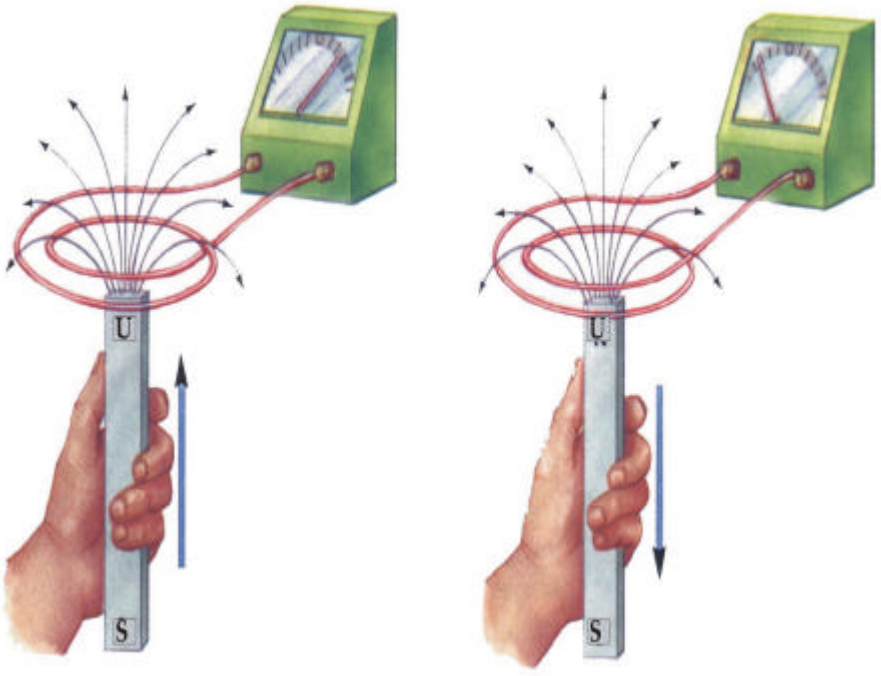
Kode FIS.24

# Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik




BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2004

Kode FIS.24

# KEMAGNETAN DAN INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

**Penyusun**
*Drs. Eko Hariadi, MS.*

Editor:
Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Drs. Munasir, M.Si.

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM**
**DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN**
**DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENEGAH**
**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**
**2004**

# Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi *(CBT: Competency Based Training).*

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sain dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

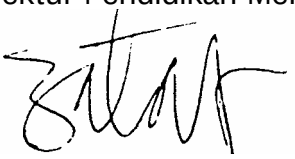
Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai

bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

# Daftar Isi


- Halaman Sampul ..... i
- Halaman Francis ..... ii
- Kata Pengantar ..... iii
- Daftar Isi ..... v
- Peta Kedudukan Modul ..... vi
- Daftar Judul Modul ..... vii
- Glosary ..... viii

**I. PENDAHULUAN**

a. Deskripsi ..... 1
b. Prasarat ..... 1
c. Petunjuk Penggunaan Modul ..... 1
d. Tujuan Akhir ..... 2
e. Kompetensi ..... 3
f. Cek Kemampuan ..... 4

**II. PEMELAJARAN**

**A. Rencana Belajar Peserta Diklat** ..... 5

**B. Kegiatan Belajar**

***1. Kegiatan Belajar*** ..... *7*
a. Tujuan Kegiatan Pemelajaran ..... 7
b. Uraian Materi ..... 7
c. Rangkuman ..... 24
d. Tugas ..... 24
e. Tes Formatif ..... 25
f. Kunci Jawaban ..... 26
g. Lembar Kerja ..... 26

***2 Kegiatan Belajar*** ..... *28*
a. Tujuan Kegiatan Pemelajaran ..... 28
b. Uraian Materi ..... 28
c. Rangkuman ..... 35
d. Tugas ..... 35
e. Tes Formatif ..... 36
f. Kunci Jawaban ..... 36
g. Lembar Kerja ..... 37

**III. EVALUASI**

A. Tes Tertulis ..... 41
B. Tes Praktik ..... 42

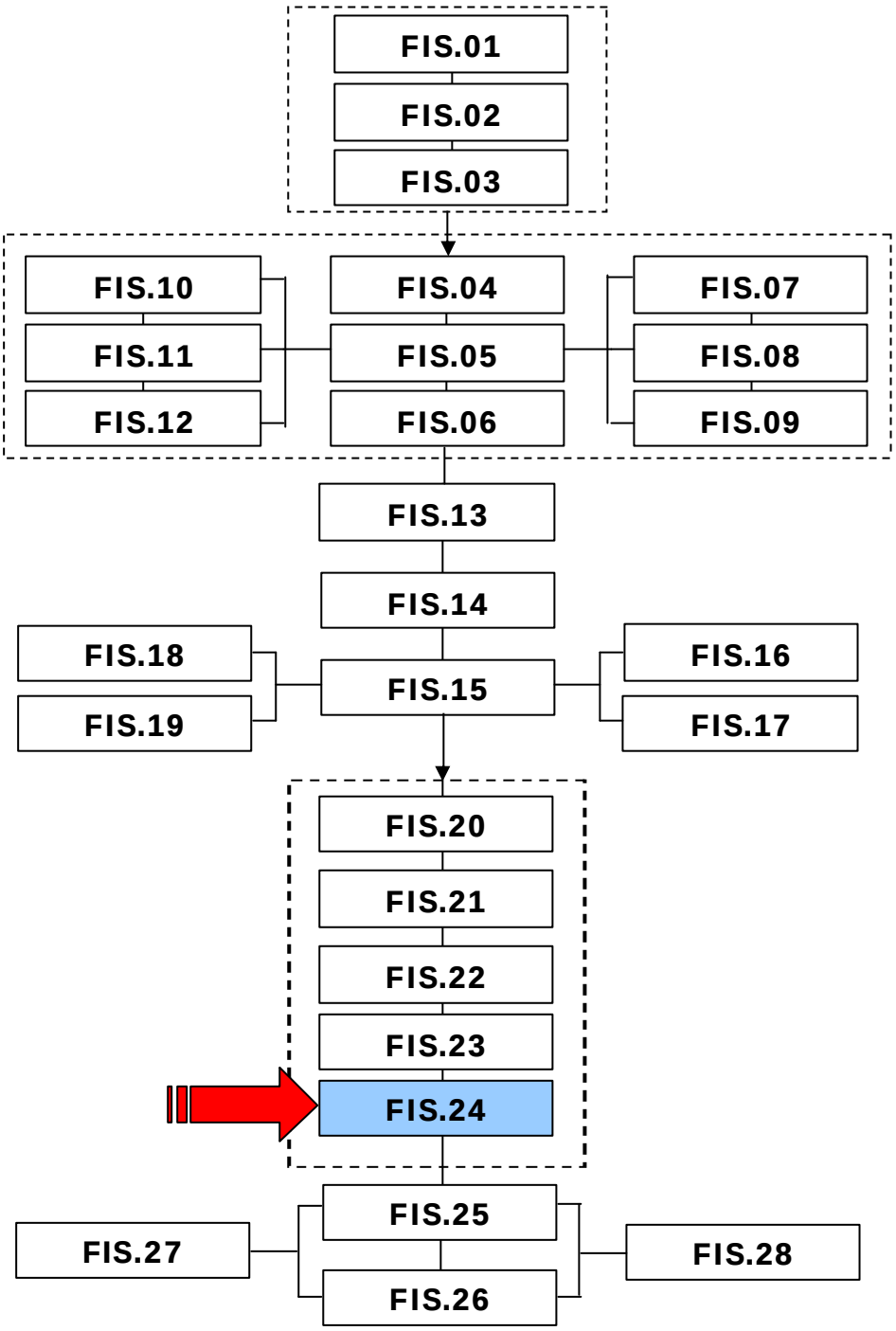
**KUNCI JAWABAN**

A. Tes Tertulis ..... 43
B. Lembar Penilaian Tes Praktik ..... 44

**IV. PENUTUP** ..... 47

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 48

# Peta Kedudukan Modul



# DAFTAR JUDUL MODUL

| No. | Kode Modul | Judul Modul |
|---|---|---|
| 1 | FIS.01 | Sistem Satuan dan Pengukuran |
| 2 | FIS.02 | Pembacaan Masalah Mekanik |
| 3 | FIS.03 | Pembacaan Besaran Listrik |
| 4 | FIS.04 | Pengukuran Gaya dan Tekanan |
| 5 | FIS.05 | Gerak Lurus |
| 6 | FIS.06 | Gerak Melingkar |
| 7 | FIS.07 | Hukum Newton |
| 8 | FIS.08 | Momentum dan Tumbukan |
| 9 | FIS.09 | Usaha, Energi, dan Daya |
| 10 | FIS.10 | Energi Kinetik dan Energi Potensial |
| 11 | FIS.11 | Sifat Mekanik Zat |
| 12 | FIS.12 | Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar |
| 13 | FIS.13 | Fluida Statis |
| 14 | FIS.14 | Fluida Dinamis |
| 15 | FIS.15 | Getaran dan Gelombang |
| 16 | FIS.16 | Suhu dan Kalor |
| 17 | FIS.17 | Termodinamika |
| 18 | FIS.18 | Lensa dan Cermin |
| 19 | FIS.19 | Optik dan Aplikasinya |
| 20 | FIS.20 | Listrik Statis |
| 21 | FIS.21 | Listrik Dinamis |
| 22 | FIS.22 | Arus Bolak-Balik |
| 23 | FIS.23 | Transformator |
| 24 | FIS.24 | Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik |
| 25 | FIS.25 | Semikonduktor |
| 26 | FIS.26 | Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor) |
| 27 | FIS.27 | Radioaktif dan Sinar Katoda |
| 28 | FIS.28 | Pengertian dan Cara Kerja Bahan |

# Glossary

| ISTILAH | KETERANGAN |
|---|---|
| Elektromagnet | Magnet yang medan magnetnya ditimbulkan oleh arus listrik. |
| Flux magnetik | Garis medan magnet yang dianggap berasal dari kutub utara sebuah magnet. |
| Hukum Faraday | Tegangan induksi dipengaruhi oleh flux dan kecepatan perubahannya. |
| Gauss (G) | Satuan kerapatan/kepadatan flux dalam sistem cgs. |
| GGL induksi | Energi untuk memindahkan satu satuan muatan listrik dalam satuan volt. |
| Gaya gerak magnet | Kemampuan menghasilkan garis gaya magnet. |
| Induksi | Kemampuan membangkitkan tegangan maupun arus tanpa sentuhan fisik. |
| Kemagnetan | Sifat zat yang teramati sebagai suatu gaya tarik maupun gaya tolak kutub-kutub magnet tidak senama maupun senama. |
| Maxwell (Mx) | Satuan flux magnetik sama dengan satu garis gaya. |
| Permeabilitas | Kemampuan mengkonsentrasikan garis gaya magnet. |
| Relai | Sakelar otomatis yang dioperasikan oleh arus dalam kumparan. |
| Solenoida | Kumparan kawat panjang dengan banyak lilitan. |
| Tegangan induksi | Tegangan yang dihasilkan dari proses perubahan medan magnet |

# BAB I. PENDAHULUAN

## A. Deskripsi

Ruang lingkup isi modul ini terdiri dari pembahasan secara teoritis maupun praktis topik-topik berikut: magnet, bahan magnetik, kutub magnet, medan magnet, flux magnetik, kepadatan flux, induksi medan magnet, medan magnet di sekitar arus listrik, gaya gerak magnet pada kumparan, intensitas medan, permeabilitas, kurva B-H, gaya Lorentz,

Hasil pendidikan dan latihan yang akan dicapai setelah anda menguasai modul "Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik" anda diharapkan memiliki pengetahuan yang berkaitan dengan kemagnetan dan induksi elektromagnetik, menghitung gaya Lorentz, mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari.

## B. Prasyarat

Modul ini dapat dipelajari setelah Anda mempelajari listrik statis dan listrik dinamis.

## C. Petunjuk Penggunaan Modul

**Bagi Siswa**

1. Pelajari daftar isi serta skema kedudukan modul dengan cermat dan teliti karena dalam skema modul akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari diantara modul-modul yang lain.
2. Pelajari tiap kegiatan belajar ini dengan membaca secara berulang-ulang sehingga anda benar-benar paham dan mengerti.
3. Jawablah tes formatif dengan jawaban yang singkat dan jelas, kemudian cocokkanlah hasil latihan Anda dengan kunci jawaban.

4. Apabila jawaban anda sudah benar lanjutkanlah ke kegiatan belajar selanjutnya.
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik dan jika perlu konsultasikan hasil tersebut pada guru/instruktur.
6. Catatlah kesulitan yang Anda dapatkan dalam modul ini untuk ditanyakan pada guru saat kegiatan tatap muka. Bacalah referensi yang lain yang berhubungan dengan materi modul agar anda mendapatkan pengetahuan tambahan.

**Bagi Guru**

1. Waktu yang digunakan untuk menyelesaikan modul ini adalah
   Kegiatan Belajar 1: Kemagnetan = 8 jam pelajaran
   Kegiatan Belajar 2: Induksi Elektromagnetik = 8 jam pelajaran

## D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat

- Mengitung gaya Lorentz.
- Melakukan percobaan Faraday.
- Menerapkan prinsip-prinsip medan magnet.
- Menerapkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik.

## E. Kompetensi

Kompetensi : KEMAGNETAN DAN INDUKSI ELEKTROMAGNETIK
Program Keahlian : Program Adaptif
Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.24
Durasi Pembelajaran : 16 jam @ 45 menit

| SUB KOMPETTENSI | KRITERIA UNJUK KERJA | LINGKUP BELAJAR | MATERI POKOK PEMBELAJARAN | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | SIKAP | PENGETAHUAN | KETERAMPILAN |
| 1. Medan magnet | ? Pengertian perpindahan muatan listrik menimbulkan medan magnet.<br>? Perpindahan muatan listrik dibuktikan dengan percobaan.<br>? Pengertian Gaya Lorentz pada penghantar yang diletakkan dalam medan magnet. | ? Medan magnet disekitar arus listrik.<br>? Gaya Lorentz.<br>? Sifat kemagnetan bahan. | ? Teliti dalam melakukan percobaan.<br>? Teliti menentukan kemagnetan suatu bahan. | ? Pengertian muatan magnet<br>? Cara menghitung gaya Lorentz<br>? Macam –macam sifat kemagnetan bahan<br>? Pengertian induksi elektro magnetik<br>? Cara menghitung induksi elektro magnetik<br>? Pengertian GGL<br>? Cara menghitung GGL | ? Menerapkan prinsip-prinsip medan magnet pada instalasi personal komputer, system jaringan, system multimedia. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2. Induksi elektro magnetik | ? Perubahan medan magnet menjadi arus listrik dibuktikan melalui percobaan Faraday.<br>? Perhitungan induksi elektro magnetik sesuai hokum Biot Savart<br>? GGL listrik dihitung sesuai dengan prinsip GGL listrik | ? Induksi elektro magnetik.<br>? Gaya gerak listrik induksi. | ? Teliti dalam menghitung induksi elektro magnetik dan GGL listrik. | ? Pengertian induksi elektro magnetik<br>? Perhitungan induksi elektro magnetik | ? Melakukan percobaan Faraday |

## F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi tegangan induksi?
2. Jika arah medan magnet dari barat ke timur, arah arus listrik dari selatan ke utara, kemanakah arah gaya Lorentz?
3. Apakah ciri umum percobaan Faraday?
4. Berbentuk seperti apakah garis medan magnet yang dihasilkan oleh arus dalam kawat lurus?

# BAB II. PEMBELAJARAN

## A. Rencana Belajar Peserta Diklat

Kompetensi :

Sub Kompetensi :

| Jenis Kegiatan | Tanggal | Waktu | Tempat Belajar | Alasan Perubahan | Tanda Tangan Guru |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

# B. Kegiatan Belajar

## 1. Kegiatan Belajar 1: Kemagnetan

### a. Tujuan kegiatan pembelajaran

Setelah mempelajari topik ini Anda dapat :

- Menjelaskan medan magnet yang mengelilingi sebuah magnet.
- Menjelaskan bagaimana sebuah batang besi dibuat magnet dengan cara induksi.
- Mengklasifikasi bahan-bahan magnetik.

### b. Uraian Materi

### a) Magnet

Lebih dari 2000 tahun yang lalu, orang Yunani yang hidup di suatu daerah di Turki yang dikenal sebagai Magnesia menemukan batu aneh. Batu tersebut menarik benda-benda yang mengandung besi seperti diperlihatkan pada **Gambar 1**. Karena batu tersebut ditemukan di Magnesia, orang Yunani memberi nama batu tersebut *magnet*.

*Kemagnetan* adalah suatu sifat zat yang teramati sebagai suatu gaya tarik atau gaya tolak antara kutub-kutub tidak senama maupun senama. Gaya magnet tersebut paling kuat di dekat ujung-ujung atau *kutub-kutub*

**Gambar 1**
Bahan tambang yang memiliki sifat-sifat magnetic alamiah.

*magnet* tersebut. Semua magnet memiliki dua kutub magnet yang berlawanan, utara (U) dan selatan (S). Apabila sebuah magnet batang digantung maka magnet tersebut berputar secara bebas, kutub utara akan menunjuk ke utara.

## b) Bahan Magnetik

Jika kamu mendekatkan sebuah magnet pada sepotong kayu, kaca, alumunium, maupun plastik, apa yang terjadi? Ya, kamu betul jika kamu mengatakan tidak terjadi apa-apa. Tidak ada pengaruh apapun antara magnet dan bahan-bahan tersebut. Disamping itu, bahan-bahan tersebut tidak dapat dibuat magnet. Tetapi, bahan-bahan seperti besi, baja, nikel, dan kobalt bereaksi dengan cepat terhadap sebuah magnet. Seluruh bahan tersebut dapat dibuat magnet. Mengapa beberapa bahan mempunyai sifat magnetik sedangkan yang lain tidak?

Secara sederhana kita dapat mengelompokkan bahan-bahan menjadi dua kelompok. Pertama adalah bahan magnetik, yaitu bahan-bahan yang dapat ditarik oleh magnet. Kedua adalah bahan bukan magnetik, yaitu bahan-bahan yang tidak dapat ditarik oleh magnet.

Bahan magnetik yang paling kuat disebut bahan *ferromagnetik*. Nama tersebut berasal dari bahasa Latin *ferrum* yang berarti besi. Bahan ferromagnetik ditarik dengan kuat oleh magnet dan dapat dibuat menjadi magnet. Sebagai contoh, jika Anda mendekatkan sebuah magnet pada sebuah paku besi, magnet akan menarik paku tersebut. Jika Anda menggosok paku dengan magnet beberapa kali dengan arah yang sama, paku itu sendiri akan menjadi sebuah magnet. Paku tersebut akan tetap berupa magnet meskipun magnet yang digunakan menggosok tersebut telah dijauhkan.

Bahan-bahan magnetik tersebut dapat dibagi menjadi dua macam.

Bahan *ferromagnetik*, yaitu bahan yang dapat ditarik oleh magnet dengan kuat. Bahan ini misalnya adalah besi, baja, dan nikel.

Bahan *paramagnetik*, yaitu benda yang dapat ditarik oleh magnet dengan lemah. Benda-benda ini misalnya adalah aluminium, platina, dan mangan.

Sedangkan bahan yang tidak dapat ditarik oleh magnet digolongkan sebagai bahan *diamagnetik* misalnya bismut, tembaga, seng, emas dan perak.

Beberapa bahan, seperti besi lunak, mudah dibuat menjadi magnet. Tetapi bahan tersebut mudah kehilangan kemagnetannya. Magnet yang dibuat dari bahan besi lunak seperti itu disebut *magnet sementara*. Magnet lain dibuat dari bahan yang sulit dihilangkan kemagnetannya. Magnet demikian disebut *magnet tetap*. Kobalt, nikel, dan besi adalah bahan yang digunakan untuk membuat magnet tetap. Banyak magnet tetap dibuat dari campuran aluminium, nikel, kobalt dan besi.

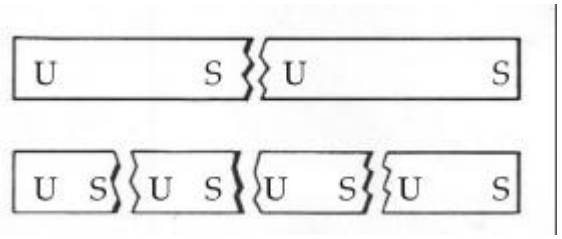
## c) Kutub Magnet

Semua magnet mempunyai sifat-sifat tertentu. Setiap magnet, bagaimanapun bentuknya, mempunyai dua ujung dimana pengaruh magnetiknya paling kuat. Dua ujung tersebut dikenal sebagai *kutub magnet*. Salah satu kutub diberi nama kutub utara (U) dan kutub yang lain diberi nama kutub selatan (S). Magnet dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran meliputi magnet batang, tapal kuda, dan cakram.

Jika dua magnet saling didekatkan, mereka saling mengerahkan gaya, yaitu gaya magnet. *Gaya magnet*, seperti gaya listrik, terdiri dari tarik-menarik dan tolak-menolak. Jika dua kutub utara saling didekatkan, kedua kutub tersebut akan tolak-menolak. Demikian juga halnya jika dua kutub selatan saling didekatkan. Namun, jika kutub utara utara salah satu magnet didekatkan ke kutub selatan magnet lain, kutub-kutub tersebut akan tarik-menarik. Aturan untuk kutub-kutub magnet tersebut berbunyi: *Kutub-kutub senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik-menarik*. Bagaimana aturan ini bila dibandingkan dengan aturan yang memaparkan perilaku muatan listrik?

Kutub magnet selalu ditemukan berpasangan, kutub utara dan kutub selatan. Jika sebuah magnet dipotong menjadi dua buah, dihasilkan dua magnet yang lebih kecil masing-masing mempunyai satu kutub utara dan satu

kutub selatan. Prosedur ini dapat diulang-ulang, namun selalu dihasilkan sebuah magnet lengkap yang terdiri dari dua kutub (**Gambar 2**).

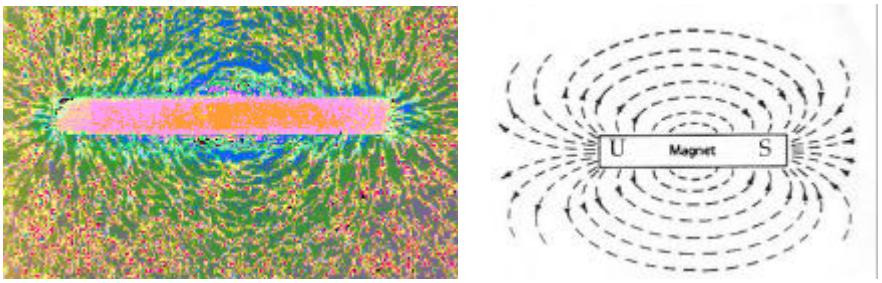



**Gambar 2**
Tidak memandang berapa kali sebuah magnet dipotong menjadi dua, tiap-tiap potongan tetap mempertahankan sifat-sifat kemagnetannya.

## d) Medan Magnet

Meskipun gaya magnet paling kuat terdapat pada kutub-kutub magnet, gaya tersebut tidak terbatas hanya pada kutub. Gaya magnet juga terdapat di sekitar bagian magnet yang lain. Daerah di sekitar magnet tempat gaya magnet bekerja disebut *medan magnet*.

Sangat membantu jika Anda memikirkan medan magnet sebagai suatu daerah yang dilewati oleh garis-garis gaya magnet. Garis gaya magnet menentukan medan magnet sebuah benda. Seperti halnya garis-garis medan listrik, garis-garis gaya magnet dapat digambar untuk memperlihatkan lintasan medan magnet tersebut.



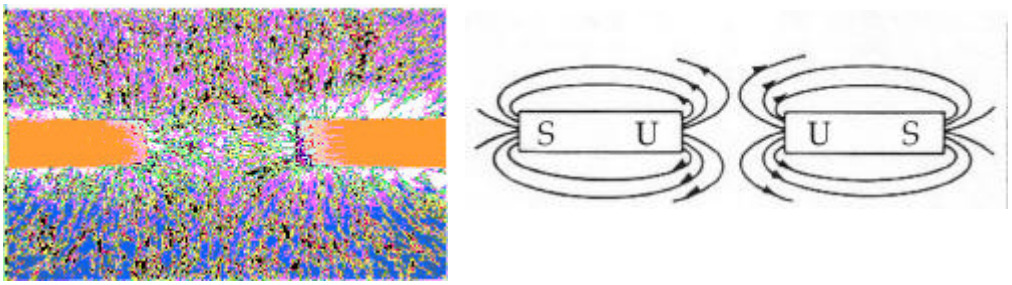

**Gambar 3**
Kamu dapat melihat garis-garis gaya magnet dengan cara menaburkan serbuk besi pada selembar kaca yang diletakkan di atas sebuah magnet .

Garis medan magnet berkeliling dalam lintasan tertutup dari kutub utara ke kutub selatan dari sebuah magnet. Suatu medan magnit yang diwakili oleh

garis-garis gaya yang terentang dari satu kutub sebuah magnet ke kutub yang lain, merupakan suatu daerah tempat bekerjanya gaya magnet tersebut.

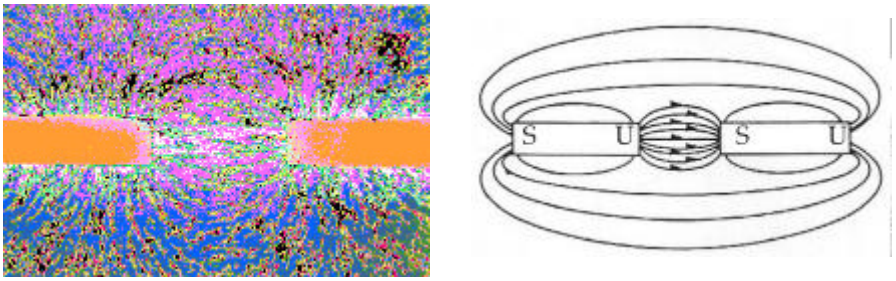
Garis gaya magnet dapat diperlihatkan dengan mudah dengan menaburkan serbuk besi pada selembar kertas yang diletakkan di atas sebuah magnet. Lihatlah **Gambar 3**. Di manakah garis gaya magnet selalu ditemukan paling banyak dan paling berdekatan satu sama lain?

**Gambar 4** memperlihatkan garis-garis gaya yang terdapat di antara kutub-kutub senama dua buah magnet batang. Pola serbuk besi memperlihatkan kutub-kutub senama tolak-menolak. Gambar 5 memperlihatkan garis gaya magnet yang terdapat di antara kutub-kutub tak-senama dua buah magnet batang. Pola serbuk besi memperlihatkan kutub-kutub tidak senama tarik menarik.




**Gambar 4**

Kutub senama tolak-menolak




**Gambar 5**

Kutub tidak senama tarik-menarik

## e) Flux Magnetik ?

Garis medan magnit yang dianggap berasal dari kutub utara sebuah magnet disebut flux magnetik. Simbolnya adalah huruf Yunani ? (phi). Medan magnet yang kuat mempunyai lebih banyak garis gaya dan flux magnetik daripada medan magnet yang lemah.

Satu Maxwell (Mx) sama dengan satu garis medan magnet. Pada **Gambar 6**, flux yang digambarkan adalah 6 Mx sebab terdapat 6 garis medan yang keluar maupun masuk ke tiap kutub. Weber adalah satuan flux magnetik yang lebih besar. Satu weber (Wb) sama dengan $1 \times 10^8$ garis medan atau Maxwell. Karena weber satuan yang besar, satuan mikro weber dapat digunakan, 1 ?Wb = $10^{-6}$ Wb.

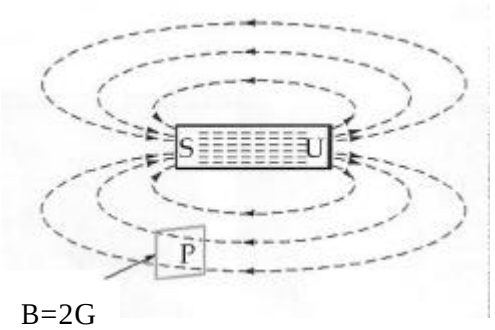
Untuk mengubah mikro weber ke garis medan, kalikan dengan faktor konversi $10^8$ garis per weber, seperti berikut:

1 ?Wb = $1 \times 10^{-6}$ Wb x $10^8$ garis/Wb

= $1 \times 10^2$ garis

1 ?Wb = 100 garis atau Mx

Satuan dasar flux magnetik dapat didefinisikan dalam dua cara., Maxwell adalah satuan cgs, sedangkan weber (Wb) adalah satuan mks atau SI. Untuk bidang sains dan rekayasa, satuan SI lebih disukai daripada satuan cgs, tetapi satuan cgs masih banyak digunakan pada banyak aplikasi praktis.




**Gambar 6**

Kepadatan flux B pada titik P adalah 2 garis per centimeter persegi atau 2 G.

## f) Kerapatan Flux B

Seperti diperlihatkan pada **Gambar 6**, kerapatan flux adalah jumlah garis medan magnet per satuan luas bagian yang tegak lurus terhadap arah flux. Kerapatan flux dinyatakan sebagai

$B = \Phi / A$ (1)

dimana $\Phi$ adalah flux yang melalui luas A dan kerapatan flux adalah B.

Pada sistem cgs, satu gauss (G) adalah satu garis per centimeter persegi atau 1Mx/cm$^2$. Contoh, pada **Gambar 6**, flux total adalah 6 garis atau 6 Mx. Tetapi pada daerah P, kerapatan flux B adalah 2 G sebab terdapat 2 garis per cm$^2$. Kerapatan flux mempunyai nilai yang lebih besar jika dekat dengan kutub.

Contoh 1

Dengan flux 10.000 Mx yang melalui luasan tegak lurus 5 cm$^2$, berapakah kerapatan flux dalam gauss?

Jawab

$B = \Phi /A = 10.000$ Mx / 5 cm$^2$ = 2000 Mx/cm$^2$

B = 2000 G

Dalam SI, satuan kerapatan flux B adalah weber per meter persegi (Wb/m$^2$). Satu weber per meter persegi disebut satu *tesla*, yang disingkat T. Ketika mengkonversi satuan cgs ke mks atau sebaliknya, perhatikan

1 m = 100 cm atau $10^2$ cm

1 m2 = 10.000 cm$^2$ atau $10^4$ cm$^2$

Sebagai contoh, 5 cm$^2$ sama dengan 0,0005 m$^2$ atau 5 x $10^{-4}$ m$^2$. Perhitungan konversi adalah

5 cm$^2$ x 0,0001 m$^2$ / cm$^2$ = 0,0005 cm$^2$ atau

5 cm$^2$ x 10-4 m$^2$/cm$^2$ = 5 x $10^{-4}$ m$^2$

Contoh 2

Dengan flux 400 $\mu$Wb yang melalui daerah 0,0005 m$^2$, berapakah kerapatan flux B dalam satuan tesla?

Jawab

$$B = \frac{?}{A} ? \frac{400 X 10^{?6} Wb}{5X10^{?4} M^2} ? \frac{400}{5} ? 10^{?2}$$

$= 80 \times 10^{-2}$ Wb/m$^2$

B = 0,80 T

Tesla adalah satuan yang lebih besar daripada gauss.

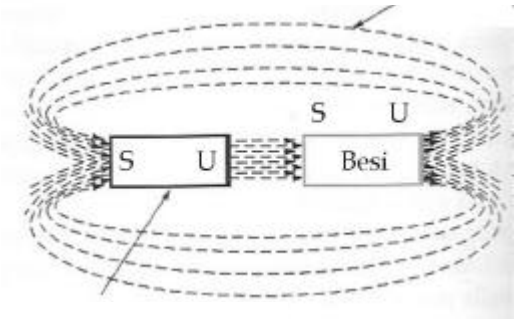
1 T = $10^4$ G

Contoh, kerapatan flux 20.000 G sama dengan 2 T. Perhitungan konversi adalah

$$\frac{20.000G}{1x10^4 G/T} ? \frac{2x10^4 T}{1x10^4} ? 2T$$

## g) Induksi Medan Magnet

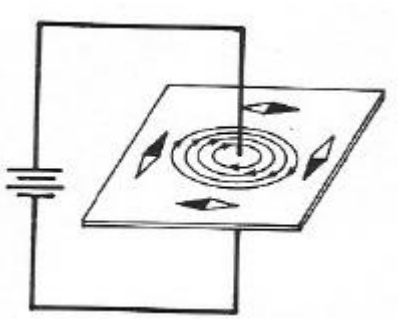
Pengaruh magnetik salah satu benda pada benda lain tanpa sentuhan fisik diantara keduanya disebut *induksi*. Contoh, magnet tetap dapat mendinduksikan batang besi yang belum menjadi magnet menjadi magnet tanpa bersentuhan. Lalu batang besi menjadi magnet, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 7**. Apa yang terjadi adalah garis gaya magnetik yang dibangkitkan oleh magnet tetap menimbulkan magnet-magnet molekul dalam batang besi.




**Gambar 7**
Membuat magnet batang besi dengan cara induksi

## h) Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik

Selama bertahun-tahun Hans Cristian Oersted, seorang guru fisika dari Denmark, mempercayai ada suatu hubungan antara kelistrikan dan kemagnetan, namun dia tidak dapat membuktikan secara eksperimen. Baru pada tahun 1820 dia akhirnya

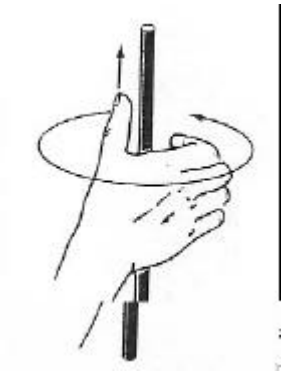


**Gambar 8**
Arus yang mengalir melalui sebuah kawat akan menimbulkan medan magnet.

Oersted mengamati bahwa ketika sebuah kompas diletakkan dekat kawat berarus, jarum kompas tersebut menyimpang atau bergerak, segera setelah arus mengalir melalui kawat tersebut. Ketika arah arus tersebut dibalik, jarum kompas tersebut bergerak dengan arah sebaliknya. Jika tidak ada arus listrik mengalir melalui kawat tersebut, jarum kompas tersebut tetap diam. Karena sebuah jarum kompas hanya disimpangkan oleh suatu medan magnet, Oersted menyimpulkan bahwa suatu arus listrik menghasilkan suatu medan magnet.

Lihatlah **Gambar 8**. Ketika kompas-kompas kecil tersebut diletakkan di sekitar penghantar lurus yang tidak dialiri arus listrik, jarum-jarum kompas tersebut sejajar (semuanya menunjuk ke satu arah). Keadaan ini memperlihatkan bahwa jarum kompas tersebut hanya dipengaruhi oleh medan magnet Bumi. Dengan demikian suatu arus listrik yang mengalir melalui sebuah kawat menimbulkan medan magnet yang arahnya bergantung pada arah arus listrik tersebut. Garis gaya magnet yang dihasilkan oleh arus dalam sebuah kawat lurus berbentuk lingkaran dengan kawat berada di pusat lingkaran.

*Kaidah tangan kanan* dapat digunakan untuk menentukan arah medan magnet sekitar penghantar lurus yang dialiri arus listrik. Lihatlah **Gambar 9**. Arah ibu jari tangan kanan menunjukkan arah arus listrik. Jari-jari tangan yang melingkari penghantar tersebut menunjukkan arah medan magnet.



**Gambar 9**
Kaidah tangan kanan untuk menentukan arah medan magnet.

Dari percobaannya, Oersted menyimpulkan bahwa kerapatan fluk (B) bergantung pada kuat arus dan jarak antara magnet jarum dan kawat berarus listrik. Hal ini juga telah diselidiki lebih jauh oleh Jean Baptiste Biot dan Felix Savart. Dari hasil percobaannya, mereka merumuskan

$$B ? \frac{? _o i}{2? a} \qquad (2)$$

dimana

$?_o$ = permeabilitas ruang hampa udara

= $4?$ x $10^{-7}$ Wb/A.m

B = kerapatan flux dalam satuan $Wb/m^2$

a = jarak titik ke kawat dalam satuan m

Rumus diatas disebut juga hukum Biot-Savart.

**Contoh 3**

Sepotong kawat penghantar yang lurus dialiri arus listrik 2 amper. Berapakah kerapatan flux magnetik pada titik yang berada 2 cm dari kawat tersebut?

**Jawab**

$$B = \frac{\mu_o i}{2\pi a}$$

$= (4\pi \times 10^{-7} \times 2)/(2\pi \times 0{,}02)$

$= 2 \times 10^{-5}$ Wb/m$^2$

## i) Gaya Gerak Magnet pada Kumparan (Koil)

Oersted menyadari bahwa jika sebuah kawat berarus dililit menjadi suatu kumparan, medan magnet yang dihasilkan oleh tiap lilitan dijumlahkan menjadi satu. Hasilnya adalah sebuah medan magnet yang kuat pada tengah-tengah kumparan dan pada kedua ujungnya. Kedua ujung kumparan tersebut berperilaku seperti kutub-kutub sebuah magnet. Sebuah kumparan kawat panjang dengan banyak lilitan disebut *solenoida*. Dengan demikian sebuah solenoida bekerja seperti sebuah magnet ketika arus listrik mengalir melalui solenoida tersebut. Kutub utara dan selatan berubah sesuai dengan arah arus tersebut. Medan magnet solenoida dapat diperkuat dengan memperbesar jumlah belitan atau besar arus yang mengalir melalui kawat tersebut.

Dengan magnet koil, kuat medan magnet bergantung pada seberapa besar arus yang mengalir pada lilitan koil. Semakin besar arus, semakin besar medan magnet. Koil berperan seperti sebuah magnet batang yang memberikan medan magnet sebanding dengan amper-lilit. Rumusnya adalah

**Amper-lilit = I x N = ggm** **(3)**

dimana I adalah arus dalam amper yang dikalikan dengan jumlah lilitan N. Besaran IN menentukan jumlah gaya magnet yang merupakan *gaya gerak magnet* (ggm).

*Contoh 4*

Hitunglah amper-lilit dari ggm untuk koil dengan 2000 lilitan dan arus 5 mA.

Jawab

ggm = I x N = 2000 x 5 x $10^{-3}$ = 10 Amper-lilit (A-I)

*Contoh 5*

Sebuah koil dengan arus 4 A memberikan gaya magnet 600 A-l. Berapa banyak lilitan yang diperlukan?

Jawab

N =600 / 4 = 150 lilit

*Contoh 6*

Kawat pada sebuah solenoida 250 lilitan mempunyai resistansi 3 ? . (a) Berapa besar arus jika koil dihubungkan ke baterai 6 V? (b) Hitunglah amper-lilit dari ggm.

Jawab

(a) I = V/R = 6V / 3? = 2 A

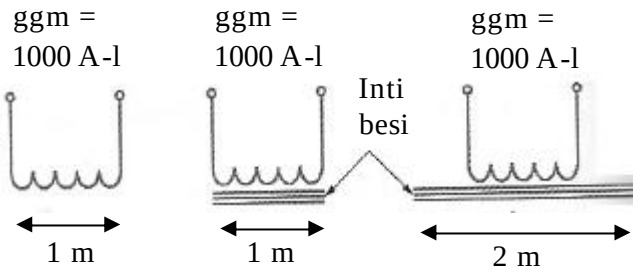
(b) ggm = I x N = 2 A x 250 l = 500 A-l

## Intensitas Medan (H)

Intensitas medan bergantung pada panjang koil. Pada suatu titik tertentu, nilai ggm tertentu akan menghasilkan intensitas medan yang lebih kecil untuk koil yang panjang daripada koil yang pendek. Intensitas medan dalam satuan mks adalah

**H = ggm / panjang** **(4)**

Rumus ini untuk solenoida. Intensitas medan H adalah pada tengah-tengah inti udara. Jika solenoida menggunakan inti besi, H adalah intensitas medan pada seluruh inti besi. Panjang pada Rumus (3) adalah panjang antar kutub-kutub. Pada **Gambar 10a**, panjang adalah 1 m diantara kutub-kutub pada ujung koil. Pada **Gambar 10b**, panjang adalah 1 m antara ujung inti besi. Pada **Gambar 10c**, panjang adalah 2 m antara kutub-kutub pada ujung inti besi, meskipun panjang lilitan hanya 1 m.




**Gambar 10**
Hubungan antara ggm dan intensitas medan H untuk berbagai macam inti.

Contoh pada **Gambar 10** mengilustrasikan perbandingan berikut:

1. Pada semua kasus, ggm adalah 1000 amper-lilit.
2. Pada **Gambar 10a** dan b, H adalah 1000A-l/m. Pada a, H ini adalah intensitas medan pada tengah-tengah inti udara; pada b, H ini adalah intensitas medan pada seluruh inti besi.
3. Pada **Gambar 10c**, karena panjang adalah 2 m, H adalah 1000/2 atau 500A-l/m. H ini adalah intensitas medan pada seluruh inti besi.

## j) Permeabilitas (?)

Permeabilitas mengacu kepada kemampuan suatu bahan menghantarkan flux magnetik. Simbolnya adalah ?. Permeabilitas didefinisikan sebagai perbandingan antara kepadatan flux dan intensitas medan:

$$? = B/H \qquad (5)$$

Dengan menggunakan satuan SI, B adalah kepadatan flux dalam weber per meter persegi atau tesla; H adalah intensitas medan dalam amper-lilit per meter. Permeabilitas pada ruang hampa tidak 1, tetapi adalah 4? x $10^{-7}$ atau 1,26 x $10^{-6}$ dengan symbol $?_o$. Maka nilai relatif permeabilitas $?_r$ harus dikalikan dengan $?_o$ untuk menghitung ? dalam satuan SI.

*Contoh 7*

Sebuah bahan magnetik mempunyai $?_r$ 500. Hitunglah nilai ? dalam satuan SI.

Jawab

? = $?_r$ x $?_o$ = 500 x 1,26 x 10-6 = 630 x 10-6 T/A-l/m

*Contoh 8*

Untuk ? = 630 x $10^{-6}$ dalam satuan SI, hitunglah kepadatan flux B yang akan dihasilkan oleh intensitas medan 1000 A-l/m.

Jawab

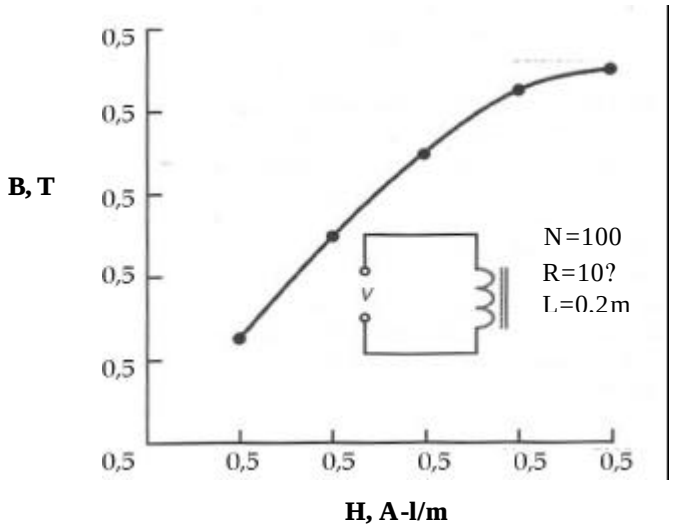
B = ?H 630 x 10-6 x 1000 = 0,63 T

## k) Kurva B-H

Kurva B-H pada **Gambar 11** sering digunakan untuk memperlihatkan seberapa besar kepadatan flux B dipengaruhi oleh intensitas medan H. Kurva ini untuk inti besi lunak yang digambar dari nilai yang dicantumkan pada **Tabel 1**.

Nilai-nilai yang ada pada **Tabel 1** dihitung sebagai berikut:

1. Arus I dalam koil sama dengan V/R. Untuk resistansi koil 10 ? dengan tegangan 20 V, I adalah 2 A, seperti yang terdapat pada **Tabel 1**. Menaikkan nilai V menghasilkan arus yang lebih besar dalam koil tersebut.




**Gambar 11**
Kurva B-H untuk besi lunak.

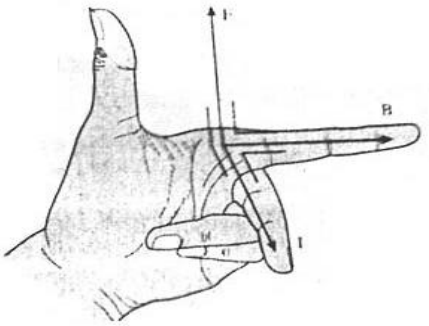
**Tabel 1.** Nilai-nilai B-H untuk Gambar 11

| V, volt | R, ? | I=V/R, Amper | N, lilitan | ggm, A-l | L, m | H, A-l/m | $?_r$ | B=?xH, T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 10 | 2 | 100 | 200 | 0,2 | 1000 | 100 | 0,126 |
| 40 | 10 | 4 | 100 | 400 | 0,2 | 2000 | 100 | 0,252 |
| 60 | 10 | 6 | 100 | 600 | 0,2 | 3000 | 100 | 0,378 |
| 80 | 10 | 8 | 100 | 800 | 0,2 | 4000 | 85 | 0,428 |
| 100 | 10 | 10 | 100 | 1000 | 0,2 | 5000 | 70 | 0,441 |

2. Gaya magnet IN naik bersamaan dengan naiknya arus. Karena lilitan konstan pada 100, nilai IN naik dari 200 untuk arus 2 A menjadi 1000 untuk arus 10 A.
3. Intensitas medan H naik bersamaan dengan kenaikkan IN. Nilai H dalam satuan amper-lilit per meter. Nilai ini sama dengan IN/0,2, karena panjang koil 0,2 m. Maka tiap IN hanya dibagi dengan 0,2 atau dikalikan dengan 5.
4. Kepadatan flux B bergantung pada intensitas medan H dan permeabilitas besi,. Nilai B yang terletak di kolom terakhir diperoleh dengan mengalikan ? x H. Tetapi dengan satuan SI, nilai $?_r$ yang dicantumkan harus dikalikan dengan 1,26 x $10^{-6}$ agar mendapatkan ? x H dalam tesla.

## I) Gaya Lorentz

Anda telah mengetahui bahwa suatu arus listrik dapat memberikan suatu gaya pada sebuah magnet, misalnya sebuah kompas. Anda juga telah mengetahui bahwa gaya selalu terjadi dalam pasangan. Apakah medan magnet memberikan suatu gaya pada suatu penghantar berarus listrik?

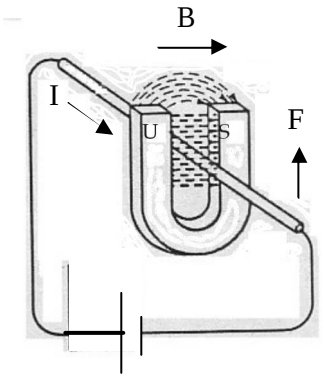


**Gambar 13**

Jari tengah menunjukkan arah arus listrik (I), telunjuk menunjukkan arah medan magnet (B), ibu jari menunjukkan arah gaya (F).

Untuk menjawab pertanyaan tersebut, perhatikan percobaan pada *Gambar 12*. Sebuah penghantar ditempatkan di dalam medan magnet antara kutub-kutub magnet U. Ketika arus dialirkan melalui penghantar tersebut, penghantar akan bergerak ke atas. Maka jawabannya adalah ya. *Suatu medan magnet memberikan suatu gaya pada sebuah kawat yang dialiri arus.* Gaya yang menyebabkan penghantar tersebut bergerak ke atas ini disebut *gaya Lorentz.*

Arah arus listrik, medan magnet, dan gaya tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan *aturan tangan kiri* seperti yang diperlihatkan pada *Gambar 13*.




**Gambar 12**

Medan magnet (B) mengerjakan sebuah gaya (F) pada penghantar yang dialiri arus listrik (I).

Jika medan magnet dengan kepadatan flux = B, tegak lurus penghantar yang panjangnya = l dan dialiri arus listrik sebesar I maka besarnya gaya Lorentz dirumuskan sebagai berikut:

$$F = B.I.l \qquad (6)$$

Dimana :

F = gaya Lorentz dalam Newton (N).

I = kuat arus listriks dalam amper (A).

l = panjang kawat dalam meter (m).

B = kepadatan flux dalam weber/$m^2$.

Rumus di atas hanya berlaku jika arah arus dan B saling tegak lurus. Jika I dan B membentuk sudut ?, maka besarnya gaya Lorentz dirumuskan sebagai berikut:

$$F = B.I.l \sin ? \qquad (7)$$

## m) Aplikasi: Pesan Magnetik

Pita audio dan video berisi pesan-pesan magnetik yang diterjemahkan menjadi suara dan gambar oleh mesin. Pesan-pesan tersebut direkam ketika pita tersebut melewati suatu electromagnet. Ketika arus listrik dalam electromagnet tersebut berubah, magnet tersebut menjadi lebih kuat maupun lebih lemah. Perubahan ini direkam sebagai daerah magnetik yang lebih kuat maupun lebih lemah pada pita. Ketika pita dimainkan, suatu sensor mendeteksi dan menguatkan perubahan tersebut. Anda mendengar dan melihat hasilnya.

Untuk mendemonstrasikan hubungan antara kemagnetan dan pulsa elektronik, ambilah pita video yang sudah tidak digunakan. Putar video tersebut, kemudian digulung kembali. Tarik keluar pita video tersebut dan dekatkan pita ke magnet. Pita akan tertarik ke magnet, membuktikan bahwa pita adalah magnetik. Sekarang putar lagi pita tersebut. Apa yang Anda

dengan dan lihat? Anda telah menghapus sebagian isi pita dengan mengacak-acak rekaman magnetik.

## c. Rangkuman

- Kemagnetan adalah suatu sifat zat yang teramati sebagai suatu gaya tarik antara kutub-kutub tidak senama maupun gaya tolak antara kutub-kutub senama.
- Besi, nikel dan baja adalah contoh bahan magnetik yang umum. Udara, kertas dan plastik adalah bahan bukan magnetik.
- Bahan-bahan magnetik dapat dibuat magnet ketika diletakkan dalam medan dari magnet lain.
- Medan magnet adalah daerah sekitar magnet tempat gaya magnet bekerja.
- Solenoida adalah kumparan/koil kawat yang mempunyai banyak lilitan.
- Medan magnet solenoida dapat diperkuat dengan memperbesar jumlah lilitan maupun arus yang mengalir melalui solenoida tersebut.
- Sebuah medan magnet memberikan suatu gaya pada sebuah kawat yang dialiri arus listrik.

## d. Tugas

Gunakan istilah-istilah yang ada dalam kotak untuk mengisi tempat yang kosong pada pernyataan di bawah.

| | | |
|---|---|---|
| arah | magnet | utara |
| bawah | medan magnet | tarik-menarik |
| electromagnet | menaikkan | solenoida |
| lilitan | lingkaran | medan magnet |

1. Daerah sekitar magnet dimana gaya magnet bekerja disebut .....

2. Kutub magnet diberi nama utara sebab kutub tersebut menghadap ke arah .....
3. Jarum kompas pada dasarnya merupakan sebuah .....
4. Pola serbuk besi pada kutub-kutub tidak senama adalah .....
5. Arus listrik yang mengalir melalui sebuah kawat akan menimbulkan .....
6. Inti besi pada koil dapat ..... medan magnet.
7. Garis medan magnet yang dihasilkan oleh arus dalam kawat lurus berbentuk .....
8. Kumparan panjang dengan banyak lilitan disebut .....
9. Kutub-kutub utara dan selatan dari sebuah solenoida yang dialiri arus listrik ditentukan oleh ..... arus listrik.
10. Medan magnet solenoida dapat diperbear dengan menaikkan jumlah .....dan besar arus listrik.
11. Inti besi yang dimasukkan ke kumparan dapat menjadi ..... jika kumparan dialiri arus listrik.
12. Jika arah medan magnet dari barat ke timur, arah arus listrik dari selatan ke utara, maka arah gaya Lorentz adalah ke .....

## e. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Garis gaya yang tidak tampak di medan magnet disebut .....
2. Kutub utara magnetik ditolak oleh kutub ..... magnetik.
3. Flux magnetik berasal dari kutub ..... menuju kutub .....
4. Bahan magnetik yang paling kuat adalah .....
5. Gaya yang menimbukan flux magnetik adalah .....
6. Satuan SI untuk flux adalah .....
7. Satuan SI untuk kepadatan flux adalah .....
8. Perbandingan antara B dan H disebut .....

## f. Kunci Jawaban

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | flux | 5. | gaya gerakmagnit |
| 2. | utara | 6. | weber |
| 3. | utara, selatan | 7. | weber/$m^2$ |
| 4. | besi | 8. | permeabilitas |

## g. Lembar Kerja

Peralatan dan Komponen

kawat tembaga berisolasi panjang 100 cm

pensil, 1 buah

kompas, 1 buah

sakelar, 1 buah

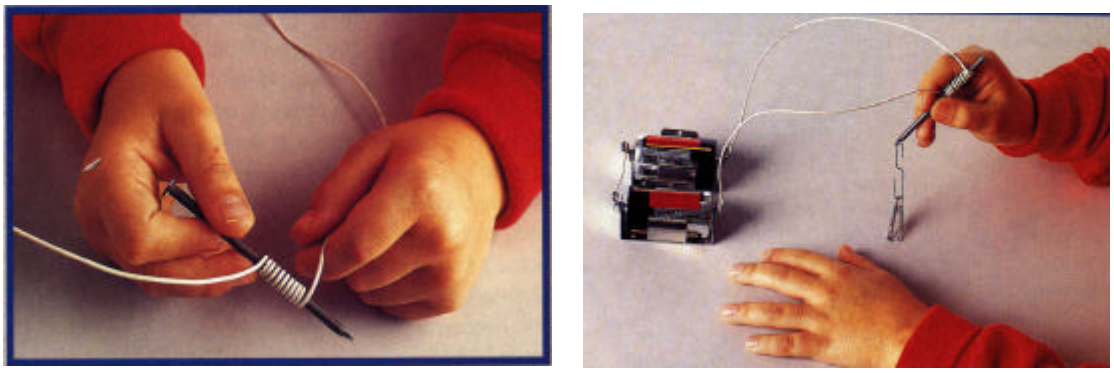
baterai 1,5 V, 2 buah

paku, 1 buah

penjepit kertas, 10 buah

**Prosedur**

1. Buatlah sebuah paku yang dililiti kawat seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 14a**. Banyak lilitan pada tersebut adalah 20 lilit. Sisakan 15 cm pada tiap ujung kawat yang tidak kawat yang tidak dililitkan.



(a) (b)

**Gambar 14**

Elektromagnet yang terbuat dari paku.
(a) Paku dibelit kawat, (b) Elektromagnet ditempelkan ke penjepit kertas.

2. Dengan sakelar masih terbuka, hubungkan ujung-ujung kawat ke baterai. Ujilah koil tersebut dengan sebuah kompas. Apakah jarum kompas bergerak? Catatlah hasil pengamatanmu.
3. Tutuplah sakelar tersebut. Ujilah koil tersebut dengan kompas. Apakah jarum kompas bergerak? Catatlah hasil pengamatanmu.
4. Tempelkan sebuah penjepit kertas ke ujung paku, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 14b**. Apakah penjepit tersebut melekat pada paku? Catatlah hasil pengamatanmu. Buka sakelar setelah menutup selama 5 detik.
5. Tutup sakelar tersebut. Tempelkan beberapa penjepit satu persatu ke paku tersebut sampai paku tidak dapat menahan penjepit terakhir. Buka sakelar ketika paku menjatuhkan penjepit terakhir. Catatlah jumlah penjepit yang dapat melekat pada paku.
6. Sekarang buatlah belitan kawat sebanyak 40 lilitan. Ulangi prosedur 4 dan 5.
7. Lepaskan kawat dari paku. Ulangi prosedur 1 sampai 6 dengan menggunakan pensil sebagai pengganti paku. Catatlah hasil percobaan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Jumlah Penjepit yang Melekat pada Elektromagnet

| Paku | | Pensil | |
|---|---|---|---|
| 20 lilitan | 40 lilitan | 20 lilitan | 40 lilitan |
| | | | |

Analisis

1. Berapakah jumlah lilitan yang memungkinkan paku menahan penjepit paling banyak? Mengapa demikian?
2. Bagaimanakah dengan pensil jika dibandingkan dengan paku sebagai inti koil?
3. Jika Anda membuka sakelar, apakah paku masih dapat menarik penjepit? Mengapa demikian?

## 2. Kegiatan Belajar 2

## Induksi Elektromagnetik

### a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini Anda dapat

- Menjelaskan kaitan antara medan magnet dan arus listrik.
- Menjelaskan bagaimana flux magnet yang memotong sebuah konduktor dapat menghasilkan tegangan induksi.
- Menghitung tegangan induksi pada ujung-ujung konduktor dengan menggunakan hokum Faraday.
- Menjelaskan cara kerja relai.

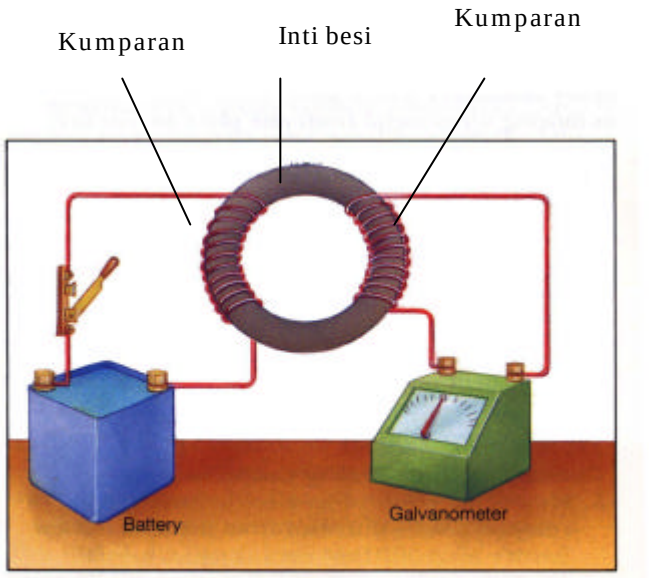
### b. Uraian Materi

### a) Tegangan Induksi

Untuk menghasilkan arus listrik dari medan magnet, Faraday menggunakan peralatan yang ditunjukkan pada **Gambar 15**. Kumparan sebelah kiri dihubungkan ke baterai. Ketika arus mengalir melalui kawat, dihasilkan medan magnet. Kuat medan magnet diperbesar oleh inti besi, sebagai sebuah elektromagnet. Faraday berharap bahwa arus searah akan menghasilkan arus pada kumparan/koil sebelah kanan. Tetapi bagaimanapun kuatnya arus searah yang digunakan, Faraday tidak memperoleh hasil seperti yang diinginkan. Medan magnet tersebut tidak menghasilkan arus pada kumparan kedua.

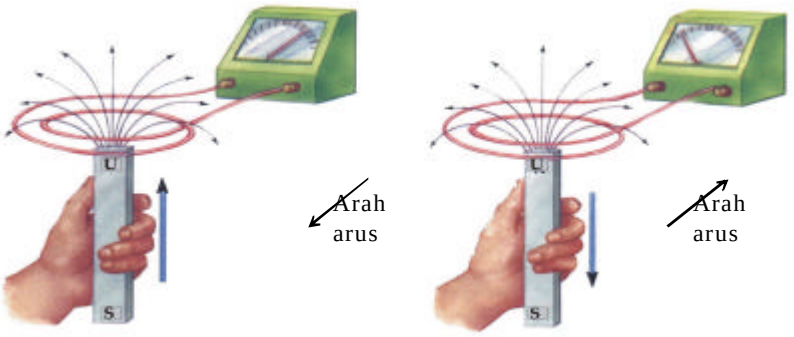
Tetapi, sesuatu yang aneh mengganggu perhatian Faraday. Jarum galvanometer menyimpang ketika arus dialirkan dan diputus secara cepat. Dengan demikian arus dihasilkan pada kumparan sebelah kanan, tetapi hanya ketika arus (demikian juga medan magnet) berubah.

Faraday menyimpulkan meskipun medan magnet yang konstan tidak menghasilkan arus listrik, tetapi medan magnet yang berubah akan menghasilkan arus listrik. Arus demikian disebut *arus induksi*. Proses menghasilkan arus oleh perubahan medan magnet disebut *induksi elektromagnetik*.



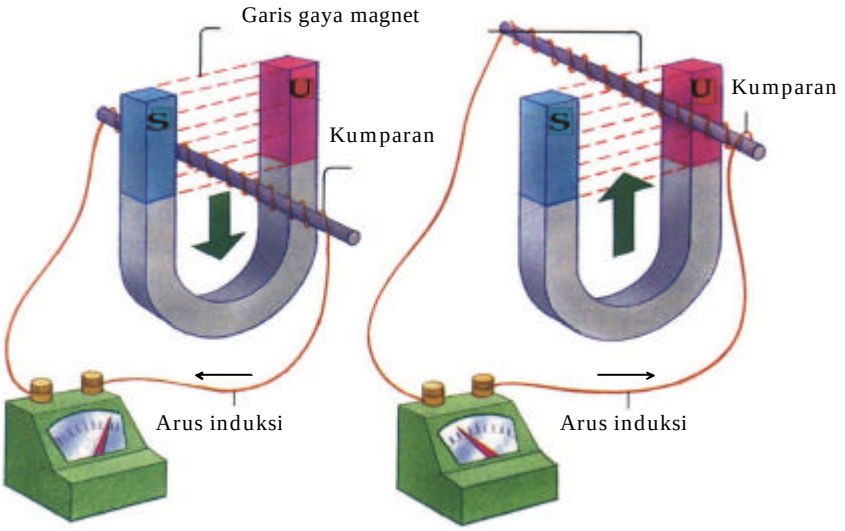

**Gambar 15**
Dengan menggunakan rangkaian semcam ini, Faraday menemukan bahwa ketika arus dalam kumparan sebelah kiri diubah, arus diinduksikan ke kumparan sebelah kanan. Arus yang berubah menimbulkan medan magnet yang berubah pula, yang menimbulkan arus.

Faraday melakukan beberapa percobaan tentang sifat induksi elektromagnet. Salah satunya adalah dia menggerakkan sebuah magnet dekat lingkaran kawat tertutup, seperti diperlihatkan pada **Gambar 16**. Apa yang diperoleh ketika magnet tidak digerakkan adalah tidak ada arus dalam kawat tersebut. Tetapi ketika magnet digerakkan, arus diinduksikan dalam kawat tersebut. Arah arus bergantung pada arah gerakan magnet. Pada percobaan lain dia memegang magnet dan meng-gerakan rangkaian kawat, seperti




**Gambar 16**
Arus diinduksikan dalam kawat melingkar yang didekatkan ke medan magnet yang berubah. Magnet digerakkan melalui kawat diam. Arah arus bergantung pada apa?

diperlihatkan pada **Gambar 17**. Dalam hal ini arus juga diinduksikan.




**Gambar 17**

Arus induksi timbul dalam kawat ketika kawat digerakkan melalui medan magnet yang diam.

Satu ciri umum pada semua percobaan Faraday adalah medan magnet yang berubah. Bukan menjadi masalah bagaimana cara medan magnet berubah, apakah magnet yang digerakkan ataukah rangkaiannya yang digerakkan. Yang penting adalah terdapat perubahan medan magnet. *Arus listrik akan diinduksikan dalam rangkaian yang didekatkan ke medan magnet yang berubah*.

Perhatikan **Gambar 18**, suatu konduktor yang panjangnya l bergerak dengan kecepatan v melalui medan magnet yang arahnya menjahui kita dan menembus kertas (tegak lurus).

Misalkan konduktor bergerak dengan arah tegak lurus dengan arah medan. Elektron dalam konduktor akan mengalami gaya sepanjang konduktor, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$F = q\ v\ B$$

Gaya ini akan memindahkan muatan q dari P ke Q dengan usaha sebesar

$$W = F\ \square \quad \text{atau}$$

$$W = \square\ q\ v\ B$$

Gaya gerak listrik (GGL) induksi adalah energi (usaha) untuk memindahkan satu satuan muatan listrik yang dinyatakan sebagai berikut:

$$?_{ind} = \square\square v\ B \qquad (8)$$

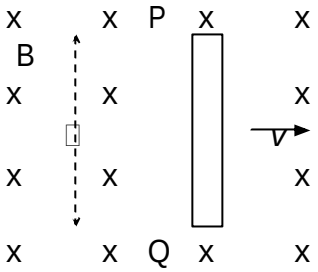
dimana

$?_{ind}$ = gaya gerak listrik induksi (volt)

$\square$ = panjang kawat konduktor (m)

$v$ = kecepatan gerak konduktor (m/dt)

B = kuat medan magnet sekitar penghantar ($Wb/m^2$)




**Gambar 18**
Penghantar dengan panjang ? digerakkan dengan kecepatan *v* dalam medan magnet B.

## b) Hukum Faraday

Berdasarkan percobaan Faraday diketahui bahwa tegangan listrik yang diinduksikan oleh medan magnet bergantung pada tiga hal berikut:

1. *Jumlah lilitan*. Semakin banyak lilitan pada kumparan, semakin besar tegangan yang diinduksikan.
2. *Kecepatan gerakan medan magnet*. Semakin cepat garis gaya magnet yang mengenai konduktor, semakin besar tegangan induksi.
3. *Jumlah garis gaya magnet*. Semakin besar jumlah garis gaya magnet yang mengenai konduktor, semakin besar tegangan induksi.

Faktor-faktor tersebut sangat penting dalam banyak aplikasi. Jumlah tegangan induksi dapat dihitung dengan hukum Faraday sebagai berikut:

$$?_{ind} = N\frac{d?(weber)}{dt(\det ik)} \qquad \textbf{(9)}$$

dimana N adalah jumlah lilitan dan d? /dt menentukan kecepatan flux ? memotong konduktor. Dengan d? /dt dalam weber per detik, tegangan induksi dalam satuan volt.

*Contoh 9*

Flux magnetik memotong 300 lilitan dengan kecepatan 2 Wb/dt. Berapakah tegangan induksi?

*Jawab*

$?_{ind}$ = N *d? /dt*

= 300 x 2 = 600 V

Simbol d dalam d? dan dt berarti perubahan. Simbol d? berarti perubahan flux ? dan dt berarti perubahan waktu. Contoh, jika flux ? adalah 4 Wb pada suatu waktu lalu berubah menjadi 6 Wb, maka perubahan flux d? adalah 2 Wb. Demikian juga dt berarti perubahan waktu. Jika kita menganggap awal flux ? pada detik 2 dan akhir flux ? pada detik 3, maka perubahan waktu adalah 3-2 = 1 dt. Misalkan flux naik 2 Wb dalam waktu 0,5 dt. Lalu d? /dt = 2 Wb / 0,5 dt = 4 Wb/dt

## c) Aplikasi: Relai

Relai merupakan alat elektromekanik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Relai menggunakan sebuah elektromagnet untuk membuka maupun menutup satu kontak atau lebih. Kontak relai yang terbuka ketika relai tidak dialiri arus disebut kontak *normal terbuka* (*normally open* = NO).

Sebaliknya, kontak relai yang tertutup ketika relai tidak dialiri arus disebut kontak *normal tertutup* (*normally closed* = NC).

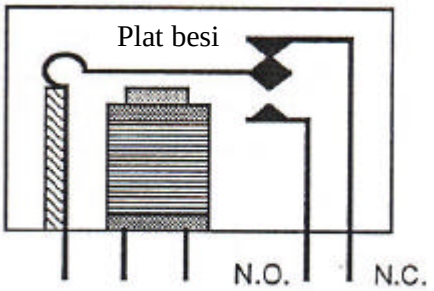
**Gambar 19** memperlihatkan simbol diagram relai yang biasa digunakan. **Gambar 19(a)** memperlihatkan simbol kontak normal terbuka, sedangkan **Gambar 19(b)** memperlihatkan simbol kontak normal tertutup.

**Gambar 20** memperlihatkan bagian-bagian pokok dari sebuah relai. Ketika kumparan tidak dialiri arus, kontak bersama terhubung dengan ujung NC.

(a) (b)

**Gambar 19**

Simbol untuk menggambarkan relai: (a) Simbol untuk menggambarkan normal terbuka, (b) Simbol untuk menggambarkan normal tertutup




**Gambar 20**
Bagian-bagian pokok sebuah relai.

Ketika kumparan tersebut dialiri arus, elektromagnet tersebut akan menarik plat besi sehingga kontak bersama tersebut terhubung ke ujung NO.

## c. Rangkuman

- ☞ Percobaan Faraday menunjukkan bahwa perubahan medan magnet dalam kumparan menimbulkan arus maupun tegangan induksi.
- ☞ Timbulnya tegangan induksi yang disebabkan oleh perubahan medan magnet disebut induksi elektromagnetik.
- ☞ Besar tegangan induksi bergantung pada jumlah lilitan, kecepatan perubahan medan magnet dan kuat medan magnet.
- ☞ Relai merupakan alat elektromekanik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik.
- ☞ Relai menggunakan sebuah elektromagnet untuk membuka maupun menutup satu kontak atau lebih.
- ☞ Kontak relai yang terbuka ketika relai tidak dialiri arus disebut kontak *normal terbuka* (*normally open* = NO). Sebaliknya, kontak relai yang tertutup ketika relai tidak dialiri arus disebut kontak *normal tertutup* (*normally closed* = NC)

## d. Tugas

Gunakan istilah-istilah yang ada dalam kotak untuk mengisi tempat yang kosong pada pernyataan di bawah.

| | | |
|---|---|---|
| arus induksi | gerakan magnet | normal terbuka |
| berubah | induksi elektromagnetik | normal tertutup |
| elektromagnet | medan magnet | NC |
| elektro-mekanis | mengalir dan putus | sakelar |

1. Arus mengalir melalui kawat, lalu pada kumparan timbul .....
2. Jarum galvanometer akan menyimpang ketika arus listrik ..... secara cepat.
3. Proses menghasilkan arus oleh perubahan medan magnet disebut .....
4. Medan magnet yang berubah akan menghasilkan .....
5. Arah arus induksi bergantung pada arah .....

6. Relai adalah alat .... yang bekerja berdasarkan induksi eletromagnetik.
7. Ciri umum percobaan Faraday adalah medan magnet yang .....
8. Kontak relai yang terbuka ketika relai tidak diberi sumber tegangan disebut kontak .....
9. Kontak relai yang tertutup ketika relai tidak diberi sumber tegangan disebut kontak .....
10. Ketika kumparan tidak diberi catu daya, kontak bersama terhubung dengan ujung .....
11. Ketika kumparan diberi catu daya, inti besi akan berubah menjadi .....
12. Pada dasarnya relai merupakan sebuah .....

## e. Tes Formatif

1. Hitunglah kecepatan perubahan flux (d? /dt) dalam satuan weber per detik untuk kondisi berikut: (a) 6 Wb naik menjadi 8 Wb dalam 1 detik; (b) 8 Wb turun menjadi 6 Wb dalam 1 detik.
2. Suatu medan magnetik memotong sebuah kumparan yang mempunyai 500 lilitan pada kecepatan 2000 ?Wb/dt. Hitunglah nilai tegangan induksi, $?_{ind}$.

## f. Jawaban Tes Formatif

1. (a) 2 Wb/dt
   (b) –2 Wb/dt
2. $?_{ind}$ = 1 V

## g. Lembar Kerja

**<u>Kegiatan 1</u>:**

**Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tegangan/Arus Induksi**

### Alat dan Bahan

kumparan dengan 100 lilitan dan 200 lilitan, masing-masing 1 buah

kabel dilengkapi klip buaya, 2 buah

ampermetermikro, 1 buah

magnet batang kecil/lemah, 1 buah

magnet batang besar/kuat, 1 buah

### Membuat Hipotesis

1. Rumuskan hipotesis pengaruh kuat medan magnet terhadap tegangan/arus induksi.

Hipotesis 1

.....

.....

.....

.....

2. Rumuskan hipotesis pengaruh jumlah lilitan kumparan terhadap tegangan/arus induksi.

Hipotesis 2

.....

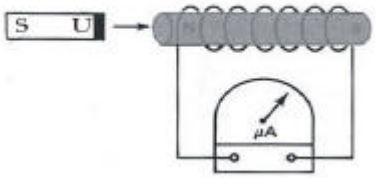
.....

.....

.....

**Prosedur Uji Hipotesis 1**

1. Hubungkan ujung-ujung kawat kumparan 100 lilitan ke ampermetermikro seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 21**. Amati penunjukkan jarum ampermetermikro tersebut.
2. Dengan tetap mengawasi ampermetermikro, masukkan satu ujung magnet batang kecil ke dalam kumparan tersebut. Kemudian tarik keluar dari kumparan. Ulangi gerakan ini dan catat pengamatanmu ke **Tabel 3**.
3. Masukkan satu ujung magnet batang besar ke dalam kumparan tersebut. Kemudian tarik keluar dari kumparan. Catatlah hasil pengukuranmu ke **Tabel 3**.




**Gambar 21**
Kumparan terbuat dari kawat dihubungkan
ke ampermeter mikro

**Tabel 3**
Pengaruh Kekuatan Magnet Batang terhadap Tegangan Induksi

| | **Nilai Arus** |
|---|---|
| Magnet kecil | |
| Magnet besar | |

## Prosedur Uji Hipotesis 2

1. Hubungkan ujung-ujung kawat kumparan 100 lilitan ke ampermetermikro seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 21**. Amati penunjukkan jarum ampermetermikro tersebut.

2. Dengan tetap mengawasi ampermetermikro, masukkan satu ujung magnet batang kecil ke dalam kumparan tersebut. Kemudian tarik keluar dari kumparan. Ulangi gerakan ini dan catat pengamatanmu ke **Tabel 4**.

3. Gantilah kumparan 100 lilitan dengan kumparan 200 lilitan. Masukkan satu ujung magnet batang kecil ke dalam kumparan. Kemudian tarik keluar dari kumparan. Ulangi gerakan ini dan catat pengamatanmu ke **Tabel 4**.

**Tabel 4**
Pengaruh Kekuatan Jumlah Lilitan terhadap Tegangan Induksi

| | Nilai Arus |
|---|---|
| Kumparan 100 lilitan | |
| Kumparan 200 lilitan | |

## Analisis

1. Perhatikan **Tabel 3**. Dengan menggunakan magnet mana diperoleh arus lebih besar?
2. Simpulkan apakah data di **Tabel 3** mendukung ataukah menolak hipotesis 1.
3. Perhatikan **Tabel 4**. Dengan kumparan mana diperoleh arus yang lebih besar?
4. Simpulkan apakah data di **Tabel 4** mendukung ataukah menolak hipotesis 2

**Kegiatan 2:**

**Percobaan Relai**

- **Alat dan Bahan**

  relai 12 V

  bola lampu 6 V beserta soketnya, 2 buah

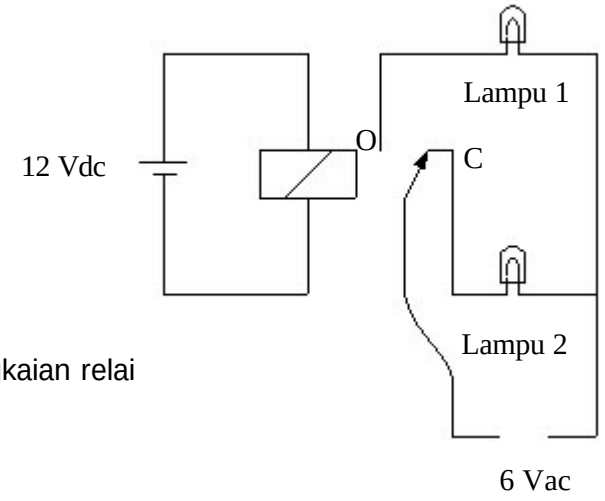
  catu daya dc

- **Prosedur**

  1. Butlah rangkaian seperti pada **Gambar 22**. Rangkaian jangan dihubungkan ke catu daya.
  2. Hubungkan ujung-ujung lampu ke tegangan catu 6 Vac. Lampu manakah yang mnyala.?
  3. Hubungkan ujung-ujung relai ke tegangan catu 12 Vdc. Lampu manakah yang menyala?

- **Analisis**

  1. Lampu manakah yang terhubung ke sakelar normal tertutup (NC)?
  2. Lampu manakah yang terhubung ke sakelar normal terbuka (NO)?
  3. Apakah kegunaan tegangan catu daya 12 Vdc?




**Gambar 22**. Rangkaian relai

# BAB III. EVALUASI

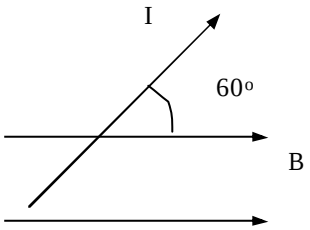
## A. Tes Tertulis

***Kerjakan soal-soal berilut pada lembar terpisah.***

1. Hitunglah kepadatan flux B dalam satuan tesla untuk flux ? 400 ?Wb dalam daerah 0,005 $m^2$.

2. Sebuah koil 2000 lilitan dengan arus 100 mA mempunyai panjang 0,4 m. Hitunglah ggm dalam amper-lilit.

3. Suatu medan magnet dengan kepadatan flux = 50 $Wb/m_2$, dengan arah seperti gambar bawah. Arus listrik I sebesar 5 A mengalir melalui kawat yang panjangnya 10 m dan berada pada medan magnet tersebut. Hitunglah besar adan arah gaya Lorentz.




4. Sebuah koil dengan inti besi mempunyai intensitas medan H 5 A-l/m. Jika permeabilitas relatif $?_r$ sama dengan 300, hitunglah kepadatan flux B dalam satuan tesla.

5. Gambarlah sebuah rangkaian dengan baterai 20 V yang terhubung ke kompuran 100 ? 400 lilitan dengan inti besi yang panjangnya 0,2 m. Dengan menggunakan satuan SI, hitunglah (a) I; (b) ggm; (c) intensitas medan H; (d) kepadatan flux dalam inti besi dengan $?_r$ = 500; (e) flux total pada tiap kutub dalam daerah luasan 6 x $10^{-4}$ $m^2$.

6. Sebuah kumparan mempunyai tegangan induksi $v_{ind}$ 40 V ketika kecepatan perubahan flux sama dengan 25.000 ?Wb/dt. Berapa banyak lilitan yang dipunyai kumparan tersebut?

7. Berapakah besar medan magnet dari kawat lurus panjang yang dilewati arus sebesar 6 A pada titik yang jaraknya 5 cm dari kawat?

## B. Tes Praktik

- Alat dan Bahan

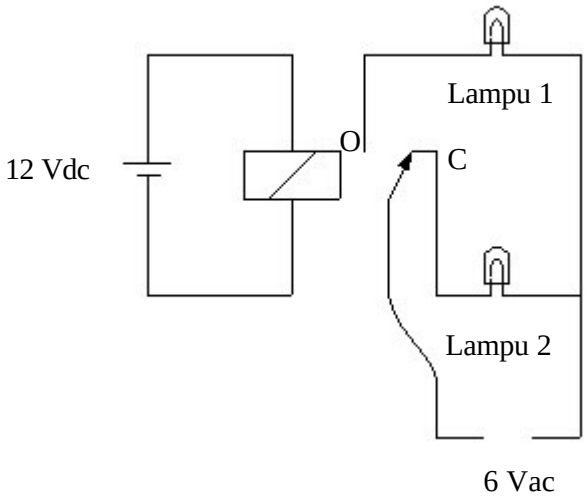
  relai 12 V

  bola lampu 6 V beserta soketnya, 2 buah

  catu daya dc

- Prosedur

  1. Butlah rangkaian seperti pada gambar bawah. Rangkaian jangan dihubungkan ke catu daya.
  2. Hubungkan ujung-ujung lampu ke tegangan catu 6 Vac. Lampu manakah yang menyala.?
  3. Hubungkan ujung-ujung relai ke tegangan catu 12 Vdc. Lampu manakah yang menyala?



# Kunci Jawaban

## A. Tes Tertulis

1. $B = 80 \times 10^{-3}$ T
2. 200
3. 2165 Newton
4. B = 0,00189 T
5. (a) 0,2 A
   (b) 80 A-l
   (c) 400 A-l/m
   (d) 0,252 T
   (e) $1,512 \times 10^{-4}$ Wb
6. N = 1000 lilit
7. $B = 2,4 \times 10^{-5}$ Wb/$m^2$

# LEMBAR PENILAIAN TES PESERTA

Nama Peserta :
No. Induk :
Program Keahlian :
Nama Jenis Pekerjaan :

**PEDOMAN PENILAIAN**

| No. | Aspek Penilaian | Skor Maks. | Skor Perolehan | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I | **Perencanaan**<br>1.1.Persiapan alat dan bahan<br>1.2.Analisis model susunan | <br>2<br>3 | | |
| | **Sub total** | 5 | | |
| II | **Model Susunan**<br>2.1.penyiapan model susunan<br>2.2.Penentuan data instruksi pd model | <br>3<br>2 | | |
| | **Sub total** | 5 | | |
| III | **Proses (Sistematika & Cara kerja)**<br>3.1.Prosedur pengambilan data<br>3.2.Cara mengukur variabel bebas<br>3.3.Cara menyusun tabel pengamatan<br>3.4.Cara melakukan perhitungan data | <br>10<br>8<br>10<br>7 | | |
| | **Sub total** | 35 | | |
| IV | **Kualitas Produk Kerja**<br>4.1.Hasil perhitungan data<br>4.2.Hasil grafik dari data perhitungan<br>4.3.Hasil analis<br>4.4.Hasil menyimpulkan | <br>5<br>10<br>10<br>10 | | |
| | **Sub total** | 35 | | |
| V | **Sikap / Etos Kerja**<br>5.1.Tanggung jawab<br>5.2.Ketelitian<br>5.3.Inisiatif<br>5.4.Kemadirian | <br>3<br>2<br>3<br>2 | | |
| | **Sub total** | 10 | | |
| VI | **Laporan**<br>6.1.Sistematika penyusunan laporan<br>6.2.Kelengkapan bukti fisik | <br>6<br>4 | | |
| | **Sub total** | 10 | | |
| | **Total** | 100 | | |

## KRITERIA PENILAIAN

| No. | Aspek Penilaian | Kriterian penilaian | Skor |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| **I** | **Perencanaan** | | |
| | 1.1. Persiapan alat dan bahan | ? Alat dan bahan disiapkan sesuai kebutuhan | 2 |
| | 1.2.Analisis model susunan | ? Merencanakan menyusun model | 3 |
| **II** | **Model Susunan** | | |
| | 2.1. Penyiapan model susunan | ? Model disiapkan sesuai dengan ketentuan | 3 |
| | 2.2. Penentuan data instruksi pada model | ? Model susunan dilengkapi dengan instruksi penyusunan | 2 |
| **III** | **Proses (Sistematika & Cara kerja)** | | |
| | 3.1. Prosedur pengambilan data | ? Mengenali seluruh komponen yang dibutuhkan<br>? Merakit seluruh komponen sesuai dengan gambar. | 10 |
| | 3.2. Cara mengukur variabel bebas | ? Menghubungkan ujung-ujung lampu ke tegangan catu 6 volt ac serta menuliskan lampu mana yang menyala. | 8 |
| | 3.3. Cara menyusun tabel pengamatan | ? Menghubungkan ujung-ujung lampu ke tegangan catu 12 volt dc serta menuliskan lampu mana yang menyala | 10 |
| | 3.4. Cara melakukan perhitungan data | ? Melengkapi data pengamatan dan pengukuran dalam tabel<br>? Langkah menghitung energi mekanik benda | 8 |
| **IV** | **Kualitas Produk Kerja** | | |
| | 4.1. Hasil perhitungan data | ? Perhitungan dilakukan dengan cermat sesuai prosedur | 5 |
| | 4.2. Hasil grafik dari data perhitungan | ? Pemuatan skala dalam grafik dilakukan dengan benar | 5 |
| | 4.3. Hasil analis | ? Analisis perhitungan langsung dengan metode grafik sesuai/saling mendukung | 10 |
| | 4.4. Hasil menyimpulkan | ? Kesimpulan sesuai dengan konsep teori | 10 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 4.5. Ketepatan waktu | ? Pekerjaan diselesaikan tepat waktu | 5 |
| **V** | **Sikap / Etos Kerja** | | |
| | 5.1. Tanggung jawab | ? Membereskan kembali alat dan bahan setelah digunakan | 3 |
| | 5.2. Ketelitian | ? Tidak banyak melakukan kesalahan | 2 |
| | 5.3. Inisiatif | ? Memiliki inisiatif bekerja yang baik | 3 |
| | 5.4. Kemadirian | ? Bekerja tidak banyak diperintah | 2 |
| **VI** | **Laporan** | | |
| | 6.1. Sistematika penyusunan laporan | ? Laporan disusun sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan | 6 |
| | 6.2. Kelengkapan bukti fisik | ? Melampirkan bukti fisik | 4 |

# BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda berhak untuk mengikuti tes evaluasi untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Jika anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik atau modul berikutnya.

Mintalah pada guru atau instruktur untuk malakukan uji kompetensi dengan sistem penilaian yang dilakukan secara langsung oleh guru atau instruktur yang berkompeten jika anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Jika anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru atau instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh asosiasi profesi, dan selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standar pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh asosiasi profesi.

# Daftar Pustaka


Grob, B. (1997). *Basic electronics* (8th ed.). New York: Glencoe McGraw-Hill.

Fowler, R.J. (1994). *Electricity, principles and applications* (4th ed.). Singapore: McGraw-Hill.

Maton, A., Hopkins, J., Johnson, S., LaHart, D., Warner, M.Q., & Wright, J.D. (1994). *Electricity and magnetism*. New Jersey: Prantice Hall.

Schuler, C.A., & Fowler, R.J. (1993). *Electric circuit analysis*. Singapore: McGraw-Hill.