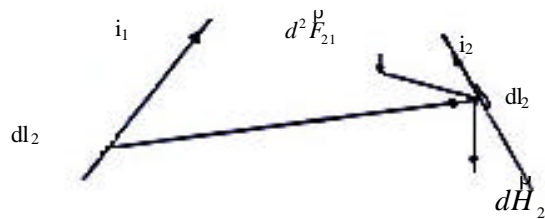
yang langsung mentransformasikan rumus gaya Lorentz menjadi :

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

yang merupakan gaya pada muatan listrik q yang bergerak dengan kecepatan v yang juga merupakan gaya pada elemen arus listrik I dl , yang berada di dalam medan magnet yang induksi magnetiknya B.

## 2. Rumus Ampere untuk gaya antara Arus-arus Listrik

Kita tinjau gaya antara 2 arus listrik yang berdekatan satu sama lain seperti yang diperlihatkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Gaya antara arus– arus listrik

Misalkan kuat medan magnet ditempat  $i_2$  karena adanya  $i_1$  ialah  $H_{21}$ , maka :

$$d\vec{H}_{21} = i_1 \vec{dl}_1 \times \vec{r}_{21}$$

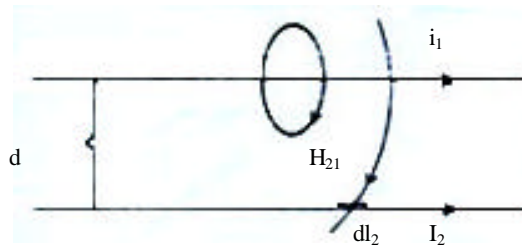
sehingga gaya pada  $i_2 dl_2$  yang berada di dalam medan magnet yang ditimbulkan oleh  $i_1 dl_1$  menurut rumus gaya Lorentz diberikan oleh :

$$d^2 F_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 i_2 \vec{dl}_1 \times \vec{r}_{21}}{r_{21}^3}$$

Dengan memepertukarkan indeks maka diperoleh  $d^2 F_{12}$ , yang tidak sama dengan  $d^2 F_{21}$ . hal ini tidak berarti bertentangan dengan hukum Newton ke III, sebab hukum Newton ke III itu berlaku untuk keseluruhan arus.

Rumus Ampere yang dirumuskan sebagai  $d^2F_{21}$  ataupun  $d^2F_{12}$  di atas tidak berguna dalam penerapannya, dan cara lain harus dipakai, misalnya untuk  $i_1$  dan  $i_2$  yang sejajar dan berjarak  $d$  satu sama lain, gaya antara kedua arus itu diperoleh dengan menerapkan rumus untai ampere untuk merumuskan kuat medan magnet di  $i_2$  oleh adanya  $i_1$ .

Dengan menerapkan theorem untai Ampere dengan menggunakan Gambar 21 kita dapatkan :



Gambar 21. Gaya antara dua arus listrik sejajar

$$dF_{21} = i_2 dl_2 \times B_{21} = i_2 dl_2 \times \mu_0 H_{21} = i_2 dl_2 \times \mu_0 \frac{i_1}{2\pi d}$$

yang menghasilkan rumus gaya antara 2 arus listrik sejajar :

$$\frac{dF_{21}}{dl_2} = \mu_0 \frac{i_1 i_2}{2\pi d}$$

yang dengan mempertukarkan indeks memperlihatkan berlakunya Hukum Newton ke III

$$\frac{dF_{12}}{dl_1} = \frac{dF_{21}}{dl_2}$$

### 3. Satuan Kuat Arus Listrik Ampere Absolut

Kuat arus listrik 1 Ampere didefinisikan sebagai kuat arus listrik yang mengendapkan 1,118 mg Ag per detik dari larutan  $AgNO_3$  pada katode dalam pengendapan elektrolitik. Definisi kuat arus listrik demikian disepakati secara internasional pada tahun 1908, yang disebut Ampere Internasional. Sedangkan Ampere Absolut

didefinisikan berdasarkan atas pengukuran langsung (secara absolut) gaya antara arus-arus listrik sejajar.

Dari rumus gaya antara 2 arus listrik sejajar di atas, dengan mengambil  $\mu \approx \mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6}$  Newton/Ampere<sup>2</sup> serta dengan jarak antara kedua arus listrik itu  $d = 1$  meter akan didapat  $dF/dl$  yang mendekati  $2 \times 10^{-7}$  Newton/meter. Maka dibuatlah definisi satuan Ampere yang baru yang akan didapatkan  $dF/dl$  tepat sama dengan  $2 \times 10^{-7}$  newton/meter, yang dapat diukur langsung secara absolut sehingga ampere yang demikian disebut ampere absolut. Ternyata 1 Ampere internasional = 0,999835 ampere absolut.

#### 4. Tenaga dan Gaya pada Lingkaran Arus Listrik di dalam Medan Magnet

Sebagaimana lingkaran arus listrik mempunyai sifat seperti dipool magnet yang momen dipool magnetnya  $m = \mu I A$ , maka semua rumus untuk dipool magnet berlaku sama untuk arus listrik melingkar dengan mensubstitusi  $\mu I A$  ke  $m$ .

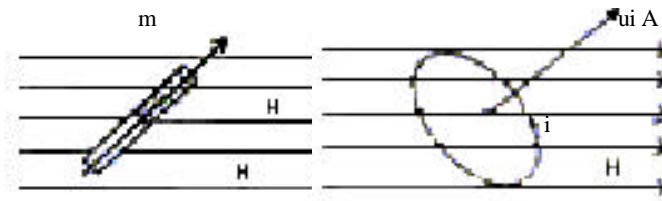
Dari rumus tenaga dipool magnet di dalam medan magnet yang diberikan oleh  $Um = \overset{p}{m} \cdot \overset{p}{H}$ , maka tenaga lingkaran arus di dalam medan magnet dirumuskan sebagai berikut :

$$U_i = \mathbf{m} \cdot \overset{p}{iA} \cdot \overset{p}{H} = \overset{p}{iA} \cdot \overset{p}{mH} = \overset{p}{iA} \cdot \overset{p}{B} = \overset{p}{iB} \cdot \overset{p}{A} = i f m$$

yakni

$$U_i = i f m$$

dimana  $\phi = \overset{p}{B} \cdot \overset{p}{A}$  merupakan fluk magnetik yang dicakup oleh lingkaran arus  $i$  seperti yang dijelaskan oleh Gambar 21.



Gambar 21. Tenaga lingkaran arus di dalam medan magnet

dari rumus momen gaya pada dipol magnet di dalam medan magnet yang diberikan oleh  $\vec{\ell}_m = \vec{m} \times \vec{H}$ , maka momen gaya pada lingkaran arus di dalam medan magnet diberikan oleh :

$$\vec{\ell}_i = \vec{m} \times \vec{H} = i\vec{A} \times \vec{H} = i\vec{A} \times \vec{B}$$

Yakni

$$\vec{\ell}_i = i\vec{A} \times \vec{B}$$

maka akan didapatkan pula gaya pada lingkaran arus di dalam medan magnet yang tak homogen, yaitu :

$$\vec{F}_i = (i\vec{A} \cdot \nabla) \vec{B}$$

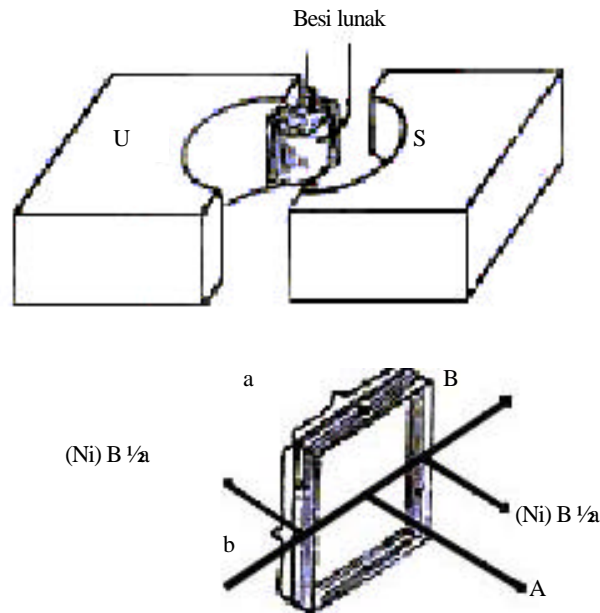
## 5. Penerapan Gaya Lorentz

Berikut ini beberapa contoh penerapan gaya lorentz dalam bidang teknik yang penting, antara lain meter listrik kumparan putar, neraca arus kelvin, efek Hall, dan spektrometer massa.

### a. Meter listrik dan kumparan putar

Dari rumus momen gaya pada lingkaran arus, di mana besarnya momen gaya sebanding dengan kuat arus, dapat diciptakan alat ukur kuat arus listrik berdasarkan pengukuran momen gaya pada lingkaran arus listrik di dalam medan magnet. Agar gayanya cukup besar sehingga mudah diukur maka dipakailah kumparan yang berupa

tumpukan lilitan. Gambar 22 adalah bagan dari meter listrik kumparan, yaitu alat ukur kuat arus listrik yang paling sederhana.



Gambar 22. Meter listrik kumparan putar

Kumparan meter listrik pada gambar 22 ditempatkan di dalam medan magnet, yakni diantara kutub-kutub magnet batang yang berbentuk U. bila kumparan itu dilewati arus listrik, kumparan itu akan mengalami kopel yang memutarinya. Agar pemutarannya tidak terus berlanjut, kumparan itu ditambatkan ke pegas puntir sehingga apabila kumparan itu berputar maka pegas menjadi ikut terpuntir dan kemudian memberikan reaksi momen gaya yang melawan pemuntiran lebih lanjut sampai dicapai keadaan setimbang dengan momen gaya puntir pegas tepat mengatasi momen gaya yang memutar kumparan. Karena momen gaya reaksi puntir itu sebanding dengan sudut puntir, maka demikian pula momen gaya putar kumparan. Tetapi momen gaya putar pada kumparan sebanding dengan gaya Lorentz yang sebanding dengan kuat arus listrik yang dilewatkan kumparan. Jadi dengan

demikian kuat arus listrik di dalam kumparan akan sebanding dengan sudut putar yang merupakan sudut puntir pegas puntir, asalkan medan magnet yang menyilang kumparan itu dibuat homogen secara radial, yakni dengan mengiris ujung-ujung magnet sehingga berbentuk setengah lingkaran yang melingkari kumparan.

Adapun besarnya momen gaya pada kumparan dengan banyaknya lilitan  $N$  diberikan oleh :

$$t = (Ni)bB\frac{1}{2}a + (Ni)bB\frac{1}{2}a = Ni(ba)B = NiAB$$

dengan medan magnet yang homogen secara radial, vektor kuat medan magnet, dan begitu pula vektor induksi elektromagnetiknya  $\vec{B}$ , selalu tegak lurus penampang kumparan, yang berarti searah dengan vektor luasan  $\vec{A}$  dengan penampang luasan yang persegi sebagaimana umumnya  $A = ab$ , yaitu panjang kali lebar.

#### b. Neraca Kelvin

Neraca kelvin adalah alat ukur kuat arus listrik secara absolut ciptaan Kelvin, yang berdasarkan pada gaya antara arus-arus listrik sejajar seperti yang dikemukakan tentang ampere absolut. Gambar 23 memperlihatkan dasar neraca arus listrik tersebut.

Dengan jarak antar kedua kumparan sangat pendek dibandingkan dengan ukuran penampang kumparan, maka gaya antara kedua kumparan itu dapat dikatakan mendekati gaya antara arus-arus listrik sejajar, yang menurut rumus diberikan oleh :

$$F = \frac{\mu_0 N_1 i_1 N_2 i_2}{2pd}$$



Gambar 23. Neraca arus listrik Kelvin

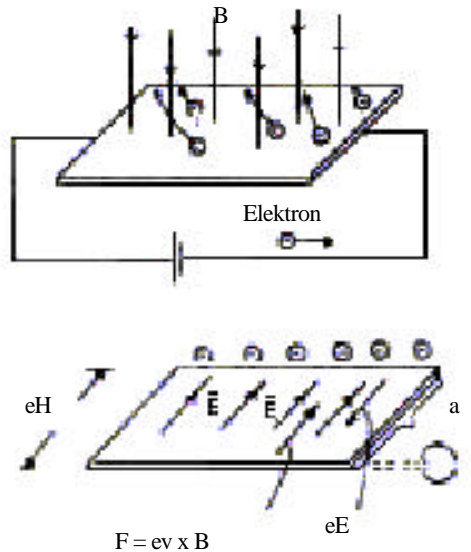
Apabila  $N$  adalah banyaknya lilitan kumparan,  $d$  adalah jarak antara kedua kumparan, sedang  $R$  adalah jari-jari lingkaran kumparan, dan indeks 1 dan 2 berkaitan dengan kumparan yang satu dan yang lainnya maka gaya antara kedua kumparan itu, yang dalam hal ini arah  $i_1$  dan  $i_2$  diatur sehingga gaya itu tarik menarik, dapat langsung diukur dengan menyetimbangkan neraca dengan anak timbangan di piringan timbangan.

c. *Efek Hall*

Hall menyelidiki tentang timbulnya e.m.f yang melintas pada kedua tepi samping lempeng konduktor yang dialiri arus listrik jika lempeng itu ditempatkan di dalam medan magnet yang garis gayanya tegak lurus permukaan lempeng, oleh adanya gaya Lorentz pada muatan listrik yang mengalir sepanjang lempeng konduktor itu pada arah tegak lurus arah mengalirnya arus, yakni pada arah dari satu tepi samping ke tepi samping lainnya, seperti yang dijelaskan pada Gambar 24.

Muatan listrik yang mengalir tersebut dibawa oleh elektron-elektron. Elektron-elektron akan mengalami gaya Lorentz ke arah tepi belakang yang menimbulkan medan listrik dengan arah dari depan ke belakang menghalangi pengumpulan elektron ke tepi belakang lebih

lanjut sehingga terjadilah kesetimbangan dengan kuat medan listrik yang tepat mengimbangi gaya Lorentz.



Gambar 24. Keterangan efek Hall

Tetapi pada kenyataannya, bahan konduktor tidak memperhatikan gejala demikian. Yang memperlihatkan gejala ini adalah bahan semikonduktor. Lagi pula tepi belakang dapat berpotensi positif terhadap tepi depan untuk beberapa jenis semikonduktor, yang berarti bahwa arus listrik dapat berupa arus muatan positif, bukannya arus muatan negatif yang dikandung elektron.

Besarnya emf yang melintas pada kedua tepi samping tersebut yang kemudian disebut emf. Hall, akan sebanding dengan kuat arus  $i$  yang dilewatkan dan sebanding dengan Induksi magnetik  $B$  yang mengenai permukaan lempeng secara tegak lurus serta berbanding terbalik dengan tebal lempeng.

Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pada keadaan setimbang berlaku persamaan :

$$eE = evxB$$



Di mana  $e$  adalah muatan listrik elektron sedangkan besarnya e.m.f Hall merupakan usaha 1 satuan muatan listrik yang melintas lebar lempeng, yakni :

$$e_H = E x a$$

Dimana  $e_H$  ialah e.m.f Hall yang dimaksud.

Dari persamaan di atas jelaslah bahwa  $e_H$  sebanding dengan  $B$ , dan karena kuat arus listrik  $i$  sebanding dengan kecepatan gerak elektron, yakni  $v$ , terlihat bahwa  $e_H$  yang sebanding dengan  $E$ , di mana  $E$  sebanding dengan  $v$ , maka  $e_H$  akan sebanding dengan  $v$  pula sehingga sebanding dengan  $i$ . Selanjutnya, apabila rapat elektron adalah  $\rho$  dan tebal lempeng adalah  $t$ , maka elektron yang melintas pada ujung kiri lempeng sejauh  $v$  dari ujung kiri tersebut akan mempunyai kuat arus  $i$  sebesar :

$$i = (vat)\mathbf{r}$$

Yang kemudian menghasilkan rumus :

$$e_H = \frac{1}{\mathbf{r}} \frac{iB}{t}$$

Didapatkan bahwa  $e_H$  berbanding terbalik dengan tebal lempeng  $t$ , dan tetapan, serta berbanding lurus dengan  $i$  dan  $B$ . Maka didapatkan tetapan Hall.  $R_H = \frac{1}{\mathbf{r}}$

Dari rumus di atas kita dapat memahami mengapa efek Hall itu tidak terwujud apabila lempengannya dari bahan konduktor, sebab rapat elektron bebasnya besar sekali sehingga e.m.f Hall-nya menjadi kecil sekali dan tidak teramati. Sebaliknya untuk bahan semikonduktor rapat pembawa muatan listrik bebasnya  $\rho$  tidak begitu besar sehingga memberikan  $e_H$  yang cukup besar untuk dapat diamati.

Beberapa semikonduktor memperlihatkan tepi belakang nerpotensial positif terhadap yang di depan, menunjukkan bahwa motor listrik bebas yang menghantarkan arus listrik itu dapat berupa muatan

listrik positif yang tentunya bukan yang dikandung elektron, melainkan suatu lowong atau Hole.

d. Spektrometer Massa

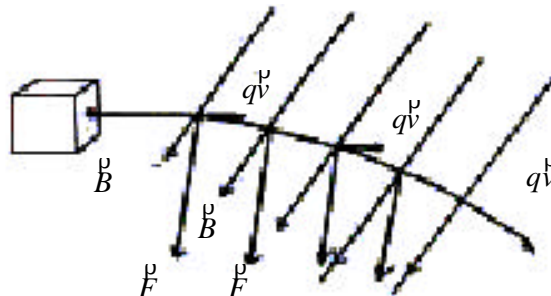
Dari rumus gaya Lorentz  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ , kita amati bahwa  $\vec{F} \perp \vec{v}$  yakni gaya Lorentz itu tegak lurus terhadap gerakan sehingga menghasilkan gerakan melingkar menurunkan persamaan :

$$qv \times B = mv^2 / R$$

Di mana m ialah massa titik materi yang bermuatan listrik q, sedangkan R adalah jari-jari lingkaran lintasan gerak melingkar beraturan, dengan B dan v serta q tetap akan sebanding dengan massa m. berdasarkan hal ini dapat diciptakan alat yang dapat memisahkan isotop-isotop, yaitu atom – atom sejenis yang massanya berbeda karena adanya perbedaan jumlah neutron di dalam intinya. Atom – atom bahan diuapkan dengan pemanasan di dalam vakum dan kemudian diionkan dan dipercepat oleh beda potensial sehingga memasuki daerah bermedan magnet yang induksi magnetiknya B, dengan kecepatan v tertentu, maka menurunkan persamaan :

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

Dengan V adalah beda potensial yang mempercepat ion – ion tersebut, seperti yang dijelaskan oleh gambar 25.



Gambar 25. Bangunan spektrometer massa

## **Lembar Kerja**

### **Alat dan bahan :**

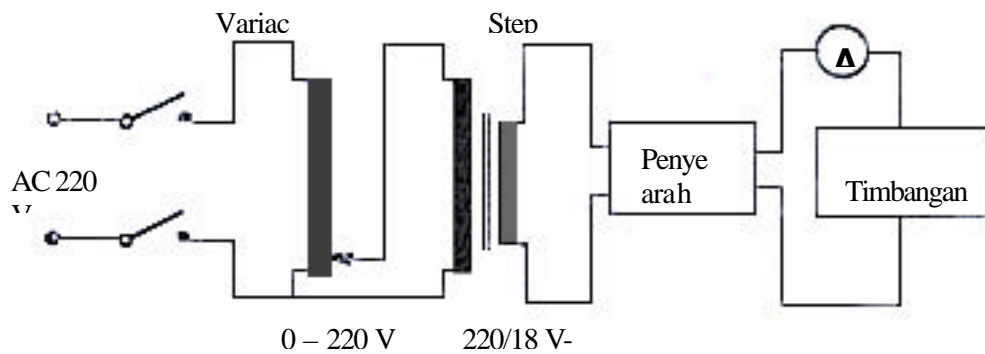
1. DC Power Supply 12 V / 5A ..... 1 buah
2. Amperemeter DC 0 – 10 A..... 1 buah
3. Timbangan Arus (Current Balance Force) ..... 1 buah
4. Variac 0 – 250 V/6 A..... 1 buah
5. Multimeter ..... 1 buah
6. Bok dan kabel penghubung..... secukupnya

### **Kesehatan dan keselamatan kerja**

1. Gunakanlah pakaian praktik.
2. bacalah dan pahami petunjuk praktikum serta langkah-langkah kerja pada setiap lembar kegiatan belajar.
3. Sesuaikan batas ukur meter yang akan digunakan
4. Ambil data secara cermat, ujilah data yang anda peroleh dengan perhitungan secara teoritis, apakah sudah mendekati kebenaran atau ada kejanggalan.
5. Tanyakan pada instruktur jika ada masalah.
6. Hati-hatilah dalam melakukan praktik.

### **Langkah Kerja**

1. Letakkan pengatur posisi kawat pada kedudukan tiga jalur, kemudian aturlah timbangan dalam keadaan setimbang
2. Buatlah rangkaian percobaan seperti Gambar 26 di bawah ini dengan posisi variac pada kedudukan minimum.
3. Periksa rangkaian saudara kepada pembimbing praktek
4. Bila telah disetujui hidupkan sumber tegangan, kemudian atur variac sehingga didapat besarnya arus seperti pada tabel, dan catat besarnya penyimpangan dari neraca arusnya, masukkan dalam tabel 10.



Gambar 26. Rangkaian Percobaan

5. Ulangi langkah ketiga diatas dengan panjang kawat lima jalur, masukkan hasilnya dalam tabel 10.

Tabel 10.

No	Panjang Kawat	Kuat Arus (A)	Simpangan Neraca (mm)
1	3 jalur	1	
		2	
		3	
		4	
		5	
2	5 Jalur	1	
		2	
		3	
		4	
		5	

6. Turunkan kembali variac pada posisi minimum dan matikan saklar, kemudian baliklah arah arusnya dengan cara menukar terminal keluaran penyearahnya dan jangan lupa membalik polaritas terminal ampermeternya.
7. Lakukan pengamatan seperti langkah ketiga dan keempat diatas dan masukan hasilnya dalam tabel 11.

8. Bila pengamatan telah selesai turunkan posisi Variac pada kedudukan minimum, matikan saklar, lepas semua rangkaian dan kembalikan alat / bahan ke tempat semula dengan rapi.

Tabel 11

No	Panjang Kawat	Kuat Arus (A)	Simpangan Neraca (mm)
1	3 jalur	1	
		2	
		3	
		4	
		5	
2	5 Jalur	1	
		2	
		3	
		4	
		5	

#### Lembar Latihan

1. Berapakah besarnya gaya lorentz untuk arus dan panjang kawat yang berbeda ?
2. Faktor apakah yang menentukan gaya lorentz ? jelaskan !
3. Gambarkan arah induksi magnet, arah arus dan arah gaya dari percobaan di atas !

## LEMBAR EVALUASI

### A. Pertanyaan

1. Lakukan percobaan pengukuran lengkung histerisis inti transformator dari transformator yang belum pernah dicoba pengukuran lengkung histerisisnya, baik menggunakan CRO maupun X-Y Recorder, kemudian interpretasikan hasil pengukuran lengkung histerisis tersebut !
2. Lakukan percobaan untuk memperoleh grafik  $I = f ( V )$  dari magnetic contactor tanpa cincin dan dengan cincin dari magnetic contactor yang belum pernah digunakan untuk percobaan, kemudian interpretasikan hasil percobaan tersebut !
3. Lakukan percobaan gaya Lorentz seperti pada lembar kerja, namun untuk besar arus yang berbeda dengan percobaan tersebut, kemudian interpretasikan data percobaan tersebut !

### B. Kriteria Kelulusan

Kriteria	Skor 1 - 10	Bobot	Nilai	Keterangan
1. Kebenaran rangkaian		2		
2. Kebenaran pengukuran		3		
3. Kerapian rangkaian		3		
4. Keselamatan kerja		1		
5. Kecepatan kerja		1		
<b>Nilai akhir</b>				

## Lembar Jawaban Latihan

### A. KEGIATAN BELAJAR 1

Percobaan I dan percobaan II

Untuk menghitung fluks magnet, kerapatan fluks magnet dan mutual inductance digunakan rumus :

$$\phi = \frac{10^{-4}}{N} \cdot \alpha \cdot \text{wb}$$

$$B = \frac{10^{-4}}{N \cdot A} \cdot \alpha \cdot \text{mwb/m}^2$$

$$M = \frac{10^{-4}}{N} \cdot \alpha \cdot \text{mH}$$

Hal tersebut mengingat bahan yang diamati tidak selalu sama seperti pada modul ini sehingga data yang diperoleh juga akan berbeda.

### B. KEGIATAN BELAJAR 2

Percobaan akan diperoleh data tentang beberapa lengkung histerisis dari beberapa bahan inti transformator baik menggunakan CRO maupun X-Y Recorder. Lengkung histerisis yang gemuk menunjukkan sifat bahan ferromagnetik kurang baik, sedang lengkung histerisis yang pipih menunjukkan sifat bahan ferromagnetik yang baik.

### C. KEGIATAN BELAJAR 3

1. Data percobaan akan dapat digunakan untuk grafik  $I = f(V)$ , pada tegangan  $\pm 60\%$  tegangan kerja arus listrik akan turun

drastis dan kemudian sedikit menaik sampai tegangan kerja MC terpenuhi.

2. Pada tegangan  $\pm 60\%$  tegangan kerja MC mulai bekerja dengan menutup kontak-kontak sehingga arus awal yang semula tinggi menjadi mengecil mendekati arus nominal (arus pada saat kerja).
3. MC dengan cincin yaitu MC dengan sumber tegangan bolak-balik, sedangkan MC tanpa cincin yaitu MC dengan sumber tegangan searah.
4. Grafik  $I = f(V)$  dari beberapa MC akan mempunyai bentuk yang hampir sama.

#### **D. KEGIATAN BELAJAR 4**

1.  $F = B I l \sin Q \rightarrow Q = 90^\circ \rightarrow F = B I l$  . 1 Newton
2. Faktor yang menentukan gaya Lorentz : arus, kerapatan fluks magnet, panjang penghantar, dan sudut antara arah fluks dan posisi penghantar.
3. Arah induksi magnet, arah arus dan arah gaya Lorentz dapat digambarkan seperti kaidah tangan kiri, telapak tangan ditembus arah induksi magnet, empat jari menunjukkan arah arus dan ibu jari menunjukkan arah gaya.



### **Pembahasan Lembar Evaluasi**

1. Sama dengan kunci jawaban kegiatan belajar 2
2. Sama dengan kunci jawaban kegiatan belajar 2
3. Sama dengan kunci jawaban kegiatan belajar 2

## DAFTAR PUSTAKA

- Peter Soedjo. (1999). Fisika Dasar. Penerbit Andi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Theraja, BL. (1976). Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics. Ram Nagar. New Delhi.