

Unit 3

MAGNET DAN LISTRIK

Nana Djumhana

Pendahuluan

Bahan ajar cetak pada Unit 3 ini disajikan untuk menyertai Anda mempelajari konsep-konsep dasar tentang magnet dan listrik. Magnet dan fenomenanya kurang begitu akrab dengan mayoritas masyarakat. Lain halnya dengan listrik. Listrik merupakan salah satu fenomena alam yang sangat akrab dengan kehidupan mayoritas manusia. Mulai dari aktivitas yang sangat sederhana seperti petugas ronda pada SISKAMLING hingga profesi yang canggih dalam teknologi komunikasi dan informasi. Perlu Anda tahu bahwa tidak sedikit alat-alat listrik yang erat kaitannya dengan kemagnetan. Apa saja? Coba Anda sebutkan!

Pada Kurikulum 2006 untuk Mata Pelajaran IPA Satuan Pendidikan SD, magnet dan listrik termasuk bahan kajian “energi dan perubahannya” dan mulai dikenalkan kepada siswa kelas I di semester 2 melalui topik ‘mengidentifikasi penyebab benda bergerak.’ Sedangkan di kelas tinggi (kelas V semester 2) siswa dituntut mampu mendeskripsikan hubungan antara gaya magnet dengan gerak dan energi melalui percobaan. Adapun kelistrikan, merupakan salah satu materi kurikulum kelas II semester 2 dalam pokok bahasan “mengidentifikasi sumber-sumber energi”. Selanjutnya, siswa kelas VI semester 2 harus mampu menyajikan informasi tentang perpindahan dan perubahan energi listrik, mengidentifikasi kegunaan energi listrik, berpartisipasi dalam penghematan penggunaannya, serta mampu membuat suatu karya/model yang menggunakan energi listrik.

Dengan demikian, setelah mempelajari Unit 3 ini, Anda diharapkan mampu:

1. Mendeskripsikan pengertian, jenis, dan bentuk magnet.
2. Menjelaskan dan memberi contoh sifat-sifat magnet,
3. Menunjukkan contoh penggunaan magnet dalam kehidupan.
4. Mendeskripsikan dan memberi contoh benda bermuatan listrik

5. Menjelaskan interaksi serta karakteristik gaya dan kuat medan dari muatan listrik
6. Mendeskripsikan dan memberi contoh karakteristik rangkaian seri dan rangkaian paralel

Untuk membantu Anda mencapai tujuan tersebut, modul ini diorganisasikan menjadi dua Kegiatan Subunit, sebagai berikut:

1. KB 1 : Magnet
2. KB 2 : Listrik

Untuk membantu Anda dalam mempelajari Unit 3 ini, ada baiknya diperhatikan beberapa petunjuk belajar berikut ini :

1. Tangkaplah pengertian demi pengertian melalui pemahaman sendiri dan tukar pikiran dengan mahasiswa lain atau dengan tutor Anda.
2. Untuk memperluas wawasan, baca dan pelajari sumber - sumber lain yang relevan. Anda dapat menemukan bacaan dari berbagai sumber, termasuk dari internet.
3. Mantapkan pemahaman Anda dengan mengerjakan latihan dan melalui kegiatan diskusi dalam kegiatan tutorial dengan mahasiswa lainnya atau teman sejawat.
4. Jangan dilewatkan untuk mencoba menjawab soal - soal yang dituliskan pada setiap akhir kegiatan belajar. Hal ini berguna untuk mengetahui apakah Anda sudah memahami dengan benar kandungan bahan belajar ini.

Selamat Belajar!

Subunit 1

Magnet

Pengantar

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 (kontrol) listrik. Hampir pada seluruh pesawat elektronika fenomena kemagnetan mudah kita temui.

Fenomena 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 dan Jenis Magnet

Menurut definisi, magnet adalah suatu benda yang dapat menarik besi, baja, atau benda-benda lain yang mengandung unsur besi atau baja. Magnetit sendiri bisa berarti batu. Atau terkait dengan dengan suatu daerah bernama *magnesia* di wilayah Asia Kecil tempat pertama kali ‘batu aneh ini ditemukan’.

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

1. 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 (Fe_3O_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°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 ditunjukkannya). 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.

2. 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.

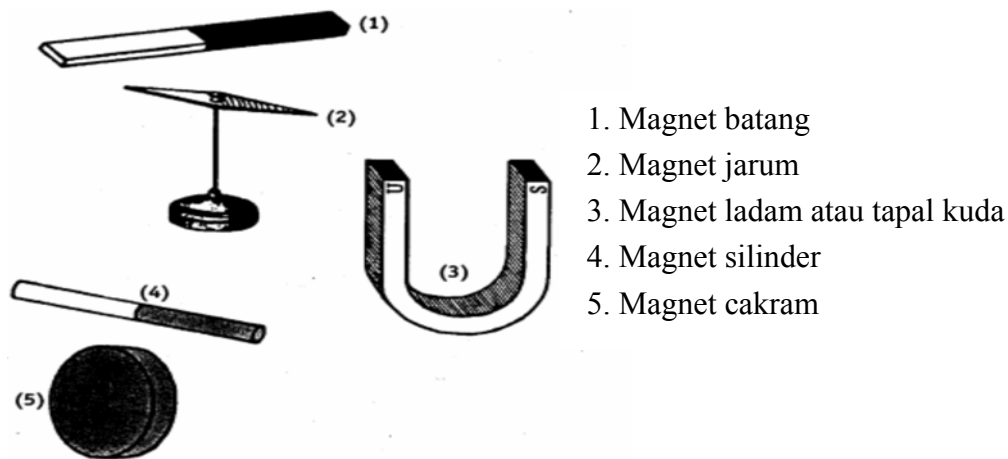
Berdasarkan hasilnya, magnet buatan dibedakan antara magnet tetap (permanen) dan magnet sementara. Biasanya magnet permanen dibuat dari baja yang dikeraskan, dan setelah baja cukup keras kemudian baja tersebut dimasukkan ke dalam kumparan kawat berisolasi yang dialiri arus listrik DC. Magnet sementara 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.

B. Bentuk Magnet

Benda-benda yang memiliki sifat kemagnetan adalah benda yang dapat menarik besi atau baja yang berada di dekatnya. Dalam kehidupan sehari-hari kita mengenal macam-macam magnet berdasarkan bentuknya yaitu :



Gambar. 3.1.
Macam magnet

C. Bahan-bahan Magnet

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. Bentuk dasar magnet ada tiga macam, yaitu magnet jarum, magnet batang, dan magnet ladam (tapal kuda) atau bentuk U. Bentuk-bentuk lainnya dibuat sesuai dengan kebutuhan.

D. Bagaimana Suatu Bahan Bersifat Magnet?

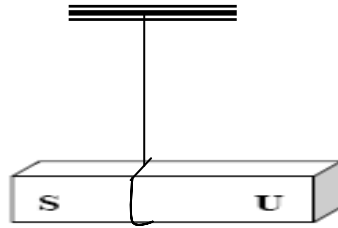
Ada dua teori yang menjelaskan bagaimana sebuah bahan bersifat magnet. Menurut Webber semua benda terdiri dari molekul-molekul yang memiliki sifat magnet, disebut *magnet elementer*. Bersifat magnet atau tidak suatu bahan tergantung bagaimana struktur magnet elementer tersebut. Jika letak magnet elementer dalam bahan itu tidak menentu (tidak teratur), sehingga 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.

Bahan-bahan ferromagnetis 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.

E. Kutub 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.

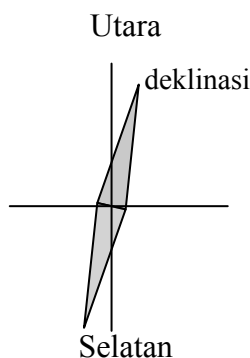


Gambar 3.2.
Menggantung magnet untuk memeriksa kutub magnet

Untuk mengetahui kutub-kutub magnet, gantungkan sebuah magnet batang sehingga dapat bergerak bebas. Tunggu beberapa saat hingga magnet tersebut menggantung dalam keadaan diam. Amati ke arah mata angin manakah 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.

Demikian halnya dengan magnet jarum. Jika magnet jarum diletakkan sedemikian rupa sehingga 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.

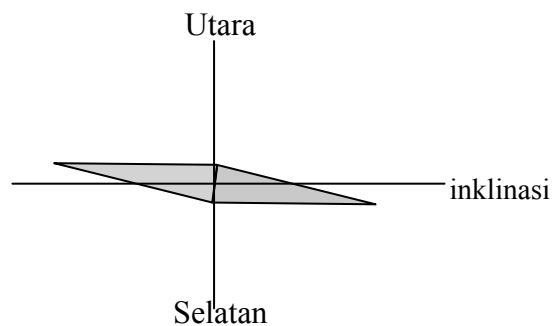


Gambar 3.3
Deklinasi

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.

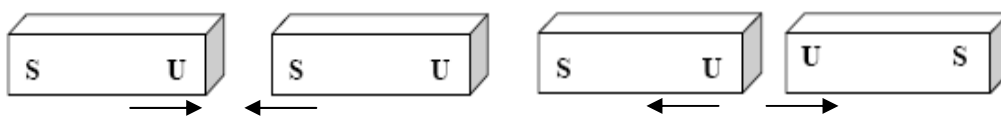
Sudut yang dibentuk oleh garis utara-selatan geografis (bumi) dan garis utara-selatan magnet jarum disebut sudut *deklinasi*. Besar sudut deklinasi tidak lah konstan, tergantung dimana letak magnet jarum tersebut terhadap kutub utara-selatan magnet bumi. Ini berarti, sudut *deklinasi* di Teheran (ibu 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*. Bagaimana patokan kasar untuk menentukan hal ini?

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 (horisontal) 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° , dan di katulistiwa sama dengan nol.



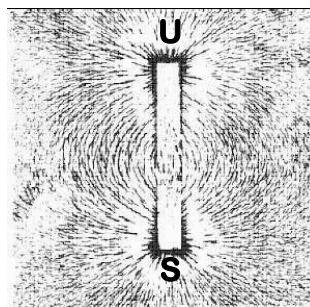
Gambar 3.4.
Inklinasi

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 3.5.
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 3.6.
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!

Besar kekuatan kutub magnet didasarkan atas adanya gaya 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 berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara kutub dengan kutub yang bersangkutan.

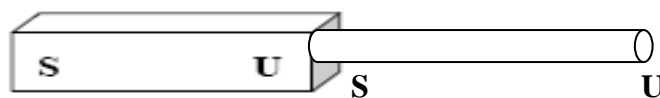
F. Garis-Garis Gaya dan Kuat Medan Magnet

Apabila di atas sebuah batang magnet diletakan selembar 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 3.6. 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 dilihatnya. Garis-garis yang disebabkan oleh pengaruh gaya kutub-kutub magnet tersebut dinamakan garis gaya. Garis gaya magnet dimulai dari kutub utara dan berakhir pada kutub selatan magnet.

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*.

G. Induksi Magnetik

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 3.7.
Selinder besi lunak ditempelkan ke magnet batang

Apabila pada ujung magnet sementara yang tidak melekat dengan kutub magnet semula, maka paku itu akan ditarik oleh magnet sementara, dan paku itu juga mempunyai sifat-sifat kemagnetan seperti halnya besi lunak. Setelah besi lunak itu dilepaskan dari kutub magnet dan dijauhkan, maka besi lunak itu akan kehilangan sifat-sifat kemagnetannya, jadi akan kembali lagi seperti semula. Tetapi besi lunak itu tidak kehilangan seluruh sifat-sifat kemagnetan seketika itu, akan tetapi sementara

waktu masih ada sebagian yang masih tinggal, dan sifat kemagnetan sementara yang masih tinggal ini disebut *remanen magnet*. Sifat-sifat magnet seperti terjadi pada peristiwa ini menunjukkan bahwa sifat kemagnetan dapat diinduksikan (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.

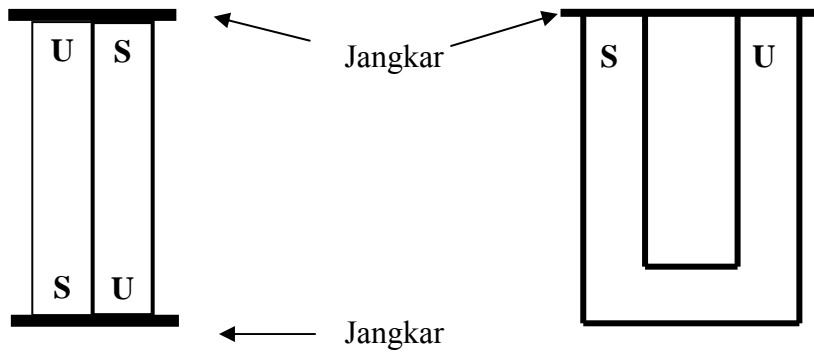
H. Memelihara Magnet

Kekuatan suatu magnet dapat hilang atau melemah sejalan dengan berjalannya waktu. Anda harus dapat memelihara magnet dengan benar agar magnet dapat dipergunakan dalam waktu relatif lama. Untuk itu Anda harus mengetahui faktor-faktor yang dapat mempercepat melemahnya kekuatan magnet.

Magnet akan mudah kehilangan kekuatannya apabila dipanasi. Panas yang mengenai batang magnet akan menyebabkan magnet elementer bergerak lebih cepat, sehingga lebih cepat membalik atau berubah arah. Magnet juga akan melemah kekuatannya akibat getaran yang kuat, misalnya dengan cara memukul-mukulkannya.

Agar magnet batang atau magnet U tidak mudah menjadi lemah karena adanya pengaruh-pengaruh dari luar, maka cara menyimpannya hendaklah diberi penguat.

Penguat itu berupa jangkar (angker) dari besi lunak dan diletakkan sebagai penutup pada kutub-kutub magnet, seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8.
Menyimpan magnet menggunakan jangkar

Dengan cara ini, garis-garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan magnet, akan melalui jangkar (angker), dan hampir tidak ada yang melalui udara. Selain menggunakan jangkar penyearah garis gaya magnet, pengamanan magnet juga dilakukan dengan cara menjauhkan magnet dari benda-benda yang dapat ditarik oleh magnet. Induksi magnetik terhadap benda-benda yang berada pada arah yang acak akan menyebabkan kurang teraturnya posisi magnet elementer dalam magnet. Dengan demikian kekuatan magnet pun menjadi melemah.

Dengan berpatokan pada penjelasan di atas hendaknya para guru yang mengajar IPA mulai meninggalkan kebiasaan buruk dalam memperlakukan magnet. Jangan lagi terjadi magnet disimpan berserakan di dalam kotak Kit IPA atau lemari tanpa pengamanan. Memang, dengan berjalannya waktu magnet apapun akan menjadi lemah karena pengaruh dari luar, akan tetapi dengan penyimpanan yang benar magnet akan tahan lama sampai bertahun-tahun.

Rangkuman

Magnet adalah logam yang dapat menarik dengan sendirinya benda-benda lain yang terbuat dari bahan mengandung unsur besi. Dari segi kejadiannya, magnet dikelompokkan ke dalam magnet alam dan magnet buatan. Magnet alam terjadi karena pengaruh medan magnet bumi, sedangkan magnet buatan dibuat dengan sengaja oleh manusia dengan cara induksi dan gosokan. Dapat tidaknya suatu benda dibuat magnet tergantung kepada jenis bahan penyusun benda tersebut.

Bahan ferromagnetik seperti baja, nikel, dan kobalt, baja-kobalt, baja-nikel, aluminium-nikel-kobalt (alnico), besi-nikel (permalloy), besi-nikel-kobalt (perminvar), benda-benda atau bahan-bahan yang sangat mudah dipengaruhi oleh magnet dan juga dengan mudah dapat dibuat magnet. Lawan dari ferromagnetik adalah *bahan diamagnetis*. Bahan ini mempunyai *permeabilitas* (angka koefisien kemagnetan) kurang dari satu sehingga jika dimasukkan ke dalam medan magnet akan cenderung ditolak oleh magnet itu sekalipun dengan pengaruh gaya tolak yang sangat kecil. Contoh bahan diamagnetik ialah: bismuth, antimon, seng murni, air raksa, timbal, perak, emas, air, fosfor, dan tembaga.

Benda lainnya adalah *bahan paramagnetis* dan *bahan nonmagnetis*. Bahan paramagnetis dapat dipengaruhi oleh magnet tetapi tidak dapat dibuat magnet. Yang termasuk bahan paramagnetis ialah: mangan, platina, aluminium, magnesium, timah (tin), oksigen, dan udara. Ada pun *bahan nonmagnetis* adalah bahan yang tidak dapat dipengaruhi magnet dan juga tidak dapat dibuat magnet. Sebagai contoh misalnya kaca, kertas, dan kayu.

Sifat magnet suatu benda disebabkan oleh adanya magnet elementer pada benda tersebut. Ada dua teori yang menjelaskan adanya magnet elementer pada benda. Pertama, menurut Webber semua benda terdiri dari molekul-molekul yang memiliki sifat magnet, disebut *magnet elementer*. Kedua, menurut Weiss setiap atom benda memiliki elektron-elektron yang beredar mengelilingi intinya. Di samping berputar mengelilingi inti, elektron-elektron tersebut juga berputar sekeliling sumbunya masing-masing. Akibat perputaran pada sumbu elektron ini terjadilah kutub-kutub magnet elementer.

Setiap magnet memiliki bagian yang memiliki kekuatan terbesar yang disebut kutub. Kutub ini selalu berpasangan yaitu kutub utara dan kutub selatan. Antara dua kutub sejenis terjadi gaya tolak menolak, sedangkan antara kutub berlainan terjadi gaya tarik menarik. Gaya magnet ini sebenarnya merupakan akibat dari medan magnet. Garis-garis gaya magnet selalu berasal dari kutub utara magnet menuju kutub selatan magnet. Arah kutub-kutub magnet dalam keadaan bebas selalu mengarah utara-selatan arah mata angin dengan mengalami sedikit penyimpangan yang disebut inklinasi dan deklinasi.

Diperlukan cara yang benar dalam menyimpan magnet ketika tidak digunakan agar sifat kemagnetannya dapat bertahan lama. Caranya, antara lain dengan menghubungkan seluruh kutub-kutub magnet yang berlawanan dengan menggunakan pelat besi atau jangkar. Selain itu, simpan lah magnet pada tempat yang jauh dari benda-benda lain yang dapat berinteraksi dengan magnet, seperti besi atau magnet lainnya yang tidak menggunakan jangkar pengaman.

Tes Formatif 1

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Peristiwa gaya gesekan dapat terjadi di bawah ini, *kecuali*
 - A. antara sepatu yang dipakai dengan jalan yang dilalui
 - B. antara ban kendaraan bermotor dengan jalan raya
 - C. antara buku yang ditarik dengan atas meja
 - D. antara air sumur dengan timbangannya
2. Magnet alam terjadi disebabkan oleh pengaruh
 - A. medan magnet dari planet bumi
 - B. gaya magnet dari planet bumi
 - C. medan magnet dari planet sekitar bumi
 - D. gaya magnet dari satelit bumi
3. Magnet jarum pada kompas berguna untuk menunjukkan
 - A. arah datangnya angin
 - B. besarnya kekuatan angin
 - C. kecepatan arah angin
 - D. arah mata angin
4. Daya tarik magnet terbesar terdapat di
 - A. tengah
 - B. kedua ujungnya
 - C. dimana sama aja
 - D. salah satu ujungnya
5. Magnet yang dibuat dengan cara aliran listrik disebut....
 - A. elektromagnet
 - B. magnet ladam
 - C. feromagnetik
 - D. diamagnetik
6. Zat yang dapat ditarik dengan kuat oleh sebuah magnet adalah zat
 - A. diamagnetik
 - B. paramagnetik

- C. ferromagnetik
 - D. nonmagnetik
7. Sifat kemagnetan suatu benda akan hilang bila dilakukan hal berikut
- A. dijatuhkan
 - B. dipukul
 - C. dibakar
 - D. didekatkan dengan organ magnet
8. Bahan paramagnetis adalah sebagai berikut, kecuali
- A. Mangan
 - B. Platina
 - C. Baja
 - D. Alumunium
9. Sudut yang dibentuk pada garis mendatar dengan garis kutub utara selatan magnet disebut
- A. deklinasi
 - B. isodeklinasi
 - C. inklinasi
 - D. dipole magnet
10. Bila kemagnetan terjadi karena pengaruh medan magnet dari planet bumi disebut....
- A. magnet elementer
 - B magnet alam
 - C. medan magnet
 - D. gaya magnet

Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat pada bagian akhir unit ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar. Gunakanlah rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Subunit 1.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90 – 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 – 79% = cukup

< 70% = kurang

Bila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat melanjutkan dengan Subunit 2. **Selamat untuk Anda !** Tetapi apabila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mempelajari kembali Subunit 1 terutama bagian yang belum Anda kuasai.

Subunit 2

Listrik

Pengantar

Abad di mana kita hidup saat ini adalah abad listrik. Perhatikanlah berbagai alat di sekitar Anda. Jam tangan sebagian teman Anda mungkin berupa jam digital yang dioperasikan dengan baterai listrik. Kalkulator yang Anda gunakan jelas menggunakan listrik. Penggunaan listrik juga dengan mudah Anda kenal pada alat-alat seperti radio, televisi, tape recorder, telepon, mikrofon, dan alat penerangan di rumah. Dengan demikian, masalah kelistrikan adalah masalah yang akrab dengan mayoritas masyarakat sekarang ini. Dalam fisika kelistrikan dipelajari secara khusus dalam cabang fisika khusus, yaitu elektrostatika berkenaan dengan muatan listrik yang diam, dan elektrodinamika tentang muatan listrik bergerak atau arus listrik.

A. Elektrostatik

1. Teori Dasar Benda Bermuatan Listrik

Gejala dan pemanfaatan kelistrikan sebenarnya berlandastumpu pada konsep dasar benda bermuatan yang lebih dikenal dengan nama elektrostatik. Sesungguhnya fenomena elektrostatik merupakan peristiwa yang mudah kita tunjukkan dalam kehidupan sehari-hari. Coba Anda gosok-gosokkan penggaris plastik pada tangan Anda kemudian dekatkan ke rambut teman Anda maka akan nampak beberapa helai rambut berdiri karenanya. Atau, coba gantilah penggaris plastik dengan menggunakan balon, gosokkan balon tersebut ke rambut Anda kemudian tempelkanlah pada dinding, lihatlah apa yang terjadi? Balon akan menempel pada dinding beberapa saat. Dalam skala yang lebih besar fenomena elektrostatik pernah Anda lihat pada peristiwa terjadinya petir. Petir terjadi akibat adanya loncatan muatan listrik statis di ionosfir. Petir merupakan gejala alam yang jauh lebih awal dari kejadian bumi kehidupan di bumi.

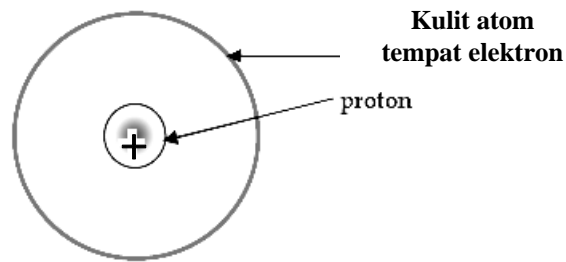
Fenomena elektrostatik sudah dikenal manusia sejak ribuan tahun lalu. Pada kira-kira 2600 tahun yang lalu, pada zaman Yunani kuno, Thales of Miletus telah mencermati fenomena sebuah benda fosil mirip kaca yang digosok-gosokkan dapat menarik benda-benda tertentu secara “ajaib”, misalnya bulu-bulu halus binatang.

Saat itu benda aneh tersebut dalam bahasa Yunani dinamai *electron*. Karena keterbatasan ilmu dan pengaruh budaya keyakian saat itu, kejadian alam ini belum dapat dijelaskan secara ilmiah bahkan menganggapnya sebagai sebuah peristiwa “sihir” semata.

Dalam literatur Inggris benda 'aneh' tersebut dikenal dengan nama batu ambar (*ambar stone*). Pada tahun 1600-an, seorang dokter istana Inggris, William Gilbert meneliti “keajaiban” batu ambar tersebut secara ilmiah dan membeda-kannya dari fenomena kemagnetan. Gilbert menamai gejala batu ambar ini dan gejala apapun yang serupa sebagai *Electric*, atau dalam bahasa Indonesia disebut listrik (bukan elektron). Sekarang istilah electric atau listrik dipakai untuk menamai semua gejala yang berhubungan dengan ion (elektron dan proton) serta dinamikanya. Tahun 1700-an, seorang Ilmuan bernama Du Fay menunjukkan bahwa ada dua jenis gejala kelistrikan statik. Yaitu, gejala tarik-menarik dan tolak menolak pada benda. Dari dua gejala ini disimpulkan terdapat dua jenis sumber listrik (yang kemudian disebut muatan listrik). Penemuan Du Fay ini diperkuat oleh hasil eksperimen Benjamin Franklin (1752), seorang ilmuan, sastrawan, politisi dan terutama salah seorang penggagas deklarasi kemerdekaan Amerika, yang menyatakan -berdasarkan fenomena kilat yang dipelajarinya- bahwa muatan listrik pada peristiwa batu ambar terdiri dari dua jenis listrik (muatan listrik) yaitu sebagai positif (+) dan negatif (-). Penamaan ini dipakai hingga saat ini dan amat membantu dalam menjelaskan gaya elektrostatis Robert A. Millikan (1869-1953) kemudian melakukan eksperimen yang bertujuan mencari harga muatan yang paling kecil yang bisa didapatkan.

Selanjutnya, Millikan memenangkan hadiah Nobel atas percobaan yang dikenal dengan tetes-minyak (*oil-drop*) Millikan. Dari percobaan ini diketahui bahwa jumlah muatan listrik pada suatu bahan selalu kelipatan dari $1,602 \times 10^{-19}$ Coulomb (C). Harga muatan ini dimiliki oleh partikel terkecil elektron, sehingga bilangan tersebut disebut e (muatan elektron). $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. Artinya benda apapun yang bermuatan listrik, muatannya adalah kelipatan bilangan bulat dari harga e ($1e$, $2e$, $3e$, dan seterusnya)

Bagaimanakah benda bisa bermuatan listrik? Sebagaimana kita ketahui di alam ini terdapat benda bermuatan listrik dan benda netral yang ditentukan oleh perbandingan muatan positif dan muatan negatif di dalam atom penyusun bahan tersebut. Pada benda netral jumlah muatan positif dan negatif di dalam setiap atom sama. Dan karena setiap benda terdiri dari atom, maka dengan demikian jumlah muatan elektron akan sama dengan inti atom yang notabene bermuatan positif.



Gambar 3.9.
Sebuah atom bermuatan netral memiliki muatan negatif dan positif yang sama besar

Jika elektron dalam atom atau benda berpindah ke atom atau benda lainnya, maka benda atau atom semula akan kekurangan elektron. Dengan demikian jumlah muatan positifnya lebih besar dari pada jumlah muatan negatifnya maka bahan tersebut menjadi bermuatan positif.

Pada kenyataan sehari-hari kita tidak dapat membedakan benda yang mana yang bermuatan negatif atau positif. dengan kasat mata. Namun, menurut tradisi, gelas/kaca yang digosok dengan kain sutra merupakan benda bermuatan positif, sedangkan jika digosok dengan kain wol maka akan bermuatan negatif. Dengan demikian benda apapun yang ditolak oleh kaca yang telah digosok oleh kain sutra, maka ia kita sebut bermuatan positif. Demikian juga sebaliknya.

Ketika batang gelas digosok dengan kain sutra, sejumlah elektron dari batang gelas berpindah ke kain sutra sehingga batang gelas kekurangan elektron dan bermuatan positif. Batang gelas yang bermuatan positif akan menarik konduktor yang memiliki elektron bebas, misalnya kertas logam. Mekanisme sebaliknya terjadi ketika kita menggosokkan wol pada batang gelas, sejumlah elektron justru berpindah dari wol ke batang gelas sehingga batang gelas memiliki muatan negatif berlebih.

Beberapa percobaan sederhana lainnya untuk menunjukkan fenomena kelistrikan (benda bermuatan listrik) dapat Anda lakukan sendiri dengan bahan/alat dan cara sederhana sebagai berikut.

Kegiatan

a. Bahan/alat:

Sebuah penggaris plastik, dua lembar plastik sampul buku, balon yang sudah ditiup (berisi udara), batang plastik, batang gelas, kain nilon, kain berbulu (wool), kain sutra, serpihan-serpihan kecil kertas kering atau aluminium foil.

b. Kegiatan

- (1) Gosok-gosokkan penggaris plastik pada rambut kering (tidak basah atau berminyak). Kemudian segera dekatkan kepada serpihan-serpihan kertas kering atau serpihan alumunium foil. Amati apa yang terjadi?
- (2) Gosokkan kedua lembar plastik sampul buku kepada kain nilon. Segera dekatkan kedua lembar plastik tersebut, apa yang terjadi?
- (3) Gantungkan batang karet/plastik dengan benang. Gosoklah batang plastik ini dengan kain wool. Pada saat yang sama teman Anda menggosok batang gelas dengan dengan kain sutra.
- (4) Gosoklah dua buah balon yang telah mengembang (ditiup) dengan kain wool beberapa saat. Selanjutnya segera lekatkan balon-balon tersebut ke dinding dan lepaskan! Apa yang terjadi? Atau coba kegiatan lainnya, setelah kedua balon digosok dalam keadaan tergantung bebas dekatkan satu dengan yang lainnya. Amati yang dialami kedua balon tersebut!?
- (5) Untuk setiap kegiatan di atas diskusikan dengan teman Anda, apa yang sebenarnya terjadi pada benda-benda yang digosok dan diamati kejadiannya oleh Anda.

2. Hukum Coulomb untuk Muatan Listrik

Melalui sebuah percobaan, Coulomb (1768) menemukan bahwa antara muatan-muatan listrik sejenis terjadi gaya tarik-menarik dan antara muatan listrik yang berlainan jenis terjadi gaya saling menolak (repulsif). Gaya tarik/tolak ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar benda/muatan dan sebanding dengan besarnya muatan benda tersebut. Jika muatan Q_A dan Q_B didekatkan pada jarak r maka Coulomb merumuskan bahwa gaya interaksi kedua muatan tersebut adalah: dimana:

$$F = k \frac{Q_A Q_B}{r_{AB}^2}$$

$$k = 1/(4\pi\epsilon_0) \approx 9 \times 10^9$$

F = Gaya Coulomb (Newton)

Q_B = Muatan kedua (coulomb)

Q_A = Muatan pertama (coulomb)

r_{12} = jarak antar muatan (meter)

Dari penjelasan di atas maka dalam elektrostatika (statika elektrik) terdapat dua hukum penting yang banyak digunakan. Hukum pertama menyatakan bahwa *muatan listrik yang senama tolak-menolak, dan muatan listrik yang tidak senama tarik-menarik*. Hukum ini mirip dengan hukum dalam kemagnetan, yang menyatakan

bahwa kutub-kutub yang senama tolak-menolak dan kutub-kutub yang tidak senama tarik-menarik.

Hukum kedua terkenal dengan nama hukum coulomb. Hukum ini berbunyi: *"Gaya yang bekerja antara dua muatan listrik adalah sebanding dengan perkalian antara kedua muatan tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara kedua muatan, serta tergantung pada bahan yang memisahkannya"*

Contoh Soal:

Dua buah muatan sejenis $Q_a = 1 \mu\text{C}$ berjarak 1 cm dari muatan $Q_b = 2 \mu\text{C}$. Hitung gaya interaksi kedua muatan tersebut!

.Jawab:

$$F_{ba} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-12}}{10^{-4}} = 180 \text{N}$$

B. Elektrodinamik

1. Konduktor dan Isolator

Elektrodinamik berkaitan dengan dengan muatan listrik yang bergerak atau arus listrik. Arus ini mengalir pada suatu bahan yang mudah mengalirkan arus listrik yang disebut konduktor. Suatu bahan disebut bersifat konduktif (bahan konduktor) jika di dalamnya terdapat cukup banyak muatan (elektron) bebas. Lawan dari konduktor adalah isolator yaitu bahan yang sukar mengalirkan arus listrik karena kurang atau tidak memiliki elektron bebas. Logam pada umumnya adalah konduktor karena mudah memiliki elektron bebas. Sedangkan bahan bukan logam pada umumnya adalah isolator karena sukar memiliki elektron bebas.

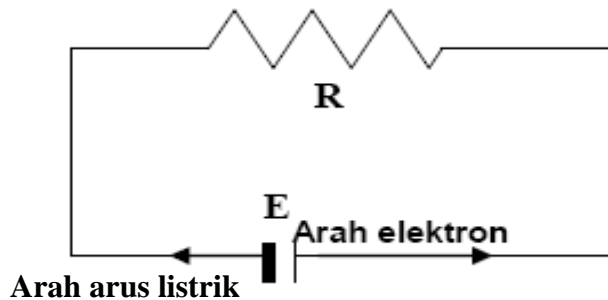
Elektron bebas adalah elektron yang tidak terikat pada satu inti atom, atau meskipun terikat, ia merupakan elektron yang letaknya jauh dari inti sehingga hanya mendapatkan gaya tarik yang kecil saja. Elektron bebas ini kemudian, yang akan "mengalir" dalam bahan (kawat) apabila ada perbedaan potensial diantara dua titik pada kawat. Elektron-elektron dalam kawat yang memiliki benda potensial mengalir dari potensial yang lebih rendah (-) ke potensial yang lebih tinggi (+) (Namun dalam baterai yang terjadi justru sebaliknya). Hal ini mirip dengan air di sungai yang hanya akan mengalir jika terdapat beda potensial gravitasi (beda ketinggian) pada dua titik dalam sungai.

Kuat arus listrik (I) didefinisikan sebagai : "Banyaknya muatan yang mengalir dalam satu detik, sehingga secara matematis bisa dirumuskan sebagai :

$$\text{Kuat Arus (I)} = \frac{Q}{t} = \frac{\text{muatan (Coulomb)}}{\text{waktu (detik)}}$$

Satuan dari kuat arus listrik dalam sistem Internasional (SI) adalah Coulomb/detik atau Ampere. Satu ampere dapat diartikan sebagai satu coulomb muatan yang bergerak melalui luas penampang lintang dalam interval waktu satu detik. Satuan arus listrik yang lebih kecil sering dinyatakan dalam miliampere dan mikroampere. Satu miliampere sama dengan 10^{-3} A, dan 1 mikroampere = 10^{-6} A.

Arah dari arus listrik berlawanan dengan arah mengalirnya elektron, ketentuan arah arus ini hanyalah merupakan sebuah kesepakatan. Arus listrik sebenarnya adalah aliran partikel bermuatan negatif (elektron bebas). Penentuan arah arus ini didasarkan pada kesepakatan historis, karena mula-mula dianggap bahwa adanya arus listrik pada logam itu, disebabkan oleh gerakan muatan positif, sedangkan yang sebenarnya yang bergerak adalah elektron.



Gambar 3.10
Arah arus listrik dalam rangkaian

2. Beberapa Konsep Dasar Listrik Dinamik

a. Hukum Ohm

Di alam ini tidak ada bahan isolator maupun bahan konduktor yang sempurna yaitu suatu bahan yang sama sekali tidak dapat mengantarkan arus listrik, maupun suatu bahan yang tanpa mempunyai hambatan. Mudah tidaknya suatu arus mengalir pada suatu penghantar dinyatakan dalam Hukum Ohm. Hukum ini berasal dari hasil percobaan George Simon Ohm (1787 – 1854) yang menunjukkan adanya hubungan antara arus, beda potensial dan hambatan: “Kuat arus yang mengalir pada suatu

penghantar berbanding lurus dengan beda potensial antar kedua ujung penghantar tersebut dan berbanding terbalik dengan hambatannya". Secara matematis ditulis:

$$\mathbf{I = V/R}$$

I = kuat arus (Ampere)

V = beda potensial (Volt)

R = hambatan (Volt/Ampere atau ohm)

Persamaan ini disebut dengan hukum Ohm dan dalam sistem satuan SI, hambatan dinyatakan dalam ohm. Berdasarkan hukum di atas satuan hambatan dapat dinyatakan dalam Volt/ampere, di mana $1 \text{ V/A} = 1 \text{ ohm}$. Dengan demikian jika beda potensial antara kedua ujung konduktor adalah 1 volt dan arus yang dihasilkan sama dengan 1 ampere, maka hambatan dari konduktor itu adalah 1 Ohm.

Selanjutnya besar kecilnya hambatan suatu penghantar (kawat) tergantung kepada panjang kawat (L), dan luas penampang kawat (A), dapat dirumuskan seperti berikut:

$$\mathbf{R = \rho L/A}$$

ρ adalah sifat intrinsik dari bahan konduktor yang disebut dengan resistivitas atau hambatan jenis. Hambatan jenis ini tergantung pada struktur elektronik dari bahan dan temperatur. Dengan demikian konduktor listrik yang baik akan mempunyai hambatan jenis yang sangat kecil dan bahan isolator yang baik akan mempunyai hambatan jenis yang sangat besar. Satuan hambatan jenis dalam sistem satuan SI dinyatakan dengan ohm meter. Tabel berikut menunjukkan harga hambatan jenis beberapa bahan.

Tabel. 3.1
 Harga hambatan jenis bahan

Bahan	ρ (Ωm)
Alumunium	$2,8 \times 10^{-8}$
Besi	10×10^{-8}
Belerang	1×10^{15}
Kaca	$10^{10}-10^{14}$
Kayu	10^8-10^{14}
Karet	$10^{13}-10^{16}$
Karbon	$3,5 \times 10^3$
Perak	$1,6 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-7}$
Timah	22×10^{-8}

b. Rangkaian Hambatan pada Rangkaian Listrik.

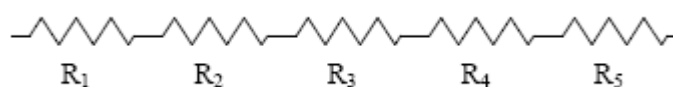
Pada umumnya rangkaian dalam sebuah alat listrik terdiri dari banyak jenis komponen yang terangkai secara tidak sederhana, akan tetapi untuk mempermudah mempelajarinya biasanya jenis rangkaian itu biasa dikelompokkan dalam rangkaian seri dan rangkaian paralel. Beberapa resistor dirangkai untuk tujuan tertentu seperti untuk membagi arus (memperkecil arus) ataupun membagi tegangan.

1) Rangkaian Seri

Rangkaian seri adalah rangkaian yang tidak memiliki percabangan. Hambatan pengganti dari beberapa penghambat yang disusun secara seri adalah jumlah dari masing-masing hambatan. Hambatan pengganti atau hambatan subsitusi (R_s) adalah hambatan jika terdapat beberapa penghambat missal R_1 , R_2 , dan R_3 dirangkai secara seri dan secara umum dapat ditulis:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n.$$

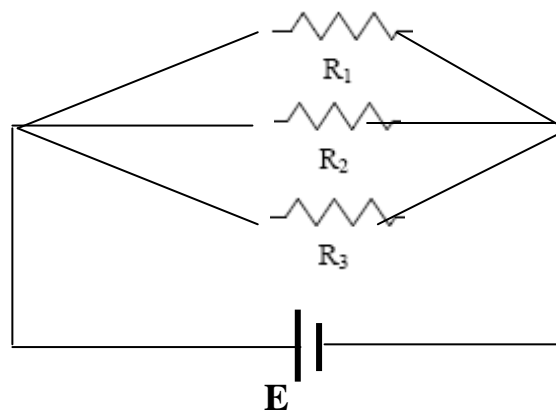
Skema rangkaian seri dengan 5 buah hambatan



Dalam aplikasi sehari-hari, jika hambatan (misalnya lampu) dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan sumber arus, maka ketiga lampu tersebut akan dialiri arus sama besar. Sedangkan beda potensial pada masing-masing lampu sebanding dengan besar hambatan masing-masing lampu. Jika salah satu lampu padam maka lampu lainnya akan turut padam.

2) Rangkaian Paralel.

Rangkaian paralel adalah rangkaian yang mengandung titik percabangan arus. Beda potensial pada hambatan yang berasal dari titik percabangan dan titik pertemuan yang sama nilainya sama. Jika terdapat beberapa penghambat misalnya R_1 , R_2 , dan R_3 disusun secara paralel. Skema rangkaian paralel tersebut adalah



Tegangan setiap penghambat adalah sama dan arus total sama dengan jumlah arus masing-masing penghambat sehingga secara umum hambatan substitusi paralel ditulis secara matematis adalah :

$$1/R_s = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots 1/R_n$$

Beda potensial atau tegangan pada setiap hambatan (misalnya lampu) yang dirangkai seri seperti di atas nilainya sama. Tetapi arus yang mengalir pada setiap hambatan berbanding terbalik dengan besar hambatan masing-masing. Jika sebuah lampu

Jika kapasitor dihubungkan secara seri dan paralel, dan diketahui untuk $C_1 = 3 \mu F$ dan $C_2 = 4 \mu F$ adalah rangkaian seri, sementara untuk $C_3 = 4 \mu F$ dan $C_4 = 8 \mu F$ merupakan rangkaian paralel.

Hitunglah kapasitor gabungan dai ke empat kapasitor tersebut.

Pnyelesaian :

Untuk rangkaian paralel :

$$C_p = C_3 + C_4$$

$$= 4 \mu F + 8 \mu F = 12 \mu F$$

Sekarang C_1 , C_2 dan C_p terlihat sebagai kapasitor dalam hubungan seri, maka kapasitor gabungan menjadi:

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_p}$$

$$= \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{12}$$

$$= \frac{4}{12} + \frac{3}{12} + \frac{1}{12}$$

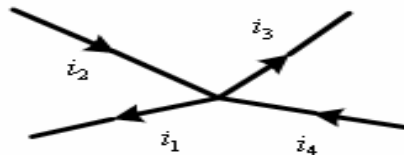
$$\frac{1}{C_s} = \frac{8}{12}$$

$$C_s = 12/8 = 1,5 \mu F$$

c. Hukum Kirchoff

1) Hukum Kirchoff I: *Kirchoff's Current Law (KCL)*

Jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau node atau simpul samadengan arus yang meninggalkan percabangan atau node atau simpul. Dengan kata lain jumlah aljabar semua arus yang memasuki sebuah percabangan atau node atau simpul samadengan nol. Secara matematis :



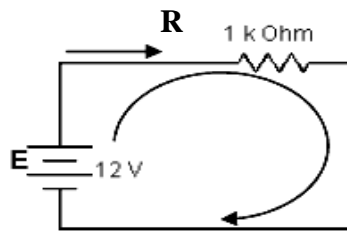
Σ Arus pada satu titik percabangan = 0; $i_2 + i_4 - i_1 - i_3 = 0$; atau

Σ Arus yang masuk percabangan = Σ Arus yang keluar percabangan

$$i_2 + i_4 = i_1 + i_3$$

2) Hukum Kirchoff II : *Kirchoff's Voltage Law (KVL)*

Jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup sama dengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai sama dengan nol. Secara matematis : $\Sigma V = 0$

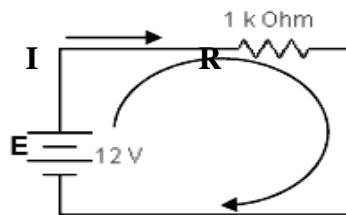


$$E + I.R = 0$$

d. Energi listrik pada rangkaian.

Energi listrik termasuk salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan sehari-hari. Terkait dengan energi ini dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal penggunaan satuan daya (watt dan kWh) yakni satuan dari energi yang digunakan persatuan waktu.

Berikut adalah beberapa rumus sederhana untuk menghitung energi pada rangkaian listrik.



Jika pada rangkaian di atas arus sebesar I yang berasal dari sumber tegangan E atau V mengalir pada rangkaian dengan hambatan R maka energi (W) dan daya (P) yang digunakan pada rangkaian tersebut selama waktu t adalah:

$$W = V I t \text{ atau } W = I^2 .R.t \text{ atau } W = P.t \text{ di mana } P = V.I$$

Satuan: $W = \text{volt.amper.det (joule) atau } A^2\text{Ohm.det atau watt.det};$

$P = \text{volt.ampere atau watt}$

$kWh = \text{kilowatt.hour atau kilowatt.jam}$

Rangkuman

Benda bermuatan listrik adalah benda yang mengandung perbedaan antara jumlah muatan positif (proton) dan jumlah elektron yang terdapat pada atom penyusun benda tersebut. Jika jumlah proton pada inti lebih besar dari jumlah

elektron yang mengelilinginya maka benda tersebut bermuatan positif. Sebaliknya jika jumlah elektron lebih besar dari jumlah proton, benda tersebut bermuatan negatif. Perbedaan jumlah ini disebabkan oleh bertambah atau berkurangnya jumlah elektron yang terdapat pada kulit terluar dari atom penyusun bahan.

Antara benda-benda bermuatan listrik terjadi interaksi gaya coulomb. Muatan sejenis tolak-menolak. Muatan berlainan tarik-menarik. Besar gaya interaksi ini sebanding dengan besar muatan yang berinteraksi dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara muatan tersebut.

Muatan listrik yang bergerak dalam suatu penghantar menghasilkan arus listrik. Muatan yang bergerak tersebut adalah arus elektron. Dalam rangkaian listrik arah arus listrik ditetapkan sebagai arah yang berlawanan dengan arus elektron. Sehingga dikenal pernyataan 'arus listrik bergerak dari kutub positif ke kutub negatif'. Besar kecilnya arus listrik ditentukan oleh besar kecilnya beda potensial dan hambatan. Besar kecilnya hambatan suatu penghantar dipengaruhi antara lain oleh jenis bahan penghantar, panjang penghantar, dan luas penampang.

Penghantar yang mudah mengalirkan arus listrik disebut konduktor. Termasuk ke dalam jenis konduktor ini adalah sejumlah logam. Sedangkan penghantar yang sukar mengalirkan arus listrik (pada umumnya bukan logam) disebut isolator. Untuk mengatur besar kecilnya arus yang mengalir atau mengatur nilai beda potensial pada penghantar biasa dibuat berbagai jenis rangkaian hambatan. Jenis rangkaian dasar hambatan ialah rangkaian seri dan rangkaian paralel.

Rangkaian seri hambatan memiliki karakteristik antara lain tidak memiliki titik percabangan sehingga jumlah kuat arus yang mengalir pada setiap hambatan adalah sama besar. Ada pun pada rangkaian paralel terjadi titik percabangan sehingga kuat arus yang mengalir mungkin mengalami perbedaan. Tetapi beda potensial pada masing-masing hambatan memungkinkan untuk sama besarnya.

Tes Formatif 2

Pilih salah satu jawaban yang dianggap paling benar

1. Benda bermuatan listrik adalah benda yang mengandung perbedaan.....
 - A. jumlah muatan positif
 - B. jumlah muatan negative
 - C. jumlah proton
 - D. jumlah proton dan electron
2. Benda bermuatan positif artinya
 - A. jumlah proton < jumlah electron
 - B. jumlah proton > jumlah electron
 - C. jumlah proton = jumlah electron
 - D. jumlah proton + jumlah electron
3. Arus listrik adalah.....
 - A. muatan listrik yang tidak mengalir
 - B. muatan listrik yang tarik menarik
 - C. muatan listrik yang bergerak dalam suatu penghantar
 - D. muatan listrik yang tidak bergerak atau konstan
4. Besar kecilnya arus listrik ditentukan oleh :
 - A. beda fotensial
 - B. jumlah electron
 - C. jumlah proton
 - D. jenis konduktor
5. Yang mempengaruhi besar kecilnya suatu penghantar adalah sebagai berikut, *kecuali*.....
 - A. bahan penghantar
 - B. panjang penghantar
 - C. luas penampang
 - D. tinggi penampang

6. Penghantar yang mudah mengalirkan arus listrik disebut
- A. Isolator
 - B. Konduktor
 - C. Volt ampere
 - D. Kuat arus
7. Semua yang berkaitan dengan suatu listrik yang bergerak disebut
- A. elektrostatik
 - B. elektrodinamik
 - C. elektronik
 - D. resistor
8. Satuan yang biasa digunakan untuk mengukur penggunaan listrik di rumah tangga adalah
- A. kWh
 - B. joule
 - C. joule/s²
 - D. watt
9. Hubungan yang tepat antara tegangan , arus listrik dan energi yang digunakan adalah
- A. $W = Vit$
 - B. $W = Vit^2$
 - C. $W = Vi^2t$
 - D. $W = V^2it$
10. $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$. Jika tertulis rumusan seperti demikian maka jumlah hambatannya adalah
- A. 2
 - B. 4
 - C. 3
 - D. 5

Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat pada bagian akhir Unit ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar.

Gunakanlah rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Subunit 2.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90 – 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 – 79% = cukup

< 70% = kurang

Bila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat melanjutkan dengan Unit selanjutnya. **Selamat untuk Anda !** Tetapi apabila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mempelajari kembali Subunit 2 terutama bagian yang belum Anda kuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

1. D Air sumur dengan timbangan tidak termasuk gaya gesekan
2. B Magnet alam terjadi disebabkan oleh pengaruh gaya magnet dari planet bumi
3. D Magnet jarum dan kompas berguna untuk menunjukkan arah mata angin
4. B Daya tarik magnet terbesar terdapat pada kedua ujung magnet
5. A Elektromagnet merupakan magnet yang dibuat dari listrik
6. C Feromagnetik adalah zat / bahan yang dapat ditarik kuat oleh magnet
7. D Pemukulan pada magnet akan mempercepat hilangnya kemagnetan
8. C Bahan paramagnetis adalah mangan, platina, aluminium
9. C Sudut yang dibentuk pada garis mendatar dengan garis kutub utara selatan magnet disebut?
10. B Magnet alam terjadi apabila kemagnetan terjadi karena medan magnet planet bumi

Tes Formatif 2

1. D Benda yang bermuatan listrik mengandung perbedaan jumlah medan magnet
2. B Benda bermuatan listrik terjadi karena adanya perbedaan jumlah proton > jumlah elektron
3. C Muatan listrik yang bergerak dalam suatu penghantar merupakan arus listrik
4. A Beda potensial akan membedakan besar kecilnya arus listrik
5. A Bahan penghantar tidak termasuk yang mempengaruhi besar kecilnya suatu penghantar
6. B Konduktor merupakan penghantar arus listrik
7. B Elektronik adalah semua yang berhubungan dengan listrik
8. A kWh adalah satuan untuk penggunaan listrik rumah
9. A $W=VIt$ merupakan hubungan antara tegangan, arus listrik dan energi
10. C Cukup jelas jumlah hambatanannya 3

Daftar Pustaka

Ahmad, N. (2006). *Diklat Kuliah Konsep Dasar IPA*. Tasikmalaya: PGSD FIP

http://digilib.brawijaya.ac.id/virtual_library/mlg_warintek/ristek-pdii-lipi/Sponsor/_Sponsor-Pendamping/Praweda/Fisika/0281%20Fis-1-4d.htm

Ichwan, H. (1989) *Dasar-dasar Kemagnetan*. Jakarta: Penerbit Erlangga

Yosaphat, P. dkk. (2002). *Konsep Dasar IPA 1*. Jakarta: Pusat Penerbit Universitas Terbuka

Glosarium

- Magnet** : adalah suatu benda yang dapat menarik besi, baja, atau benda-benda lain yang mengandung unsur besi atau baja.
- Deklinasi** : Sudut yang dibentuk oleh garis utara-selatan geografis (bumi) dan garis utara-selatan magnet jarum.
- Bahan Ferromagnetik** : adalah benda-benda atau bahan-bahan yang sangat mudah dipengaruhi oleh magnet dan juga dengan mudah dapat dibuat magnet.
- Inklinasi** : Sudut yang dibentuk pada garis mendatar (horisontal) dengan garis kutub utara-selatan magnet jarum