

# BBM 12

## KEMAGNETAN

### PENDAHULUAN

Bahan Belajar Mandiri (BBM) ini merupakan BBM keduabelas dari mata kuliah Konsep Dasar Fisika untuk SD yang menjelaskan tentang kemagnetan. Konsep kemagnetan ini terbagi ke dalam dua cakupan yaitu mengenai magnet dan induksi elektromagnetik. Sejarah kemagnetan telah ada sejak lama, diawali dengan penemuan sejenis batu hitam yang mirip dengan besi. Dahulu orang Cina menggunakan magnet sebagai kompas saat orang Eropa melakukan eksplorasi sampai Cina pada sekitar tahun 1500. Pada mulanya batu magnetik disebut ‘load stone’ saat diteliti oleh para ilmuwan.

Kini hampir sebagian besar peralatan di sekitar kita yang menggunakan magnet. Seperti generator pembangkit listrik, motor, televisi, tape recorder, hingga telepon seluler. Alat-alat semacam itu bekerja dengan memanfaatkan efek magnetik pada listrik dinamis. Sedemikian beragamnya pemanfaatan magnet dalam setiap peralatan yang sering kita gunakan, sehingga penting bagi kita untuk memahami konsep kemagnetan itu sendiri.

Dalam BBM ini, akan disajikan dua kegiatan belajar, yaitu:

1. Kegiatan Belajar 1 : Magnet
2. Kegiatan Belajar 2 : Induksi Elektromagnetik

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan memiliki kompetensi menjelaskan konsep kemagnetan, yakni mengenai magnet dan induksi elektromagnetik. Secara lebih khusus lagi. Anda diharapkan dapat:

1. Mendeskripsikan pengertian, jenis, dan bentuk magnet.
2. Menjelaskan contoh sifat-sifat magnet.
3. Menjelaskan pengertian medan magnet.
4. Menjelaskan pengertian gaya magnet.
5. Menunjukkan contoh penggunaan magnet dalam kehidupan.
6. Menjelaskan fenomena elektromagnetik.

Pembelajaran mengenai kemagnetan di SD dipelajari di Kelas V Semester 2 dengan Standar Kompetensi “Memahami hubungan antara gaya, gerak, dan energi, serta fungsinya” dan Kompetensi Dasar:

- Mendeskripsikan hubungan antara gaya, gerak, dan energi melalui percobaan (gaya gravitasi, gaya gesek, gaya magnet)

Agar Anda memperoleh hasil yang maksimal dalam mempelajari BBM ini, ikuti petunjuk pembelajaran berikut ini.

1. Bacalah dengan cermat bagian Pendahuluan BBM ini, sampai Anda memahami betul apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari BBM ini.
2. Bacalah bagian demi bagian, temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang Anda anggap baru. Carilah dan baca pengertian kata-kata tersebut dalam daftar kata-kata sulit dalam BBM ini atau dalam kamus yang ada.
3. Tangkaplah pengertian demi pengertian dari isi BBM ini melalui pemahaman sendiri, tukar pikiran dengan sesama mahasiswa, dan dosen Anda.
4. Mantapkan pemahanan Anda melalui diskusi dengan sesama teman mahasiswa.
5. Lakukan semua kegiatan yang diajarkan sesuai dengan petunjuk BBM. Karena di dalam pembelajaran BBM ini kita akan melakukan beberapa pengamatan percobaan.

# KEGIATAN BELAJAR 1

## MAGNET

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak pernah terlepas dari peralatan-peralatan elektronika. Magnet merupakan bagian tak terpisahkan dari alat-alat elektronik dan teknik kelistrikan, karena tidak sedikit konstruksi alat-alat listrik tergantung pada magnet. Alat-alat listrik yang menggunakan magnet antara lain dinamo listrik pada sepeda, generator pembangkit tenaga listrik, motor-motor listrik, dan alat-alat kendali (control) listrik. Hampir pada seluruh pesawat elektronika fenomena kemagnetan mudah kita temui.

Fenomena magnetisme (kemagnetan) sebenarnya telah diamati manusia sejak beberapa abad sebelum masehi. Pada masa lampau magnet dikenal sebagai sebuah material berwarna hitam yang disebut *lodestone* dan dapat menarik besi serta benda-benda logam lainnya. Batu magnet ditemukan pertama kali di Magnesia, Asia Kecil, dan penggunaannya dalam praktek yang pertama dipertunjukkan oleh bangsa Cina pada tahun 2637 Sebelum Masehi, berupa kompas kutub (kompas penunjuk kutub bumi).

Selanjutnya penemuan-penemuan dan percobaan-percobaan penting tentang gejala kemagnetan dilakukan oleh bangsa-bangsa di benua Eropa, misalnya tahun 1269, de Maricourt melakukan studi tentang magnet dan mengamati adanya sepasang kutub pada benda magnetik. Penemuan tentang *magnet bumi* oleh sarjana Inggris Dr. William Gilbert tahun 1540-1603, medan magnet disekitar arus listrik oleh sarjana Denmark Hans Christian Oersted (1771-1851), penemuan *elektromagnetik* oleh sarjana Jerman Clerk Maxwell (1831-1879). Semua eksperimen dan penemuan tersebut sangat penting artinya bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sampai era informasi dan komunikasi sekarang ini.

Atas jasa penemuan elektromagnetik oleh Maxwell maka peran fenomena kemagnetan dan kelistrikan menjadi sangat dominan dalam kehidupan saat ini. Mulai dari gunting, *test-pen*, jam tangan, radio, televisi, komputer hingga peralatan nuklir terkait dengan magnet. Oleh karenanya pengetahuan tentang kemagnetan merupakan pengetahuan dasar bagi masyarakat yang melek sains.

### A. Pengertian Magnet dan Sifat Dasar Magnet

**Magnet** ialah sejenis logam yang juga dikenali dengan nama **besi berani**. Magnet mempunyai kuat medan yang dapat menarik butir-butir besi lain ke arahnya. Perkataan magnet berasal dari bahasa Greek "*magnítis líthos*" (*ἡμῶν λίθος ἑβερῖος*) yang berarti "batu magnesia". Disebut demikian karena magnet mula-mula dijumpai di suatu daerah Asia kecil bernama Magnesia. Suatu

keunikan yang ada pada magnet ini ialah apabila magnet itu digantung, arah yang ditunjukkannya ialah utara-selatan. Magnetit sendiri bisa berarti batu.

Dalam IPA seringkali muncul pengelompokan atau klasifikasi benda-benda atau fenomena alam. Ketika Anda mengelompokkan atau memahami pengelompokkan sesuatu maka yang harus Anda camkan adalah dasar atau argumen dari pengelompokkan tersebut. Oleh karena itu Anda tidak harus bingung ketika mendapatkan informasi pengelompokkan yang berbeda dari benda atau fenomena yang sama. Demikian halnya dengan magnet. Magnet dapat dikelompokkan antara lain berdasarkan bentuk atau berdasarkan kejadiannya. Dari segi kejadiannya magnet dikelompokkan dalam dua macam, yaitu *magnet alam* dan *magnet buatan*.

#### a. *Magnet alam*

Magnet alam adalah magnet yang ada di alam tanpa campur tangan manusia. Kemagnetan magnet alam terjadi karena pengaruh medan magnet dari planet bumi. Magnet alam terdapat di dalam tanah berupa bijih besi magnet dalam bentuk besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Dalam bukunya *de magnete*, William Gilbert menganalogikan bumi kita sebagai sebuah dipole magnetik raksasa, dengan kutub utara magnetik berbeda sekitar  $11,5^\circ$  dari kutub utara geografis bumi. Mengapa bumi bersifat magnetik ? Dari sekian banyak penyebab (sumber) magnet bumi, penyebab utama adalah karena faktor perputaran inti bumi yang bersifat cair. Inti cair bumi terdiri dari lelehan besi dan nikel bertemperatur  $5000^\circ\text{C}$  dan mengandung sejumlah muatan listrik yang berputar mengelilingi sumbunya sedemikian sehingga menghasilkan medan magnet yang arahnya dari selatan menuju utara bumi. Inilah yang menjadikan bumi menjadi sebuah magnet raksasa dengan kutub-selatan magnet di utara, dan kutub-utara magnet di selatan (berbeda dengan penamaan kutub-kutub magnet yang digunakan manusia yang didasarkan pada arah mata angin yang ditunjuknya). Keberadaan medan magnetik bumi memberikan keuntungan bagi kehidupan di planet bumi karena melindungi bumi dari radiasi elektromagnetik matahari atau dikenal sebagai sabuk Van Allen.

Magnet alam tidak banyak digunakan untuk kepentingan manusia karena ketersediaannya tidak seberapa dan kekuatan unsur-unsur kemagnetannya pada umumnya tidak cukup besar. Magnet alam (dalam bentuk batu) ditemukan pertama kali di daerah Magnesia, Asia Kecil. Karena daerah penemuan asal ini lah benda aneh tersebut dinamai magnet. Adapun dalam hal penggunaan praktisnya, menurut sejarah, bangsa Cina lah yang pertama kali memanfaatkannya sekitar tahun 2637 SM, yaitu sebagai alat yang menyerupai fungsi kompas menentukan arah mata angin atau kutub bumi.

## b. *Magnet buatan*

Magnet dapat secara sengaja dibuat oleh manusia dari baja atau besi murni, serta dari bahan paduan seperti paduan baja dengan nikel atau paduan antara aluminium, kobalt, dan nikel (alnico). Anda sudah mengetahui bahwa magnet buatan dapat dihasilkan dengan cara induksi magnet, dengan cara gosokan dan dengan menggunakan arus listrik (induksi listrik). Cara-cara pembuatan magnet berikut, praktikkan bersama dosen Anda pada saat tutorial di kampus.

*Membuat magnet dengan menggunakan arus listrik* Dalam pembuatan magnet ini, kawat (kabel) berarus listrik searah (DC) dililitkan di sekitar batang baja atau bahan ferromagnetik lainnya (misalnya paku) yang akan dibuat magnet. Kekuatan gaya magnet buatan semacam ini tergantung pada kuat arus yang mengalir ke dalam lilitan kawat, dan juga tergantung pada banyak lilitan kawat di sekitar batang baja atau batang bahan magnet lain tersebut.

*Membuat magnet dengan gosokan.* Membuat magnet semacam ini ialah dengan menggosok-gosokan magnet pada batang baja atau batang bahan magnet lainnya yang akan dibuat magnet. Cara menggosok batang magnet pada batang baja haruslah dikerjakan dalam arah yang selalu sama, tidak boleh bolak-balik. Membuat magnet dengan gosokan tidak praktis dan sifat kemagnetannya jarang bertahan lama sehingga tidak banyak dilakukan dalam industri, kecuali hanya untuk percobaan-percobaan fisika di sekolah.

Berdasarkan hasilnya, magnet buatan dibedakan antara magnet tetap (permanen) dan magnet sementara. Biasanya magnet permanen dibuat dari baja yang dikeraskan, dan setelah baja cukup keras kemudian baja tersebut dimasukkan ke dalam kumparan kawat berisolasi yang dialiri arus listrik DC. Magnet sementara dapat dibuat dengan cara yang sama tetapi bahannya dari besi lunak, baja lunak, atau bahan nikel.

Magnet sementara menjadi magnet hanya pada saat digosok dengan batang magnet, atau pada saat dimasukkannya arus listrik ke dalam kumparan. Setelah arus listrik diputus, atau penggosokan pada batang magnet dihentikan, maka bahan magnet tersebut segera kembali seperti semula, tidak lagi memiliki sifat-sifat kemagnetan kecuali hanya sedikit sekali. Magnet sementara ini sangat banyak digunakan untuk kepentingan sehari-hari, seperti kutub magnet generator, motor listrik, alat pengangkat magnetik, transformator, bel listrik, dan lain-lain.

## c. *Jenis magnet berdasarkan bahan dasarnya*

Dapatkah kita membuat magnet dari setiap jenis logam? Logam untuk bahan magnet mempunyai sifat yang berbeda-beda, ada yang mudah sekali dipengaruhi oleh magnet dan dapat dibuat magnet dengan mudah, dan ada yang sukar atau sedikit sekali terpengaruh oleh magnet. Berdasarkan sifat-sifat bahan terhadap pengaruh magnet, bahan-bahan itu digolongkan menjadi empat bagian yaitu ferromagnetik, diamagnetik., paramagnetik, dan non magnetik.

*Bahan Ferromagnetik.* Benda-benda ferromagnetik adalah benda-benda atau bahan-bahan yang sangat mudah dipengaruhi oleh magnet dan juga dengan mudah dapat dibuat magnet. Bahan-bahan ini ialah berupa logam murni dan logam paduan. Logam murni yang merupakan bahan ferromagnetik adalah besi, baja, nikel, dan kobalt. Bahan ini sangat banyak digunakan terutama untuk magnet sementara. Adapun logam paduan yang termasuk bahan ferromagnetik antara lain: baja-kobalt, baja-nikel, aluminium-nikel-kobalt (alnico), besi-nikel (permalloy), besi-nikel-kobalt (perminvar), dan sebagainya. Alnico banyak macamnya, tergantung banyaknya bagian-bagian dari paduan. Di antara bahan-bahan tersebut, yang paling mudah dipengaruhi oleh kekuatan magnet yaitu besi dan baja lunak. Kedua macam bahan ini sangat banyak digunakan untuk magnet sementara, seperti untuk bel listrik, kutub elektromagnet motor listrik, dan sebagainya. Tetapi, dalam industri bahan ini dapat juga dijadikan magnet permanen.

*Bahan Diamagnetis.* Bertolak belakang dengan bahan ferromagnetik, bahan diamagnetik ialah bahan yang sukar sekali dipengaruhi oleh magnet. Bahan ini mempunyai *permeabilitas* (angka koefisien kemagnetan) kurang dari satu. Jika benda diamagnetis di udara atau di ruang hampa udara didekatkan magnet, maka benda ini akan ditolak oleh magnet itu sekalipun dengan pengaruh gaya tolak yang sangat kecil. Contoh zat yang termasuk bahan diamagnetik ialah: bismuth, antimon, seng murni, air raksa, timbal, perak, emas, air, fosfor, dan tembaga.

*Bahan Paramagnetis.* Bahan ini dapat dipengaruhi oleh magnet tetapi tidak dapat dibuat magnet. Yang termasuk bahan paramagnetis ialah: mangan, platina, aluminium, magnesium, timah (tin), oksigen, dan udara.

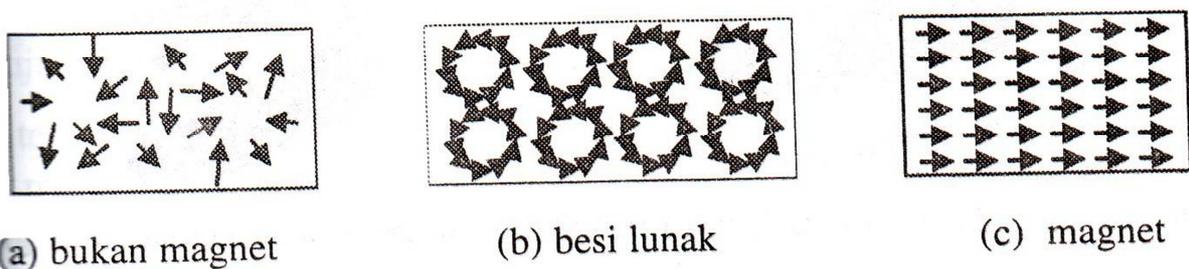
*Bahan Nonmagnetis.* Bahan nonmagnetis ini tidak dapat dipengaruhi magnet dan juga tidak dapat dibuat magnet. Sebagai contoh misalnya kaca, kertas, dan kayu. Dalam klasifikasi lainnya, karena bahan diamagnetis sangat sukar dipengaruhi oleh magnet, seringkali bahan diamagnetis dimasukkan ke dalam golongan bahan nonmagnetis.. Dari bahan-bahan magnetik di atas dibuatlah magnet dengan berbagai bentuk dan kebutuhan.

Bagaimanakah suatu bahan dapat bersifat magnet? Ada dua teori yang menjelaskan bagaimana sebuah bahan bersifat magnet. Menurut Webber semua benda terdiri dari molekul-molekul yang memiliki sifat magnet, disebut *magnet elementer*. Bersifat magnet atau tidak suatu bahan tergantung bagaimana struktur magnet elementer tersebut. Jika letak magnet elementer dalam bahan itu tidak menentu (tidak teratur), sehingga mereka saling menetralkan maka bahan tersebut tidak bersifat magnet.. Pada bahan yang bersifat magnet letak magnet-magnet elementer itu adalah teratur dan mengarah ke satu jurusan, sehingga satu dengan lainnya saling memperkuat.

Weiss menerangkan teori magnet dengan menggunakan teori elektron. Menurut teori Weis, tiap-tiap atom benda terdiri dari inti dan elektron-elektron yang beredar mengelilingi intinya

menurut garis edarnya (orbitnya). Di samping berputar mengelilingi inti menurut garis edarnya, elektron-elektron itu juga berputar sekeliling sumbunya masing-masing. Akibat perputaran pada sumbu elektron ini terjadilah kutub-kutub magnet elementer, yaitu kutub utara dan selatan. Perputaran elektron-elektron menurut sumbunya ini ada positif dan ada yang negatif; artinya arah perputaran itu ada yang searah dan ada yang berlawanan arah. Selanjutnya, perputaran elektron menurut sumbunya disebut *puntiran elektron*. Untuk puntiran-puntiran elektron yang tidak searah serta letak poros-poros elektron tidak teratur menyebabkan kutub-kutub magnet elementer pada poros elektron saling memperlemah (menetralkan) satu dengan lainnya. Kelompok-kelompok elektron yang mempunyai puntiran searah disebut *Kompleks Weiss* atau *Kelompok Weiss*, dan ini akan saling memperkuat sehingga merupakan magnet-magnet kecil di dalam atom-atom benda.

Adanya magnet elementer dalam setiap bahan dijadikan dasar teori kemagnetan. Menurut teori ini besi lunak atau bahan lainnya tersusun oleh magnet-magnet elementer (dipol magnet elementer). Posisi dan komposisi magnet elementer bagi setiap bahan berbeda-beda. Sebagian ada yang acak dan sukar dipengaruhi medan magnet lain, sebagian lagi membentuk susunan teratur dan mudah dipengaruhi oleh medan magnet. Misalnya, magnet elementer pada besi lunak (biji) baja.



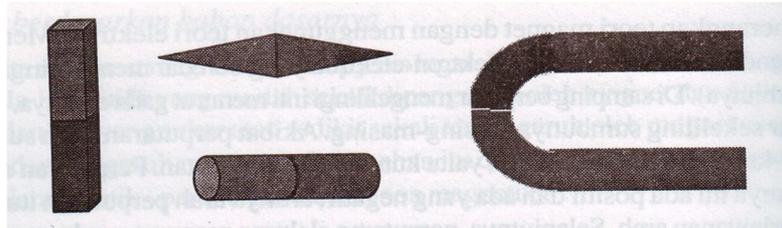
**Gambar 1:** Struktur magnet elementer dalam bahan

Bahan-bahan ferromagnetis (besi lunak) mudah dipengaruhi oleh magnet karena arah puntiran elektron-elektronnya mudah diarahkan. Di antara bahan yang sudah dijadikan magnet ada yang mudah kembali seperti semula, dan ada pula yang tidak dapat kembali atau hampir tidak dapat kembali seperti semula. Kekuatan untuk mengarahkan puntiran elektron seperti semula disebut gaya koersif (*coercive force*). Gaya koersif besi lunak dan pelat-pelat dinamo lebih besar daripada gaya koersif baja atau logam campuran. Artinya, gaya tolak-menolak atau tarik-menarik kutub-kutub elektron besi dan pelat dinamo juga lebih besar.

*d. Jenis Magnet berdasarkan Bentuk*

Jenis magnet juga digolongkan berdasarkan bentuk geometris magnet. Berdasarkan bentuk ini jenis magnet dapat dibedakan atas empat bentuk dasar magnet yaitu magnet batang, magnet jarum, magnet selinder, dan magnet U.

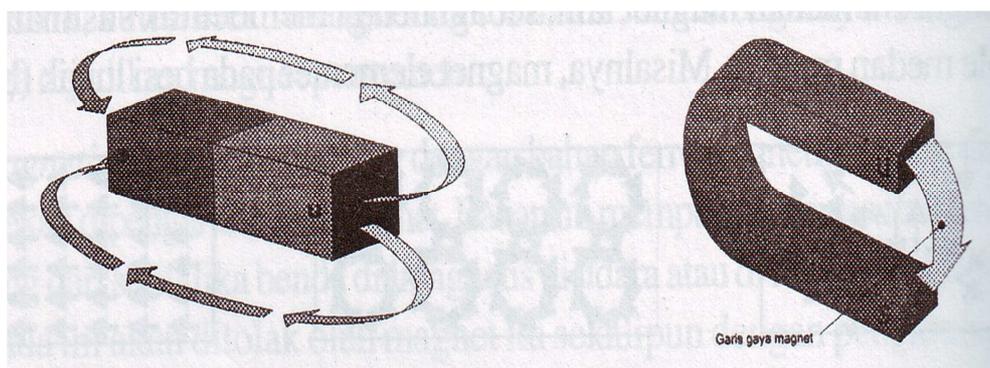
Bentuk magnet di buat berdasarkan tujuan penggunaannya. Misalnya magnet jarum dibuat dengan mempertimbangkan penggunaannya dalam alat kompas penunjuk arah mata angin. Jelas untuk keperluan ini diperlukan magnet yang peka terhadap medan magnet Bumi dan dapat bergerak bebas dengan mudah. Sedangkan untuk keperluan mekanik dengan kekuatan magnet yang besar biasanya dibuat magnet bentuk U atau ladam.



**Gambar 2:** Jenis magnet berdasarkan bentuk geometrik

### **B. Kutub Magnet dan Garis Gaya Magnet**

Selain sifat khasnya dapat menarik benda-benda berunsur besi, magnet memiliki bagian yang sangat unik yang disebut kutub magnet. Fenomena kutub magnet diselidiki pada tahun 1269 oleh de Maricourt. Dalam studinya itu ia mengamati adanya sepasang kutub pada benda magnetik yang merupakan kekuatan gaya terbesar pada magnet. Kutub-kutub ini kemudian dinamakan dengan “kutub utara” dan “kutub selatan”. Jika kutub yang sama didekatkan maka akan saling menolak, dan jika kutub yang berlainan didekatkan akan saling menarik



**Gambar 3:** Perbedaan pola garis gaya menyebabkan perbedaan kekuatan magnet

Magnet selalu memiliki dua kutub, yaitu Utara dan Selatan. Dari kedua kutub tersebut mengalir garis gaya magnet , yaitu dari kutub Utara ke kutub Selatan. Garis gaya magnet tersebut

merambat lewat udara di sekitar batang magnet. Pada magnet berbentuk batang, lintasan yang harus dilalui oleh garis gaya magnet melalui udara relatif panjang, sehingga gaya magnet pada magnet batang lebih lemah. Pada magnet berbentuk U, lintasan yang perlu dilalui oleh garis gaya magnet di udara lebih pendek, maka gaya magnet berbentuk U lebih kuat.

Garis gaya yang keluar dan menuju kutub magnet pada setiap titik disekitar magnet berbeda kerapatannya setiap satuan luas yang ditembus garis gaya tersebut. Kerapatan garis gaya ini disebut juga fluks magnetik. Dalam fisika, besaran untuk garis gaya magnet yang menembus luas permukaan (A) yaitu fluks magnetik ( $\phi$ ) dinyatakan dalam satuan Weber. Fluks magnetik ini sangat erat kaitannya dengan kuat medan induksi magnetik (B). Hubungan antara ketiga besaran tersebut ditunjukkan pada gambar dan rumus sebagai berikut.

$$\phi = B A \cos \alpha$$

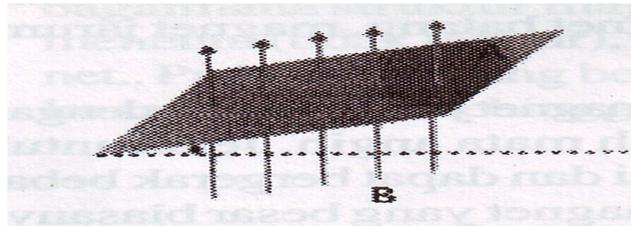
Keterangan:

$\phi$  = fluks magnetik (weber)

B = induksi magnetik

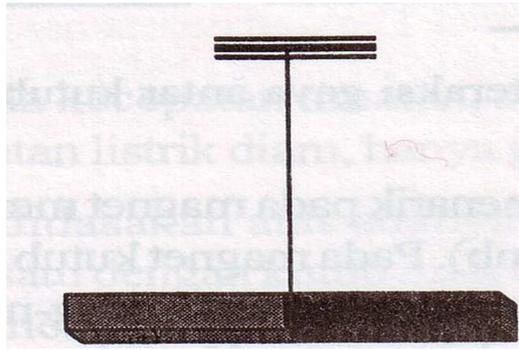
A = luas bidang yang ditembus garis gaya magnetik.

$\alpha$  = sudut antara arah garis normal bidang A dan arah B



**Gambar 4 :** Fluks Magnetik

Untuk mengetahui kutub-kutub magnet gantung lah sebuah magnet batang sehingga dapat bergerak bebas. Tunggu beberapa saat hingga magnet tersebut menggantung dalam keadaan diam. Amati ke arah mata angin mana kah magnet mengarah. Ulangi kegiatan serupa, amati kembali magnet yang menggantung. Dari semua kegiatan tersebut Anda akan mendapatkan bahwa magnet dalam keadaan bebas bergerak akan selalu mengarah ke utara-selatan arah mata angin. Bagian yang selalu mengarah ke utara adalah kutub utara magnet, sedangkan yang selalu mengarah ke selatan adalah kutub selatan magnet.

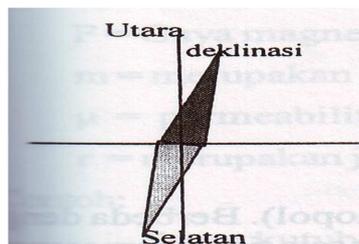


**Gambar 5:** Menggantungkan magnet untuk memeriksa kutub magnet

Demikian halnya dengan magnet jarum. Jika diletakkan sedemikian rupa sehingga ia dapat berputar bebas sekeliling poros tegak lurus, maka ia akan selalu menempatkan dirinya sejajar dengan garis utara-selatan magnet bumi. Ujung jarum magnet yang menunjukkan arah utara disebut kutub utara, dan ujung jarum yang menunjuk arah selatan disebut kutub selatan.

Akan tetapi sebenarnya magnet batang yang digantung atau jarum magnetis kompas, keduanya tidak tepat menunjuk ke arah utara dan selatan, melainkan sedikit berbelok, dan membuat sudut persimpangan dengan garis utara-selatan geografis bumi.

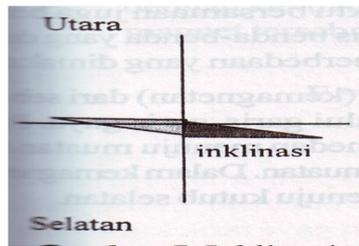
Sudut yang dibentuk oleh garis utara-selatan geografis (bumi) dan garis utara-selatan magnet jarum disebut sudut *deklinasi*. Besar sudut deklinasi tidaklah konstan, tergantung dimana letak magnet jarum tersebut terhadap kutub utara-selatan magnet bumi. Ini berarti, sudut *deklinasi* di Teheran (ibu kota Iran) berbeda dengan sudut deklinasi di New York). Tentu saja ada tempat-tempat yang mempunyai sudut deklinasi yang sama; garis yang menghubungkan tempat-tempat ini, dalam peta, disebut garis *isodeklinasi*.



**Gambar 6.** Inklinasi

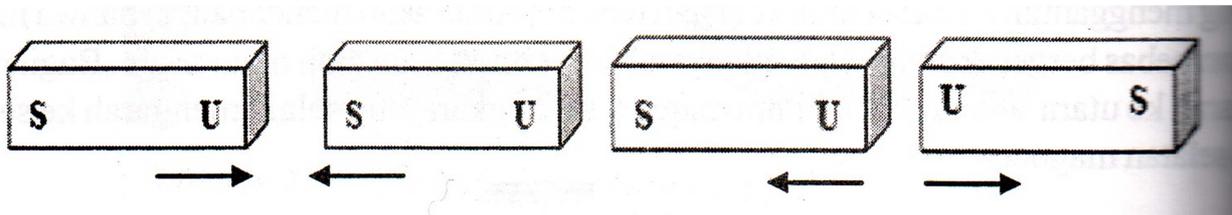
Demikian juga kalau magnet jarum dipasang pada sudut mendatar sehingga ia dapat berputar bebas, maka jarum itu akan sedikit menunjuk ke bawah. Sudut yang dibentuk pada garis mendatar (horizontal) dengan garis kutub utara-selatan magnet jarum disebut sudut *inklinasi*. Besar

sudut inklinasi ini pada setiap di muka bumi tidak sama besarnya, misalnya di kutub utara sudut inklinasi besarnya  $90^\circ$ , dan di katulistiwa sama dengan nol.



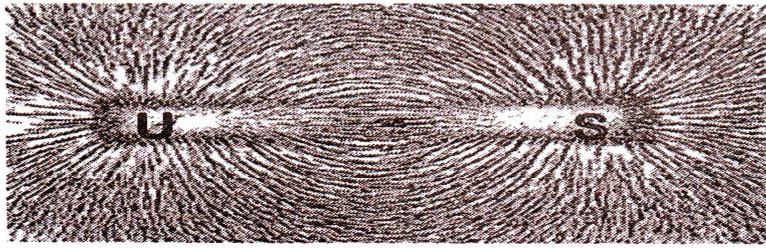
Gambar 7. Deklinasi

Selain sifat tersebut di atas, kutub magnet memiliki sifat yang lain. Cobalah Anda buktikan! Apakah benar jika kutub yang berbeda dari suatu magnet didekatkan akan saling menarik, dan sebaliknya jika kutub senama didekatkan maka akan saling menolak.



Gambar 8. Interaksi gaya antar kutub-kutub magnet

Gaya saling menolak dan saling menarik pada magnet memiliki perbedaan cukup penting dengan gaya antar muatan listrik (gaya Coulomb). Pada magnet kutub utara dan selatan tidak bisa terpisahkan dan selalu berpasangan, sedangkan pada gaya listrik masing-masing muatan (positif dan negatif) bisa terpisah. Pada magnet kutub positif selalu muncul berpasangan dengan kutub negatif, bahkan jika sebuah bahan (batang) magnetik dipotong sedemikian rupa menjadi magnet elementer, selalu saja muncul sepasang kutub. Sepasang kutub yang senantiasa ada pada magnet elementer dikenal dengan istilah dipole magnet (di = dua, pole = kutub). Sebuah dipol magnet (yang merupakan magnet elementer atau satuan terkecil magnet) memiliki medan magnet yang arahnya dari kutub utara magnet menuju kutub selatan magnet seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Benda-benda logam (magnetik) yang berada di sekitar medan magnet tersebut akan mengalami gaya magnetik.



**Gambar 9 :** Garis gaya pada medan magnet

Hingga saat ini sukar ditemukan magnet dengan kutub tunggal (monopol). Berbeda dengan benda bermuatan listrik. Pada listrik, benda bermuatan listrik hanya satu jenis saja tidak berpasangan. Jika suatu benda bermuatan listrik positif maka tidak dapat dalam waktu bersamaan juga benda bermuatan listrik negatif. Demikian sebaliknya. Selain itu dalam hal jenis benda-benda yang dapat ditarik juga berbeda antara magnet dengan listrik. Coba Anda jelaskan perbedaan yang dimaksud!

Seperti dalam kasus elektrostatik (kelistrikan), gejala magnetisme (kemagnetan) dari sebuah benda yang mengandung medan magnet juga bisa digambarkan melalui garis-garis gaya. Pada kelistrikan kita ingat sebuah aturan bahwa untuk muatan negatif arah medan menuju muatan dan untuk muatan positif arah medan listrik ditetapkan keluar menjauhi muatan muatan. Dalam kemagnetan, medan magnet digambarkan sebagai garis-garis gaya dari kutub utara menuju kutub selatan.

Seperti halnya gaya elektrostatik (gaya Coulomb) pada kasus medan listrik, dalam medan magnetik pun terdapat gaya magnetik yang serupa dengan gaya Coulomb. Beberapa perbedaan penting antara kedua gaya di atas adalah :

1. Gaya listrik selalu sejajar dengan arah medan listrik, sedangkan arah gaya magnetik selalu tegak lurus pada medan magnetik
2. Akibatnya gaya listrik akan menghasilkan kerja, sedangkan pada gaya magnetik tidak dihasilkan kerja
3. Gaya listrik tidak bergantung pada kecepatan muatan, sedangkan gaya magnetik bergantung kecepatan. Hal ini berarti jika muatan listrik diam, hanya gaya listrik (Coulomb) yang muncul

Besar kekuatan kutub magnet didasakan atas adanya gara tolak-menolak atau gaya tarik-menarik di antara kutub magnet yang satu dengan kutub magnet lainnya. Menurut Hukum Coulomb, besar gaya tarik-menarik atau tolak-menolak kutub-kutub berbanding langsung dengan kekuatan kutub-kutub itu, dan berban-ding terbalik dengan jarak kuadrat antara kutub dengan kutub yang bersangkutan. Menentukan gaya tarikan atau tolakan antara dua magnet secara umum amat

rumit, karena ia bergantung kepada bentuk magnet, kemagnetannya, kedudukan dan jarak dua magnet itu. Akan tetapi ada satu formula yang biasa digunakan untuk kasus sederhana di antara dua kutub magnet:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2}$$

Keterangan

F = Gaya magnet (satuan SI: Newton)

m = merupakan kekuatan kutub (satuan SI: weber)

$\mu$  = permeabilitas (*permeability*) medium. Dalam udara  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$  Wb/A.m

r = merupakan jarak antara dua magnet (satuan SI: meter).

Contoh:

Suatu kutub magnet berkekuatan  $6,28 \times 10^{-4}$  Wb berada 10 cm dari kutub magnet lainnya dengan kekuatan  $3,14 \times 10^{-3}$  Wb. Jika kedua magnet tersebut di udara, hitung gaya antar magnet tersebut! ( $\pi = 3,14$ )

Penyelesaian:

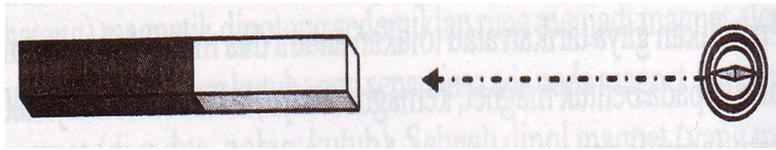
$$F = \frac{6,28 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \times 3,14 \times 10^{-3} \text{Wb}}{4\pi \cdot \frac{10^{-7} \text{Wb}}{\text{A}} \cdot m \times 10^{-2}} = 1,57 \cdot 10^{-2} \text{N}$$

## C. Medan Magnet

### 1. Medan magnet di sekitar benda magnetik

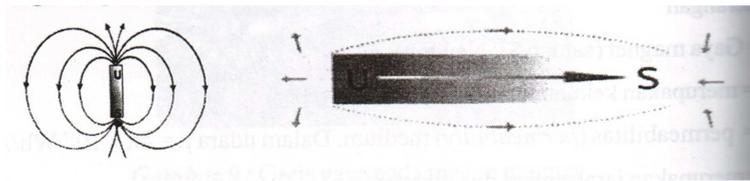
Kata atau istilah *medan* sangat akrab dengan telinga Anda sebagai orang Indonesia. Misalnya dalam istilah *medan pertempuran*, *medan perjuangan*, dan *medan listrik* sebagaimana telah disinggung pada bahan belajar sebelumnya. Dari beberapa istilah tersebut maka kata *medan (field)* dapat kita maknai sebagai ruang atau daerah di sekitar yang masih dapat diidentifikasi atau dirasakan adanya aktivitas atau pengaruh dari sesuatu. Dengan pemaknaan seperti itu maka Anda dapat menyusun sendiri pengertian umum dari istilah *medan magnet*. Untuk memperjelas pemaknaan tersebut lakukan percobaan sederhana sebagai berikut.

Pertama, letakkan sebuah magnet batang di atas meja. Siapkan sebuah magnet kompas. Kemudian, secara bertahap dekatkan kompas tersebut ke magnet dari jarak 'cukup jauh' hingga sangat dekat. Apa yang dialami oleh jarum kompas? Apakah jarum kompas terpengaruh oleh magnet di setiap posisi? Atau hanya pada jarak tertentu saja?



**Gambar 10:** Memeriksa daerah pengaruh magnet (medan magnet)

Kedua, apabila di atas sebuah batang magnet diletakan selembur kertas, kemudian di atas kertas ditaburkan serbuk besi serta kertas diketuk-ketuk, maka serbuk besi tersebut akan tersusun sedemikian rupa sehingga susunannya membentuk garis-garis yang menghubungkan kutub utara dan kutub selatan magnet seperti Gambar 6. terdahulu dan dapat disederhanakan sebagai berikut.



**Gambar 11:** Garis-garis gaya magnet antar kutub magnet.

Garis-garis yang dibentuk oleh susunan serbuk besi ini menunjukkan adanya pengaruh gaya kutub utara dan kutub selatan magnet terhadap sekitarnya, dan arah garis-garis tersebut dengan mudah dapat dilihat. Garis-garis yang disebabkan oleh pengaruh gaya kutub-kutub magnet tersebut dinamakan garis gaya magnet. Garis gaya magnet dimulai dari kutub utara dan berakhir pada kutub selatan magnet.

Perhatikan kerapatan garis gaya magnet di sekitar magnet. Makin dekat ke magnet terutama kutub-kutub magnet, garis gaya magnet semakin rapat. Ini berarti bahwa kekuatan magnet pada setiap titik pada dan disekitar magnet tidaklah sama. Ini juga berarti bahwa pengaruh gaya tolak atau gaya tarik kutub magnet pada titik-titik sekeliling kutub magnet tidak sama besarnya, makin jauh dari kutub magnet makin berkurang pengaruh gaya itu. Besar gaya tolak atau gaya tarik kutub magnet berbanding terbalik dengan jarak kuadrat dari kutub yang bersangkutan. Titik-titik di dalam ruangan di mana masih terdapat pengaruh gaya magnet dinamakan *medan magnet*.

Jika anda amati garis-garis medan magnetik pada Gambar 7 dan 9 maka seperti halnya garis-garis medan listrik, ada tiga aturan yang kita peroleh untuk garis-garis medan magnetik, yaitu sebagai berikut:

- (1) Garis-garis medan magnetik tidak pernah saling berpotongan.
- (2) Garis-garis medan magnetik selalu mengarah radial ke luar menjauhi kutub utara dan mengarah radial ke dalam mendekati kutub selatan.

- (3) Tempat di mana garis-garis medan magnetik rapat menyatakan medan magnetik kuat, sebaliknya tempat di mana garis-garis medan magnetik renggang menyatakan medan magnetik lemah.

Pada gambar 9 dan gambar 11 tampak bahwa di dekat kutub-kutub magnet, garis-garis medannya rapat, sedangkan jauh dari kutub-kutub magnet, garis-garis medannya renggang. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnetik yang paling kuat terdapat di kutub-kutub magnet batang.

Adanya medan magnet di dalam ruang dapat ditunjukkan dengan mengamati pengaruh yang ditimbulkan. Misalnya, bila di dalam ruang tersebut ditempatkan benda magnetik maka benda tersebut mengalami gaya; dan bila di ruang terdapat partikel/benda bermuatan, maka benda tersebut mengalami gaya.

Medan magnet merupakan besaran vektor. Adapun kuat/lemahnya medan tersebut ditunjukkan oleh *intensitas magnet* (H). Efek medan magnet disebut induksi magnetik (B), juga merupakan besaran vektor. Hubungan antara H dan B dinyatakan dalam rumus:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

dengan :

B = induksi magnetik, satuan = Weber/m<sup>2</sup> atau maxwell/m<sup>2</sup> atau Tesla (T)

H = intensitas magnet (A/m)

$\mu_0$  = permeabilitas =  $4\pi \times 10^{-7}$  Wb.A<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup> (dalam udara)

Contoh:

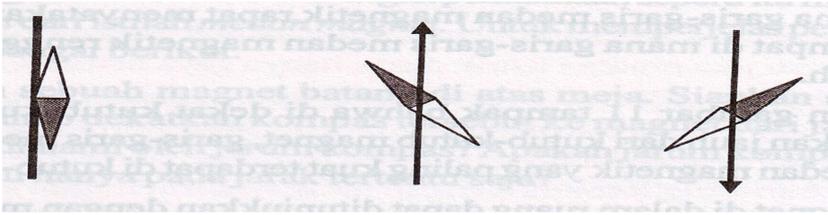
Berapakah induksi magnetik dari sebuah magnet yang diletakkan di udara dengan intensitas magnet sebesar 0,1 Am<sup>-1</sup>.

Jawab :

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb.Am}^{-1} \times 0,1 \text{ Am}^{-1} = 12,56 \times 10^{-8} \text{ Tesla.}$$

## 2. Medan magnet karena arus listrik pada penghantar lurus

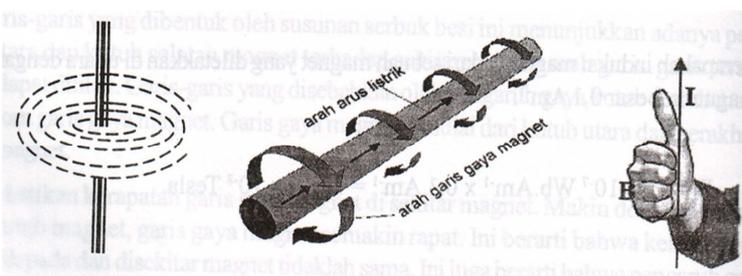
Dalam rentang waktu sangat lama studi tentang fenomena magnet terfokus pada magnet permanet sebagaimana dibahas terdahulu. Sehingga pemanfaatan magnet dalam kehidupan sehari-hari sangat terbatas. Baru setelah Hans Christian Oersted (1770-1851) menemukan adanya hubungan antara fenomena listrik dan kemagnetan, pemanfaatan magnet dalam teknologi keseharian manusia menjadi sangat luas. Menurutnya, perpindahan muatan listrik (arus listrik) akan menimbulkan medan magnet di sekitarnya. Berikut adalah ringkasan yang ditemukan Oersted.



**Gambar 12.** Hubungan antara listrik dengan magnet menurut Oerstead

- o Gambar 12 (a) menunjukkan bahwa magnet jarum yang diletakkan sejajar di sekitar kawat tidak berarus listrik, posisi magnet tidak mengalami perubahan.
- o Gambar 12 (b) dan 12 (c) menunjukkan bahwa sebuah magnet jarum yang ditempatkan di sekitar kawat berarus listrik akan mengalami gaya yang menyimpangkan posisi magnet jarum dari posisi semula. Arah penyimpangan posisi tersebut tergantung kepada arah arus listrik dalam penghantar.

Penyimpangan kutub-kutub magnet jarum terhadap kawat berarus listrik menunjukkan adanya pengaruh timbal balik antara arus listrik dengan kutub magnet. Jika dalam keadaan bebas sebuah magnet mengalami perubahan posisi, dapat dipastikan bahwa magnet tersebut berada dalam daerah medan magnet. Jika daerah sekitar penghantar berarus listrik memberikan pengaruh kepada posisi kutub-kutub magnet jarum, maka di sekitar penghantar berarus tersebut terdapat medan magnet. Dari mana medan magnet di sekitar penghantar tersebut berasal? Mengapa di sekitar penghantar tak berarus listrik tidak ada medan magnet?



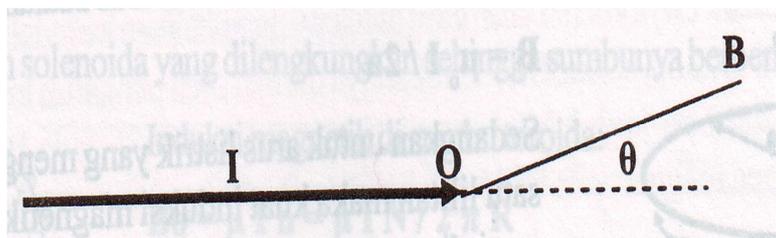
**Gambar 13:** Garis gaya magnet di sekitar penghantar berarus

Medan magnet di sekitar penghantar berarus digambarkan dengan garis-garis gaya magnet yang melingkari penghantar dengan pusat lingkaran pada setiap titik di sepanjang penghantar

tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12. Makin besar jari-jari lingkaran maka kuat medan magnet di semua titik keliling lingkaran tersebut makin berkurang (lemah).

Pada kawat yang dialiri listrik terdapat garis-garis gaya magnet yang melingkarinya. Dengan *kaidah Tangan Kanan Fleming*, diketahui bahwa garis gaya magnet yang terbentuk tersebut memiliki arah tertentu. Bila kawat berarus listrik tersebut digenggam dengan tangan kanan, dan ibu jari mengarah ke arah aliran arus, maka keempat jari lainnya menunjukkan arah garis gaya magnet. Dengan kaidah ini kita dapat menentukan kutub-kutub magnet yang terbentuk pada inti besi yang dililit kumparan.

Untuk menentukan arah garis gaya magnet di sekitar penghantar berarus acungkan jempol tangan kanan Anda. Otomatis keempat jari lainnya akan melipat. Jika lengan tangan kanan Anda diumpamakan penghantar, arah jempol tangan kanan Anda mewakili arah arus listrik pada penghantar, maka arah lipatan empat jari lainnya adalah menunjukkan arah garis gaya magnet. Pada Gambar 12 diperlihatkan bahwa setiap titik pada penghantar berarus merupakan titik pusat lingkaran garis gaya magnet.



Besarnya induksi magnetik B di suatu titik yang berjarak r dari penghantar sepanjang L dan ditimbulkan kuat arus I dapat dihitung dengan *Hukum Biot Savart* :

$$I L \sin \theta$$

$$B = k \frac{\quad}{r^2};$$

dengan  $k = \mu_0 / 4\pi = 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

Contoh:

Misalkan suatau kawat lurus dialiri arus sebesar 0,4 Ampere sepanjang 10 m. Tentukan besar induksi magnetik di titik P yang berjarak 20 cm dari penghantar dengan kemiringan posisi titik 30°.

Jawab:

$$B = 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \frac{0,2 \text{ A} \cdot 10 \text{ m} \sin 30^\circ}{(0,2 \text{ m})^2} = \frac{10^{-7} \cdot 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}}{(0,2)^2} = 5 \times 10^{-6} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$$

Untuk kawat penghantar yang sangat panjang dan lurus terletak pada sumbu-x serta dialiri arus listrik I. Arah B pada beberapa titik di sumbu-y dan z terlihat pada gambar (mengikuti kaidah tangan kanan).

Sedangkan besar medan induksinya adalah:

$$\mathbf{B} = (\mu_0 I) / (2 \pi a)$$

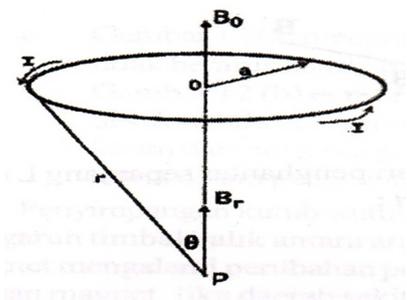
Untuk a = jarak suatu titik terhadap kawat.

Dengan demikian jika untuk soal di atas, penghantar yang dialiri arus adalah kawat panjang maka besar medan magnet induksi di titik P atau Q adalah:

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,2 \text{ A}}{4\pi \cdot 0,2 \text{ m}} \\ &= 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2} \text{ (Tesla)} \end{aligned}$$

*b. Medan magnet karena arus listrik pada penghantar berbentuk lingkaran*

Sebuah kawat penghantar berbentuk lingkaran (jari-jari = a) dialiri arus I maka induksi magnetik terjadi di pusat lingkaran dan pada setiap titik sepanjang sumbu yang melalui titik pusat lingkaran. Kuat induksi magnetik pada pusat lingkaran O dari satu buah lilitan arus adalah :



$$\mathbf{B} = \mu_0 I / 2a$$

Sedangkan untuk arus listrik yang mengalir pada lebih dari satu lilitan maka kuat induksi magnetik di pusat lingkaran menjadi:

$$\mathbf{B} = N \mu_0 I / 2a ; \text{ dimana } N = \text{jumlah lilitan}$$

Untuk induksi magnetik pada setiap titik pada sumbu yang menembus pusat lingkaran, misalnya di titik P seperti ditunjukkan pada gambar, digunakan rumus:

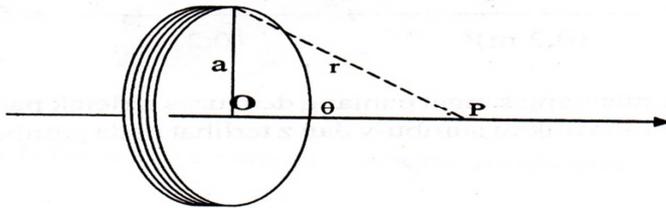
$$\mathbf{B} = \mu_0 I \sin \theta / 2r^2$$

Contoh:

Sepuluh buah lingkaran dengan jari-jari 40 cm disusun rapat sedemikian rupa sehingga memiliki titik pusat yang relatif sama. Pada lingkaran tersebut mengalir arus listrik 0,1 A.

- Berapa kuat induksi magnetik pada pusat lingkaran
- Berapa kuat induksi magnetik di titik sumbu yang berjarak 30 cm dari pusat lingkaran.

Jawab:



a)  $B = 10 (4\pi \times 10^{-7}) \times 10^{-1} : [2 \times (4 \times 10^{-2})^2] = 125 \times 10^{-6}$  Tesla

b) Dari gambar:  $\sin \theta = a/r = 4/5$

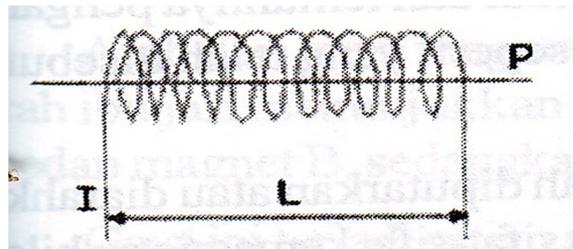
$$2r^2 = 5000$$

Maka  $B = (4\pi \times 10^{-7} \times 10^{-1} \times 4/5) : 5 \times 10^3 = 0,64 \times 10^{-10}$  Tesla

### 3. Medan magnet oleh solenoida dan toroida

**Solenoida** adalah kumparan kawat berbentuk tabung panjang dengan lilitan yang sangat rapat.

Induksi magnetik di tengah solenoida dapat dihitung dengan menggunakan rumus:



$$B_o = \mu I n = \mu I N/L$$

$\mu$  = permeabilitas bahan solenoida  
Induksi magnetik di ujung solenoida:

$$B_p = \mu I n/2 = \mu I N/2L = B_o/2$$

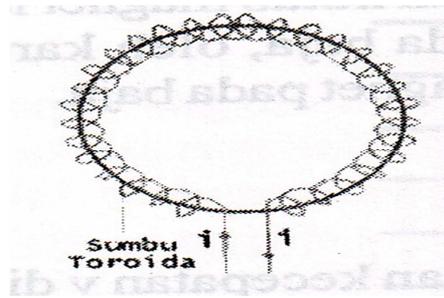
**Toroida** adalah solenoida yang dilengkungkan sehingga sumbunya berbentuk lingkaran.

Induksi magnetik di sumbu toroida:

$$B_o = \mu I n = \mu I N / 2 \pi R$$

$n$  = jumlah lilitan per satuan panjang =  $N/L$

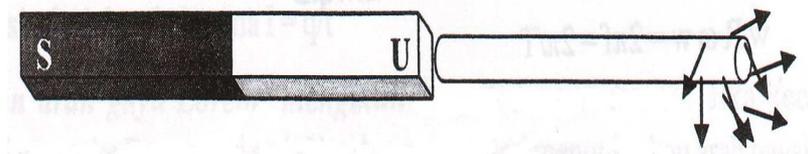
$L = 2 \pi R$  = panjang keliling lingkaran



## D. Pengaruh Medan Magnet

### 1. Induksi Magnet

Sebuah medan magnet mampu memberi pengaruh (induksi) terhadap bahan magnet. Jika sepotong besi lunak diletakkan pada batang magnet atau pada kutub magnet, maka besi lunak itu akan ditarik oleh batang magnet atau oleh kutub magnet. Selama besi itu melekat atau berdekatan dengan kutub magnet, maka ia akan menjadi magnet sementara. Magnet sementara ini mempunyai kutub utara dan kutub selatan seperti magnet semula. Kutub utara magnet semula berhadapan dengan kutub selatan magnet sementara, atau sebaliknya.



**Gambar 14.** Selinder besi lunak ditempelkan ke magnet batang

Apabila pada ujung magnet sementara yang tidak melekat dengan kutub magnet semula, di taburkan paku kecil maka paku itu akan ditarik oleh magnet sementara, dan paku itu juga mempunyai sifat-sifat magnetisme seperti halnya besi lunak. Setelah besi lunak itu dilepaskan dari kutub magnet dan dijauhkan, maka besi lunak itu akan kehilangan sifat-sifat magnetismenya, jadi akan kembali lagi seperti semula. Demikian halnya paku-paku akan lepas kembali dari batang besi selinder.

Tetapi besi lunak tersebut tidak kehilangan seluruh sifat-sifat magnetisme seketika itu, bahkan untuk sementara waktu masih ada sebagian kekuatan magnet yang masih tinggal, dan sifat magnetisme sementara yang masih tinggal ini disebut *remanen magnet*. Sifat-sifat magnet seperti terjadi pada peristiwa ini menunjukkan bahwa sifat magnetisme dapat diindusikan (diimbaskan) ke bahan-bahan ferromagnetis, dan batang-batang dari bahan ferromagnetis dapat menjadi *magnet induksi*.

Remanen magnet berbeda besarnya untuk bahan-bahan magnetis yang berlainan. Remanen magnet pada baja lebih bertahan lama dan lebih kuat daripada remanen magnet pada besi lunak. Dengan kata lain, besi yang telah terkena pengaruh kutub magnet akan lebih cepat kembali seperti semula daripada baja, setelah ia dijauhkan dari kutub magnet. Remanen magnet pada baja dapat tinggal dari tiga bulan sampai satu tahun atau lebih, tergantung pada kuat dan lemahnya pengaruh kutub magnet pada baja itu. Sebab-sebab terjadinya magnet induksi seperti yang telah disebut di atas dapat diterangkan seperti berikut:

Magnet-magnet elementer pada bahan ferromagnetis lebih mudah diputar atau diarahkan menurut arah garis-garis gaya magnet. Selanjutnya, mudah atau sukarnya sifat-sifat kemagnetan hilang dari bahan ferromagnetis yang telah menjadi magnet induksi tergantung kepada besar gaya koersif bahan yang bersangkutan. Gaya koersif ialah gaya untuk mengembalikan kedudukan magnet elementer ke kedudukan seperti semula, sesudah kedudukannya diubah oleh pengaruh kutub magnet lainnya. Gaya koersif pada zat besi jauh lebih besar daripada gaya koersif pada baja, oleh karena itu ketahanan remanen magnet pada besi lebih kecil daripada remanen magnet pada baja.

#### b. Pengaruh Medan Magnet Terhadap Muatan Bergerak

Sebuah partikel bermassa  $m$  bermuatan listrik  $q$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  di dalam medan magnet dengan induksi magnetik  $B$  akan mengalami gaya dari medan magnet yang mempengaruhi gerak muatan tersebut. Gaya tersebut dikenal dengan istilah Gaya Lorentz. Jadi gaya yang terjadi (dialami) oleh benda bermuatan yang bergerak di dalam suatu medan magnet disebut **Gaya Lorentz**.

Jika  $F$  adalah besar gaya gaya Lorentz,  $q$  = besar muatan,  $B$  = kuat induksi magnetik,  $\theta$  = sudut yang dibentuk oleh arah gerak muatan dengan arah induksi magnetik maka:

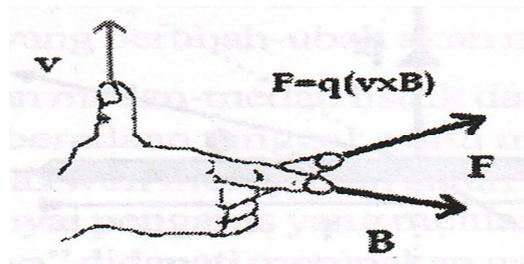
$$\mathbf{F} = q \mathbf{v} \mathbf{B} \sin \theta$$

Bila  $\theta = 90^\circ$  ( $v \perp B$ ) maka  $F = q v B$ . Karena  $F$  selalu tegak lurus terhadap  $v$ , maka lintasan partikel bermuatan merupakan lingkaran dengan jari-jari  $R$  sebesar

$$\mathbf{R} = \mathbf{mv}/q.\mathbf{B}$$

dengan  $v = \omega R$   $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

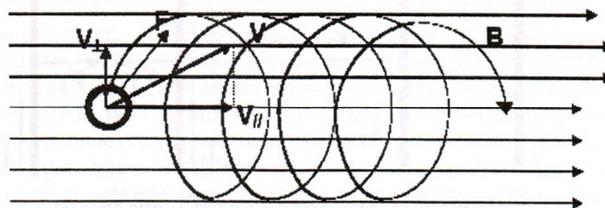
Arah dari gaya magnetik ini, sesuai dengan aturan tangan kanan. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut



**Gambar 15:** Aturan Tangan Kanan

Arah dari gaya magnetik  $F$  ini dapat diketahui melalui aturan tangan kanan tersebut, di mana arah ibu jari menunjukkan arah gaya Lorentz dan arah keempat jari yang lain menunjukkan arah medan magnet  $B$ , sedangkan arah telunjuk menunjukkan arah kecepatan muatan  $v$ .

Gaya ini terjadi setiap saat pada setiap posisi muatan dalam medan magnet. Besar gaya Lorentz tergantung pada: besar muatan benda, kecepatan gerak muatan, harga medan magnet, serta arah gerak muatan listrik terhadap arah medan magnet.



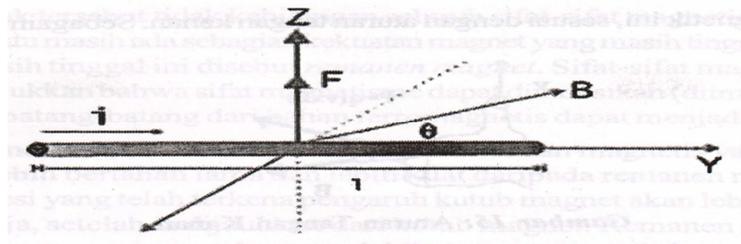
**Gambar 16.** Muatan dengan kecepatan  $v$  dalam sebuah medan magnet akan bergerak berpilin (spiral) karena pengaruh gaya Lorentz

### c. Pengaruh Medan Magnet Terhadap Kawat Berarus

Melalui kawat lurus sepanjang yang terletak di sumbu- $y$  mengalir arus listrik dengan kuat arus  $= I$ . Bila kecepatan muatan-muatan positif adalah  $v$  dan jumlah muatan yang mengalir adalah  $q$  selama waktu  $t$ , maka Gaya Lorentz  $F$ :

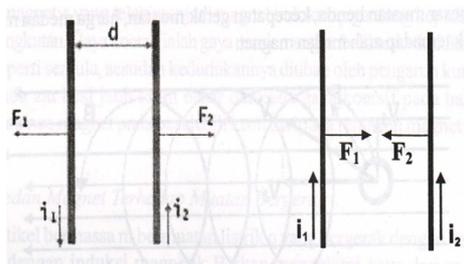
$$F = I B \sin \theta \text{ dalam hal mana } I = q/t$$

**Penentuan arah gaya Lorentz mengikuti kaidah tangan kanan.** Jika keempat jari dikepalkan dari arah  $v$  ke  $B$  atau dari arah  $I$  ke  $B$ . maka ibu jari menunjukkan arah gayanya



**Gambar 17.** Pengaruh Medan Magnet Terhadap Kawat Berarus

Jika dua penghantar yang dialiri arus didekatkan paralel (sejajar), maka gaya Lorentz menimbulkan interaksi antara kedua penghantar tersebut berupa gaya tarik menarik atau gaya tolak menolak.



**Gambar 18.** Gaya Antar Kawat Lurus Paralel

Bila  $I_1$  dan  $I_2$  berlawanan arah, kedua kawat saling tolak; sedangkan jika  $I_1$  dan  $I_2$  searah, kedua kawat saling tarik. Besar gaya persatuan panjang penghantar adalah:

$$F_1/ = F_2/ = \mu_0 I_1 I_2 / 2\pi d$$

### E. Fenomena Elektromagnetik

Fenomena ini terkait dengan pengaruh-pengaruh yang diberikan oleh medan elektromagnet. Untuk memudahkan pemahaman medan elektromagnet, medan ini biasanya dipisahkan menjadi dua medan yang berlainan, yaitu medan listrik dan medan magnet. Sebuah medan listrik dihasilkan oleh kehadiran partikel yang mempunyai muatan listrik, dan medan itu pula akan menghasilkan gaya listrik; ini adalah gaya yang menghasilkan listrik statis dan mendorong aliran muatan listrik (arus listrik) dalam penghantar listrik. Sebaliknya, medan magnet antara lain dihasilkan oleh gerakan muatan-muatan listrik, atau arus listrik, dan menghasilkan gaya magnet yang berkaitan dengan magnet.

Istilah “kelektromagnetan” timbul dari adanya perubahan gaya-gaya listrik dan gaya-gaya magnet yang bergantian. Sebuah medan magnet yang berubah-ubah akan menghasilkan sebuah medan listrik. Demikian juga, sebuah medan listrik yang berubah-ubah akan menghasilkan medan magnet.

Disebabkan kesalingbergantungan medan-medan listrik dan magnet ini, kita dapat menganggap kedua-dua medan ini sebagai satu keberadaan tunggal, yaitu medan elektromagnet. Penyatuan ini yang dikenalkan oleh James Clerk Maxwell merupakan salah satu penemuan inovatif dalam ilmu fisika abad ke-19. Konsep ini mempunyai pengaruh yang meluas, antara lain penjelasan sifat cahaya: apa yang telah dianggap sebagai “cahaya” didapati merupakan gangguan getaran terambat dari medan elektromagnet, yaitu gelombang elektromagnet. Frekuensi-frekuensi getaran yang berbeda menghasilkan bentuk-bentuk pancaran gelombang elektromagnetik yang berbeda, misalnya gelombang radio pada frekuensi-frekuensi yang terendah, cahaya nampak pada frekuensi-frekuensi pertengahan, dan sinar gamma pada frekuensi-frekuensi tertinggi.

Gaya yang digunakan oleh medan elektromagnet untuk mempengaruhi partikel-partikel muatan listrik disebut *gaya elektromagnet*. Gaya ini merupakan salah satu daripada empat gaya dasar dalam alam. Gaya-gaya dasar yang lain ialah gaya nuklear kuat (yang mengikat nukleus-nukleus atau inti atom), gaya nuklear lemah (yang menyebabkan bentuk-bentuk susutan radioaktif yang tertentu), dan gaya gravitasi. Kesemua gaya yang lain pada asasnya berasal daripada gaya-gaya dasar ini.

Sebagaimana yang didapati, gaya elektromagnet ialah gaya yang terkait dengan hampir semua fenomena yang ditemukan dalam kehidupan harian, dengan kekecualian gravitasi. Secara umum, semua gaya yang terlibat dalam interaksi antara atom-atom terkait kepada gaya elektromagnet yang bertindak pada proton-proton dan elektron-elektron muatan listrik di dalam atom. Termasuk juga gaya-gaya yang kita alami dalam “menolak” atau “menarik” materi biasa yang datangnya daripada gaya-gaya antara molekul di dalam badan kita serta di dalam materi. Termasuk juga semua bentuk fenomena kimia yang muncul pada interaksi antar elektron dalam orbitnya. Menurut teori elektromagnet modern, gaya elektromagnet dihasilkan melalui pemindahan foton dalam atom.

Ahli sains William Gilbert, dalam karyanya *De Magnete* pada tahun 1600, menegaskan bahwa listrik dan magnetisme merupakan dua fenomena yang berbeda walaupun kedua-dua ini berupaya menarik dan menolak partikel. Tetapi salah Romagnosi untuk pertama kalinya pada tahun 1802 mendapati bahwa sebatang jarum kompas yang berhampiran akan memesonng berdekatan dengan penghantar berarus. Bagaimanapun, kesan ini tidak diketahui secara meluas sehingga tahun 1820, ketika Hans Christian Orsted melaksanakan uji kaji yang serupa. Usaha Orsted kemudian

mempengaruhi Andre-Marie Ampere untuk menghasilkan sebuah teori elektromagnetisme secara matematis. Dalam perkembangan selanjutnya, teori elektromagnetisme yang tepat, dikenali sebagai elektromagnetisme klasik, dikembangkan oleh berbagai ahli Fisika sepanjang abad ke-19, dan memuncak ketika James Clerk Maxwell menyatukan kesemua perkembangan terdahulu menjadi sebuah teori yang tunggal, dan menemui sifat elektromagnet untuk cahaya. Dari teori Maxwell dapat dipahami bahwa perubahan medan magnet akan menimbulkan medan listrik; demikian sebaliknya perubahan medan listrik dapat menghasilkan medan magnet. Fenomena ini membuktikan bahwa listrik dan magnetisme merupakan dua sisi dari mata uang yang sama, yang dirangkum dalam istilah *Electromagnetisme*.

## RANGKUMAN

Magnet merupakan sejenis logam yang juga dikenal dengan sebutan besi berani. Magnet mempunyai medan magnet dan dapat menarik butir-butir besi lain atau benda-benda yang mengandung unsur besi ke arahnya. Perkataan magnet berasal dari bahasa Greek “*magnítis líthos*” (*ἰάαιPôçð èβèιð*) yang berarti “batu magnesia”. Disebut demikian karena magnet mula-mula dijumpai di suatu daerah Asia kecil bernama Magnesia. Suatu keunikan yang ada pada magnet ini ialah apabila magnet itu digantung, arah yang ditunjukkannya ialah utara-selatan. Magnetit sendiri bisa berarti batu. Jenis-jenis magnet dibedakan menjadi ferromagnetik, diamagnetik, paramagnetik, dan nonmagnetik. Magnet memiliki dua kutub yakni utara – selatan. Garis gaya maknet menunjukkan “daerah” dimana yang masih dipengaruhi medan magnet. Pengaruh medan magnet dihasilkan dalam bentuk gaya magnet atau gaya Lorentz

## TES FORMATIF 1

Setelah Anda selesai mempelajari konsep dasar magnet, diskusikan lah dengan teman Anda beberapa persoalan berikut.

1. Bagaimana asal mula kejadian magnet di planet bumi ini; serta bagaimana benda-benda tertentu dapat menjadi magnet alam.
2. Mengapa tidak semua bahan di alam ini dapat menjadi magnet?
3. Bagaimana keadaan inklnasi magnet dan deklinasi magnet di daerah kha-tulistiwa; serta bagaimana pula keadaannya di daerah kutub bumi?
4. Apakah sifat *remanen* magnet dapat diubah menjadi permanen? Jelaskan!
5. Apa yang dimaksud dengan kutub magnet? Mengapa jika sebuah magnet kita potong kutub-kutub utara-selatan magnet tidak musnah.

6. Adakah perbedaan antara kutub magnet bumi dengan kutub magnet dari benda magnet yang ada di bumi?

## KEGIATAN BELAJAR 2

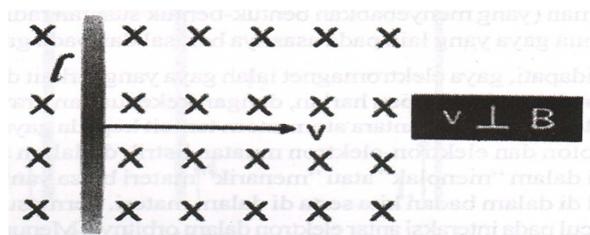
# INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Induksi Elektromagnetik menjelaskan tentang suatu tegangan listrik yang timbul karena medan magnet yang berubah-ubah diinduksikan terhadap penghantar. Akibatnya pada penghantar tersebut terjadi medan listrik yang berubah-ubah. Atau dengan kata lain pada lilitan terjadi arus listrik. Ahli fisika yang bernama Faraday dikenal sebagai salah satu tokoh pertama kali melakukan percobaan untuk membuktikan adanya induksi elektromagnetik. Meskipun demikian konsep-konsep induksi elektromagnetik sebenarnya terkait dengan banyak konsep kelistrikmagnetan yang dikajicoba oleh sejumlah ahli lainnya. Berikut adalah konsep-konsep yang terkait dengan fenomena induksi elektromagnetik.

### A. Gaya Gerak Listrik Induksi

Bila sebuah penghantar dengan panjang  $l$  digerakkan dengan kecepatan  $v$  di dalam medan magnet  $B$ , tegak lurus terhadap arah medan, maka akan timbul GGL induksi ( $\epsilon$ ) di ujung-ujung penghantar sebesar:

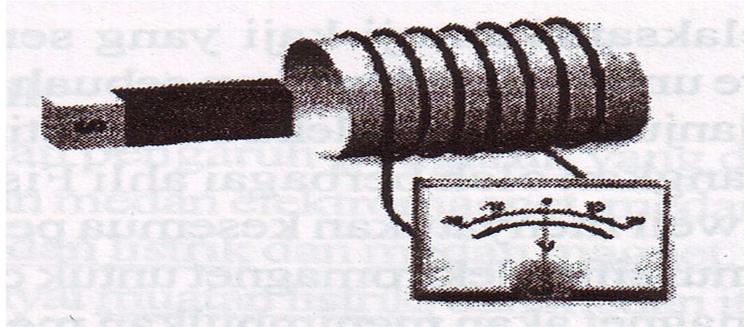
$$\epsilon = - l v B \quad \text{dalam satuan Volt}$$



*Gambar 19:* Penghantar bergerak dalam medan magnet

### B. Hukum Faraday

Dalam percobaannya tentang induksi elektromagnetik Faraday menggunakan alat sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 20:** Alat Percobaan Faraday Untuk Induksi Elektromagnetik

Ketika magnet digerakkan keluar-masuk lilitan terjadi perubahan jumlah garis gaya magnet (fluks magnetik) yang memotong lilitan. Untuk mengimbangi perubahan fluks magnetik yang menembus lilitan, elektron-elektron dalam penghantar bergerak (terjadi arus listrik) untuk menghasikan fluks magnetik pengganti. Pada peristiwa ini polaritas (kutub-kutub) tegangan hasil induksi bergantung pada arah garis gaya magnet yang memotong lilitan. Secara sederhana dapat disimpulkan bahwa induksi elektromagnetik (*imbas elektromagnetik*) adalah terjadinya arus listrik dalam suatu penghantar akibat adanya perubahan medan magnet. Arus yang terjadi disebut arus imbas atau arus induksi.

Jika fluks magnet yang menembus suatu kumparan berubah-ubah adalah ( $\Phi$ ), maka akan timbul GGL INDUKSI sebesar:

$$\epsilon = - N \frac{d\Phi}{dt} \text{ atau } \epsilon = -N \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

$N$  = jumlah lilitan kumparan

$d\Phi = \Delta F$  = perubahan fluks

$dt = \Delta t$  = perubahan waktu

### C. Hukum Lenz.

Hukum ini menyatakan bahwa arah arus induksi selalu melawan sebab/penyebab yang menimbulkannya. Bila arus tersebut berubah-ubah, maka fluks magnet yang timbul juga akan berubah-ubah, sehingga menimbulkan GGL induksi sebesar:

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

$L$  = induksi diri (satuan SI = Henry)

$dI/dt$  = perubahan arus pada selang waktu  $dt$

Arah arus induksi dan GGL yang timbul, ditentukan berdasarkan hukum Lenz dan aturan tangan kanan. Jika keempat jari dikepalkan dari arah  $v$  ke arah  $B$ , maka arah ibu jari

menunjukkan arah arus imbas I. Jika hukum Faraday dihubungkan dengan hukum Lenz melalui analisis matematis, maka diperoleh:

$L = N \frac{d\Phi}{dI}$  atau  $L = \mu_0 \frac{AN^2}{l}$  ; sedangkan Energi ( $W$ ) yang tersimpan pada induktor:

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

Dalam hal ini :  $L =$  Induksi diri

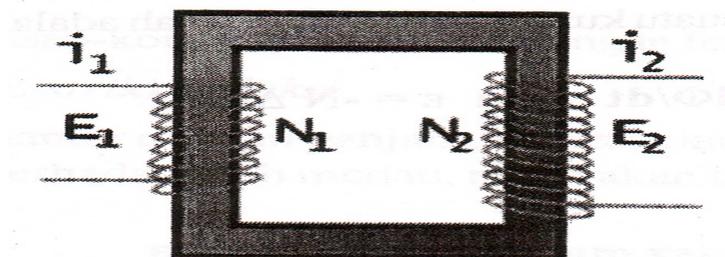
$A =$  luas penampang lilitan

$l =$  panjang lilitan

Prinsip induksi elektromagnetik digunakan dalam teknik listrik antara lain berupa (1) pembuatan pembangkit listrik yang dikenal dengan **Generator**, yaitu suatu sistem yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan prinsip kerja berdasarkan peristiwa induksi (hukum Faraday); dan (2) **Transformator** (trafo) yaitu alat untuk mengubah tegangan listrik bolak-balik. Prinsip kerjanya berdasarkan pemindahan daya/energi listrik dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan cara induksi.

Pada *Trafo* secara umum terdapat kumparan primer ( $N_1$ ) yang memiliki beda potensial listrik  $V_1$ , dan kumparan sekunder ( $N_2$ ) yang menghasilkan beda potensial listrik  $V_2$ . Antar besaran-besaran ini berlaku hubungan  $V_2/N_2 = V_1/N_1$ .

*Trafo* biasanya dibedakan jenisnya berdasarkan fungsi dalam penggunaan. *Trafo* jenis Step Up berfungsi untuk meningkatkan tegangan ( $V_2 > V_1$ ) sedangkan *trafo* jenis Step Down berfungsi untuk menurunkan tegangan ( $V_1 > V_2$ ). Untuk *Transformator ideal* maka Daya listrik yang masuk ( $P_{in}$ ) sama dengan Daya listrik yang dihasilkan ( $P_{out}$ ). Dengan transformator tidak berfungsi untuk mengubah kuantitas energi listrik.



**Gambar 21.** Perubahan arus dan fluks magnetik pada induktor

#### D. Kegunaan magnet

Dalam kehidupan sehari-hari dan industri magnet banyak digunakan. Antara lain untuk hal-hal berikut.

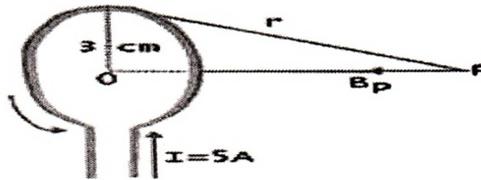
- Penggunaan jarum kompas ( sekaligus sebagai contoh magnet permanen).
- Pintu lemari es mempunyai magnet permanen supaya ia senantiasa tertutup serta memastikan pintu kedap udara, dengan itu mengelakkan pemborosan energi.
- Kartu ATM dan kartu kredit mempunyai jalur magnet yang berisi informasi.
- TV dan monitor komputer menggunakan elektromagnet untuk menghasilkan gambar.
- Mikrofon dan pengeras suara menggunakan kombinasi magnet permanen dan elektromagnet.
- Media rekaman magnetik: Kaset video VHS biasanya mengandung golongan tape bermagnet. Informasi yang menghasilkan video dan bunyi disimpan berupa kode-kode elektromagnetik pada lapisan bermagnet pada pita kaset. Ini merupakan sebab magnet akan memusnahkan maklumat dalam tape jenis ini. Kaset audio kompak juga bergantung kepada tape bermagnet.
- Pengeras suara dan mikrofon: Pengeras suara sebenarnya adalah gabungan magnet kekal dan elektromagnet. Pengeras suara pada dasarnya piranti yang mengubah tenaga listrik (sinyal) kepada tenaga mekanikal (bunyi). Elektromagnet membawa sinyal, yang menghasilkan perubahan medan magnet dan menarik medan yang terdapat pada magnet kekal. Pergerakan penarikan dan penolakan tersebut menghasilkan bunyi.
- Motor listrik dan generator: Motor listrik (seperti mana pengeras suara) bergantung kepada gabungan elektromagnet dan magnet kekal, dan sepertimana pengeras suara, mengubah tenaga listrik kepada tenaga mekanikal. Generator bertindak sebaliknya: ia mengubah tenaga mekanikal kepada tenaga listrik.
- Transformator. Transformator merupakan peranti yang mengubah beda potensial listrik antara dua peranti yang *terpisah* secara listrik melalui penyambung magnet.

## **RANGKUMAN**

Induksi Elektromagnetik menjelaskan tentang suatu tegangan listrik yang timbul karena medan magnet yang berubah-ubah diinduksikan terhadap penghantar. Akibatnya pada penghantar tersebut terjadi medan listrik yang berubah-ubah. Atau dengan kata lain pada lilitan terjadi arus listrik. Pengaruh induksi elektromagnetik adalah ditimbulkannya gaya gerak listrik induksi. Prinsip induksi elektromagnetik dipergunakan dalam pembuatan alat pembangkit listrik yang dinamakan generator dan alat pengubah tegangan listrik yang dinamakan transformator.

## TES FORMATIF 2

1. Apa yang dimaksud dengan medan magnet, fluks magnetik, induksi magnetik dan induksi elektromagnetik.?
2. Jelaskan beberapa pengaruh medan magnet terhadap partikel yang berada dalam pengaruh medan magnet.
3. Suatu kawat lingkaran dengan jejari 3 cm. Hitung induksi magnetik di titik P yang berjarak 4 cm dari pusat lingkaran jika arus 5 A mengalir pada kawat !



4. Jelaskan prinsip kerja generator dan transformator!

## GLOSARIUM

- Magnet : sejenis logam yang mampu menarik logam-logam lainnya, dan mempunyai kutub-kutub magnet.
- Ferromagnetik : benda-benda atau bahan-bahan yang sangat mudah dipengaruhi oleh magnet dan juga dengan mudah dapat dibuat magnet.
- Paramagnetik : bahan yang dapat dipengaruhi oleh magnet tetapi tidak dapat dibuat magnet.
- Diamagnetik : bahan yang sukar sekali dipengaruhi oleh magnet.

## DAFTAR PUSTAKA

- Depdiknas. (2005). *Ilmu Pengetahuan Alam-Fisika*. Jakarta: Dirjen Dikdasmen
- Giancoli, D.C. (2004). *Physics volume I*. New Jersey : Prentice Hall
- Halliday, D., Resnick, R. (1997). *Physics* , terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Hewitt, Paul G .(1993). *Conceptual Physics*. Seventh Edition. Harper CollinsCollege Publisher
- Slamet, A., dkk. (2008). *Praktikum IPA*. Jakarta: Dirjen Dikti Depdiknas.
- Soejoto dan Sustini, E. (1993). *Petunjuk Praktikum Fisika Dasar*. Dirjen Dikti Depdiknas.
- Sunardi. (2006). *Pendalaman Kompetensi IPA-Fisika untuk SMP/MTs Kelas IX*. Bandung: YRAMA WIDYA.
- Tim Seqip. (2007). *Buku IPA Guru Kelas VI*. Dirjen Dikdasmen Depdiknas, Jakarta
- Tipler, P.A. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Zaelani,A., Cunayah, C., Irawan, E.I.(2006).*Bimbingan Pemantapan Fisika untuk SMA/MA*. Bandung: YRAMA WIDYA
- Wellington, J.J. (1989). *Beginning Science Pyisics*. Oxford University Press