

BAB - 18

KEMAGNETAN

A. Pendahuluan

Kemagnetan merupakan dasar pokok gaya, terutama yang berhubungan dengan listrik. Karena adanya kemunculan benda magnetic, beberapa contoh efek magnetic telah diketahui sejak zaman dahulu kala. Akan tetapi, gejala elektromagnetik penting mengadakan kontak antara listrik dan kemagnetan yang dikembangkan hanya pada abad ke-19. Buktinya, semua perangkat digunakan dalam pembangkitan komersial dan distribusi listrik, seperti generator, transformator, dan motor, yang berdasar pada prinsip elektromagnetik yang dikembangkan antara tahun 1820 dan tahun 1831. Lagipula, pada tahun 1873 Maxwell menunjukkan perhitungan bahwa prinsip-prinsip itu termasuk gelombang medan magnet dan listrik yang keadaannya tunggal menyebar dengan melintas pada kecepatan cahaya. Demikianlah prinsip elektromagnetik merupakan dasar teknologi kita, dan pemahaman kita mengenai sifat dasar cahaya dan bentuk lain dari radiasi gelombang elektromagnetik.

B. Magnet

Sifat kemagnetan dapat dilihat dari kedua kutub magnet yang berlawanan, yaitu kutub utara dan kutub selatan magnet. Apabila kedua kutub itu didekatkan maka akan terjadi saling tarik menarik, sebaliknya apabila dua kutub sejenis (misal kutub utara dengan kutub utara lagi) maka akan terjadi saling tolak –menolak. Hal tersebut seanalogue dengan sifat kedua muatan listrik yaitu positif dan negative.

Sifat magnet yang lainnya, yaitu memisahkan kutub utara dan selatan pada magnet panjang dengan membelahnya menjadi dua, kita mendapati bahwa kutub utara dan selatan dengan segera muncul pada ujung yang dipatahkan, maka tiap bagian sisanya menjadi magnet utuh dengan kedua kutubnya utara dan selatan. Buktinya, tidak menjadi masalah bagaimana banyaknya potongan magnet yang dipatahkan, tiap potongan memiliki kutub utara dan selatan yang sama kuatnya. Lagi pula, sejumlah unsur partikel,

seperti electron, proton, dan neutron, berperan sebagai magnet utuh dengan kutub utara dan selatan. Karena unsure partikel dengan satu kutub magnet saja tidak pernah didapati, kekurangan mendasar pada kutub magnet signifikan bahwa muatan listrik ada.

Sebuah *medan magnet* B dapat didefinisikan pada cara yang sama sebagaimana kita mendefinisikan medan listrik E . Mengingat bahwa magnet listrik pada berbagai titik di ruang merupakan gaya yang system muatannya akan mendesak pada satu kesatuan muatan listrik positif yang ditempatkan di titik tersebut. Demikian juga, medan magnet pada berbagai titik di ruang merupakan gaya yang system muatannya akan (misalnya sepotong magnet) akan mendesak pada satu unit kutub utara magnet yang ditempatkan pada titik tersebut. Semenjak kutub terisolasi tidak eksis, kita harus menggunakan jarum compass untuk mengukur medan.

C. Arus dan magnetisasi

Andre Marie Amper (1775- 1836) menginvestigasikan penemuan Oersted lebih lanjut dan segera mengembangkan sebuah perhitungan matematis lengkap yang menggambarkan hubungan antar listrik dan kemagnetan. Hubungan antara arah medan dan arah arus diberikan pada *kaidah tangan kanan* : *Ketika sebuah kawat digenggam dengan tangan kanan dengan cara bahwa ibu jari menandakan arah arus, gambar kawat melingkar dalam pengertian yang sama sebagai medan magnet.*

Magnitudo B pada medan magnet di titik dekat kawat arus pembawa yang sangat panjang sepadan dengan dengan arus I dan sebaliknya berbanding tegak lurus dengan jarak r dari titik ke kawat. Simbol hubungan ini adalah

$$B = k \frac{I}{r} \quad 18.1$$

Dimana k adalah konstanta perbandingan, pada system satuan mks, dimana satuan arus adalah ampere dan satuan jarak adalah meter, satuan kuat medan magnet adalah *tesla* (T)

Hal itu didefinisikan dengan mengambil k dengan tetapan $2 \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$. Karena itu, dengan definisi magnitudo medan magnet satu meter dari kawat panjang tersebut memiliki arus sebesar satu ampere

$$B = k \frac{I}{r} = 2 \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ m}} = 2 \times 10^{-7} \text{ T}$$

Konstanta k selalu ditulis

$$k = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

Dimana $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$

Disebut permeabilitas magnetic. Pada hubungan μ_0 Persamaan 18.1 menjadi

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad 18.2$$

Ungkapan yang benar bagi sebuah kawat bundar adalah

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2a} \quad 18.3$$

Arah gaya magnet pada sebuah arus adalah tegak lurus baik terhadap medan magnet maupun terhadap arus; Hal itu didapat dengan menggunakan kaidah tangan kanan. Jari telunjuk di tangan kanan sebagai penunjuk arah arus, sementara jari tengah sebagai penunjuk arah medan. Kemudian ibu jari sebagai penunjuk arah gaya.

Tentunya sebuah arus pembawa pada sepotong kawat tidak dapat bertahan lama dengan sendirinya;Harusnya merupakan bagian dari rangkaian besar.Mari kita ingat, oleh karena itu, gaya pada rangkaian lengkap yang ditunjukkan pada gambar 18.19. Bagian dari rangkaian terdiri dari sebuah loop empat persegi panjang pada kawat yang panjangnya I dan tebalnya d yang ditempatkan antara kutub-kutub di magnet C. Loop dihubungkan dengan sebuah sumber emf melewati kawat yang membentang di luar magnet. Sebagai akibat, tidak ada gaya magnetic di kawat luar dan hanya gaya pada loop harus benar-benar dipertimbangkan.

Selanjutnya, dua dari empat bagian lurus dari loop sejajar dengan medan magnet sehingga gaya magnetiknya juga nol. Dua bagian lainnya tegak lurus terhadap medan,

maka besar gaya magnetic tiap bagian adalah BIl . Gaya-gaya pada bagian-bagian tersebut besarnya sama, namun arahnya berlawanan sehingga gaya total pada loop adalah nol.

Bagaimanapun torka total pada loop, yang cenderung memutarnya di sekeliling poros. Besarnya torka ini berbagai titik pada sebuah poros adalah

$$\begin{aligned}\tau_m &= \frac{1}{2}dF_m + \frac{1}{2}dF_m = dBIl \\ &= BIA\end{aligned}$$

Dimana $A = ld$ merupakan luas loop. Bila loop terdiri dari lilitan n pada kawat, torkanya adalah

$$\tau_m = nBIA \quad 18.7$$

Dimana persamaan akhir diperoleh dengan menggunakan persamaan 18.6 untuk mengkonversi dari satuan listrik ke satuan mekanika.

Meskipun torka magnet pada sebuah gulungan lebih kecil, cukup untuk memutar gulungan halus tertutup. Bukti ini digunakan dalam sejumlah alat ukur arus dan beda potensial.

Sebuah *galvanometer*, yang merupakan alat ukur arus yang sangat kecil, terdiri dari banyak lilitan gulungan tertutup diantara kutub-kutub magnet C dari kawat yang baik. Penutupannya diatur dengan cara ketika tidak ada arus di gulungan. Ketika arus kecil di gulungan, torka magnetic τ_m pada gulungan menyebabkan gulungan berputar, lalu memelintir kawat tertutup. Sebagai kawat yang dipelintir menggunakan torka yang berlawanan τ_w sesuai dengan sudut rotasi θ . Torka ini dapat ditulis

$$\tau_w = k\theta$$

Dimana k adalah konstanta karakteristik dari kawat. Pada kesetimbangan, gulungan bersandar pada sudut dimana τ_w sama dengan τ_m . Selanjutnya, dari persamaan 18.7 kondisi dari kesetimbangan tersebut adalah

$$k\theta = nBIA$$

atau

$$I = \frac{k\theta}{nBA}$$

Lalu arus di dalam galvanometer ditentukan dengan mengukur sudut rotasi pada gulungan. dengan menggunakan kawat tertutup yang sangat baik, seperti sebuah alat yang akan memberikan pembelokan yang dapat diukur dengan sebuah arus $10^{-6} A$.

Sebuah *ammeter* merupakan perangkat yang mudah dibawa untuk mengukur arus. Perangkat tersebut mengoperasikan dengan prinsip yang sama dengan galvanometer dengan pengecualian gulungannya dinaikkan di atas sebuah pasak yang berputar dan torka pembaliknya digunakan ke gulungan dengan pengertian adalah sumber spiral. Ketika ada sebuah arus di gulungan, gulungan tersebut berputar sampai torka magnetic sama dengan torka pembalik yang dihasilkan oleh sumber. Sebuah jarum dipasang ke gulungan menunjukkan derajat rotasi..

Arus pada rangkaian diukur dengan menghubungkan sebuah ammeter secara seri dengan rangkaian. Untuk mencegah berubahnya rangkaian, hambatan pada ammeter harus kecil.

Sebuah *voltmeter* merupakan perangkat untuk mengukur beda potensial antara dua buah titik. Perangkat tersebut terdiri dari sebuah ammeter yang dirangkai seri dengan hambatan besar R_v . Potensial V berseberangan dengan hambatan R_1 yang diukur dengan menghubungkan voltmeter paralel dengan R_1 . Bila R_v lebih besar daripada R_1 , voltmeter tidak akan berarti banyak untuk mengubah arus di R_1 . Adapun bila menjadi arus kecil

$$I' = \frac{V}{R_v}$$

Melalui voltmeter, yang menyebabkan meteran dibelokkan. Semenjak I' sebanding dengan V , pembelokkan meteran sesuai dengan V .

D. Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah kecenderungan dipole-dipol magnet electron terluar pada sebuah atom untuk lurus paralel sendiri terhadap dipole magnet electron bersesuaian

pada atom tetangga. Pada magnet permanent, dipole electron terluar semua atom pada volume materi besar terluruskan, maka medan magnetnya dijumlahkan bersama untuk menghasilkan medan magnet di luar magnet. Pada besi nonmagnet, dipole-dipolanya lurus dengan volume kecil, atau daerah miliknya, arah pelurusannya berbeda pada daerah yang berbeda pula. Sebagai akibat, medan magnet pada daerah tersebut menarik kembali satu sama lain sehingga tidak ada medan magnet di luar logam.

E. Aplikasi Kemagnetan

Banyak aplikasi penting kelistrikan yang dasarnya pada kemampuan mengubah medan magnet luas tak tetap dengan magnet listrik. Kita mengilustrasikan hal ini dengan mengingat perangkat berikut.

Telegraf Morse

Telegraf penerima morse terdiri atas sebuah magnet listrik yang tersusun di bawah sebatang besi yang disebut *clapper*. Clapper berkedudukan di atas salah satu kutub pada magnet listrik dari sumber. Rangkaian yang menghubungkan magnet listrik ke baterai tertutup sewaktu-waktu ketika kunci pembawa garis akhir ditekan. Hal ini disebabkan oleh sebuah arus sekejap pada gulungan magnet listrik, yang kemudian menarik clapper. Ketika kunci dilepas, arus berhenti dan sumber mengubah kedudukan clapper ke posisi sandar. Demikian sebuah pesan kode yang tersedia di atas kunci akhir garis yang menyebabkan clapper membuat urutan yang sesuai pada bunyi ceklek di garis akhir lainnya.

Bell Listrik

Sebuah bell listrik sama dengan telegraf penerima dalam memiliki clapper dan sebuah magnet listrik yang menarik clapper ketika rangkaian ditutup. Setiap waktu clapper bergerak menghadap magnet, menabrak sebuah bell logam, yang membuat suara berdering. Selain itu, clapper dibuat sebagai bagian dari rangkaian yang caranya seperti gerakan clapper yang menghadap magnet membuka rangkaian. Demikian, sebagaimana clapper mengenai bell, rangkaian dibuka dan clapper menarik magnet lagi. Oleh karena itu, selama switch utama S ditutup, clapper akan berpindah ke belakang seterusnya, dengan berkali-kali menabrak bell. Pengaturan ini merupakan salah satu mekanisme paling sederhana untuk terus menghasilkan gerakan mesin dari kelistrikan.

Motor Listrik

Sebuah motor *direct-current* (dc) sederhana, seperti yang digunakan pada mesin mainan, terdiri atas magnet listrik di atas sebuah batang (angker dynamo) yang berputar diantara kutub magnet C (Gambar 18.16). Ujung kawat listrik magnet menyambung dengan dua buah logam kontak (komutator) di atas batang. Rangkaian menjadi lengkap tatkala komutator menyentuh kontak luar (kol) yang menyambungkan ke baterai. Sebagaimana angker dynamo berputar, komutator berkali-kali membalikkan koneksi antara listrik magnet dan baterai, maka arah arus pada listrik magnet berulang kali dibalikkan.

Ketika angker dynamo berada di posisi yang ditunjukkan (gambar 18.16.a), arusnya mengarah sesuai dengan kutub A pada listrik magnet adalah utara dan kutub B selatan. Maka dari itu, tarik-menarik di magnet C menyebabkan angker dynamo memutar berlawanan arah jarum jam. Ketika angker dynamo mencapai posisi yang ditunjukkan (gambar 18.16.b), kol tidak lama membuat hubungan dengan komutator, maka listrik magnet mati sebentar dan setelah itu dapat berputar melewati kutub magnet C. Ketika angker dynamo mencapai posisi yang ditunjukkan (gambar 18.16.c), kol mengontak lagi komutator, namun dengan hubungan ke baterai kebalikannya. Kemudian kutub A pada listrik magnet adalah kutub utara yang sekarang, dan kutub B adalah kutub selatan. Maka dari itu, tarik-menarik pada magnet C terus memutar angker dynamo dengan arah berlawanan jarum jam.

Motor listrik kecil paling banyak digunakan pada jam dan aplikasi perabotan kecil rumah lainnya adalah *sybchronous alternating-current (ac) motors* (gambar 18.17). Ada kesamaan pada motor dc kecuali bahwa itu adalah arus biasa gonta-ganti, dan bukan komutator,ysng memnalikkan polaritas pada listrik magnet. Gambar 18.17 menunjukkan bahwa perbedaan antara motor selaras dan motor dc merupakan bentuk komutator. Semenjak angker dynamo pada motor selaras membuat satu perubahan cepat secara menyeluruh berdasarkan salah satu arus gonta-ganti, kecepatan motor selaras ditentukan oleh frekuensi arus semata-mata.

A. Gaya Magnet

- Gaya pada sebuah arus

Penemuan Oersted menunjukkan bahwa sebuah arus listrik menggunakan sebuah gaya yang melewati medan magnet pada sebuah magnet. Oleh karena itu, sesuai dengan hokum III Newton, sebuah magnet harus menggunakan sebuah gaya,melewati medan magnetnya pada sebuah arus. Biasanya, medan magnet luar menggunakan sebuah gaya pada sebuah arus.

Anggaplah sebagai contoh, satu bagian dari kawat yang panjangnya l dimana arusnya I . (Bagian kabel ini merupakan bagian dari rangkaian besar yang tidak ditunjukkan). Bila kabel membentuk sebuah sudut θ dengan medan magnet B seragam, besarnya gya magnetic F_m pada kawat adalah

$$F_m = BIl \sin \theta \quad 18.4$$

Ketika medannya sejajar dengan kawat, gayanya nol karena $\sin \theta^\circ = 0$.Ketika medannya tegak lurus dengan kawat, besarnya gaya adalah

$$F_m = BIl \quad 18.5$$

Karena $\sin 90^\circ = 1$. Ini hanyalah kasus yang akan kita ingat.

- Gaya pada sebuah muatan bergerak

Sebuah gaya magnetic digunakan oleh partikel bermuatan yang bergerak di medan magnet. Buktinya, gaya magnetic pada kawat arus pembawa benar-benar merupakan jumlah gaya-gaya magnetic pada muatan-muatan yang berjejal di kawat. Gaya magnetic pada partikel bermuatan tunggal dapat ditemukan dari persamaan 18.5 dengan mengingat arus rata-rata pada sebuah partikel yang muatannya q bergerak dengan kecepatan v sudut yang tepat terhadap sebuah medan magnet seragam Partikel menempuh jarak l dari titik A ke titik B dalam waktu

$$t = \frac{l}{v}$$

Maka arus rata-rata antara A dan B adalah berdasarkan waktu ini adalah

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q}{l/v} = \frac{qv}{l}$$

Namun dari persamaan 18.5 gaya magnetic pada arus ini berdasarkan waktu ini adalah

$$F_m = BIl = B \frac{qv}{l} l$$

gaya pada medan magnet yang menggunakan sebuah muatan bergerak adalah

$$F_m = Bqv \quad 18.8$$

Seperti gaya magnet pada sebuah arus gaya ini tegak lurus terhadap baik medan magnet maupun arh pergerakan partikel.

Medan magnet digunakan dalam berbagai peralatan untuk mengubah dan mengendalikan arah sorotan partikel bermuatan. Sebagai contoh, sorotan electron pada lampu pesawat TV dipindahkan sepanjang layar oleh medan magnet. Sebuah pesawat TV berbeda dalam mengenai hal ini dari lampu sinar katoda, yang menggunakan medan listrik untuk membelokkan electron. (bagian 16.5). Dengan kesamaan, electron dihamburkan oleh bahan percobaan pada mikroskop electron yang fokusnya dari medan magnet di atas layar berpijar. Penglihatan pada mikroskop electron sama dengan lampu mikroskop kecuali

lensa magnetiknya, dalam bentuk gulungan arus pembawa, yang malahan digunakan lensa kaca.

Spektrometer massa merupakan perangkat yang mengukur massa individual atom dan molekul, juga menggunakan medan magnet untuk membelokkan sorotan partikel bermuatan. Sebuah sample dari material yang dianalisis ditempatkan pada sebuah bilik C pada spectrometer (gambar 18.23), Dimana sebuah arus listrik membentuk ion-ionnya dengan mengosongkan electron keluar dari beberapa atom sample. Hal ini ion-ion muatan nyata-nyata kemudian di percepat ke plat P , yang dipertahankan pada sebuah potensial besar negative $-V = V_p - V_c$ dengan acuan C. Seandainya tiap-tiap atom tersebut hanya kehilangan satu electron, maka muatan pada sebuah adalah $q = + e$. Lalu, apabila energi kinetic K_c sebuah ion mendekati nol ketika meninggalkan bilik, Energi kinetiknya K_p ketika tiba di P adalah

$$\begin{aligned} K_p &= K_c + e(V_c - V_p) \\ &= eV \end{aligned}$$

Namun, dengan definisi, $K_p = \frac{1}{2}mv^2$, maka kita memiliki

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

Dimana m adalah adalah massa ion dan v adalah kecepatan ion ketika mencapai P adalah

$$v^2 = \frac{2eV}{m} \tag{18.9}$$

Beberapa ion mencapai P melewati sebuah celah ke dalam daerah yang ada sebuah medan magnet konstan B yang tegak lurus terhadap arah pergerakan ion. Medan ini, yang arahnya keluar dari bidang pada diagram di gambar 18.23 menggunakan gaya magnet yang besarnya

$$F_m = Bqv = Bev \tag{18.10}$$

Pada tiap ion. Semenjak gaya ini selalu tegak lurus terhadap arah gerak ion, ion bergerak dalam sebuah lintasan melingkar berjari-jari r dengan sebuah kecepatan konstan v . Sebagai akibatnya, ion memiliki sebuah percepatan sentripetal

$$a = \frac{v^2}{r} \quad 18.11$$

Dari hukum II Newton (Properti 7, bagian 4.3)

$$F = ma$$

Kita melihat bahwa persamaan 18.10 dan 18.11 dihubungkan dengan

$$Bev = m \frac{v^2}{r}$$

Selanjutnya massa ion dihubungkan dengan kecepatan dan jari-jari dengan

$$m = \frac{Ber}{v}$$

Kuadratkan kedua ruas ungkapan ini memberikan

$$m^2 = \frac{B^2 e^2 r^2}{v^2}$$

Kemudian gunakan persamaan 18.9 untuk menempatka kembali v^2 dengan , kita memperoleh

$$m^2 = \frac{B^2 e^2 r^2}{2eV/m} = \frac{B^2 r^2 em}{2V}$$

Atau
$$m = \frac{B^2 e r^2}{2V} \quad 18.12$$

Persamaan 18.12 memberikan massa m pada sebuah ion dalam pengakhiran potensial V , medan magnet B , dan jari-jari r pada orbit ion. Jar—jari dapat diperoleh dengan mengukur posisi bintik-bintik yang dibuat oleh ion ketika menumbuk sebuah plat fotografis. Kalaupun V dan B tidak diketahui, persamaan 18.12 memperkenankan massa satu ion diukur relative dengan yang lainnya.

Diketahuinya V dan B hanya dibutuhkan bila kita ingin menghubungkan satuan massa atomic ke dalam kilogram.

Massa semua atom sudah ditentukan dengan akurasi tinggi dengan spectrometer. Dalam penjumlahan, perangkat digunakan untuk mendeteksi kuantitas menitan sebuah zat pada materi sample. Spektrometer menghasilkan sebuah rentetan bintik-bintik pada

sebuah plat fotografis, tiap-tiap yang berkesesuaian terhadap sebuah atom atau molekul dari massa spesifik. Semenjak hanya sedikit atom yang dibutuhkan untuk menghasilkan bintik yang dapat dideteksi, kehadiran jumlah jejak sebuah zat yang massanya diketahui siap dideteksi.

A. Induksi Magnetik

Induksi magnetic dapat dimengerti dengan baik oleh sebuah peragaan salah satu percobaan Faraday yang pertama dengan induksi. Sebuah gulungan kawat dihubungkan dengan galvanometer sensitive. Sebagai magnet yang bergerak menjauhi gulungan, galvanometer dibelokkan, yang menandakan kehadiran sebuah arus di gulungan. Besarnya arus bergantung dengan kecepatan magnet itu bergerak, dan arus berhenti sewaktu-waktu magnet beristirahat. Itulah, magnet yang beristirahat di dekat gulungan tidak membangkitkan sebuah arus. Sebagai magnet yang bergerak menjauhi gulungan, galvanometer dibelokkan dalam arah yang berlawanan, yang menandakan bahwa arah arus dibalikkan.

Arus pada koil merupakan akibat dari medan listrik yang dihasilkan oleh medan magnet berpindah pada magnet. Sebuah arus juga dihasilkan ketika gulungan bergerak menghadap magnet, daripada magnet yang bergerak menghadap gulungan, semenjak merupakan gerak relative dengan salah satu acuan terhadap yang lainnya sebagai tanggungan untuk medan listrik. Sebuah medan listrik selalu dihasilkan oleh medan magnet berpindah, jikalau tidak ada gulungan yang hadir dimana dapat memproduksi arus.

Generator Listrik

Arus listrik dapat dibangkitkan dengan cara induksi listrik (bagian 16.2). Semua kelistrikan komersial, bagaimanapun, dibangkitkan dengan cara induksi magnet. Sebuah pembangkit induksi magnet, atau pembangkit *listrik*, identik dengan motor ac. Ketika alat ini digunakan sebagai motor, sumber arus bolak-balik luar dihubungkan ke gulungan oleh kol. Pergonta-gantian arus menyebabkan pengkutuban pada listrik magnet untuk

membalikkan dengan cara bahwa gaya-gaya digunakan pada listrikmagnet dengan magnet C menjaga angker magnet berputar pada kecepatan konstan.

Ketika alat itu digunakan sebagai pembangkit, angker magnet digunakan oleh sumber daya luar, biasanya turbin uap. Gerakan gulungan di luar maupun di dalam medan magnet pada magnet C membangkitkan sebuah arus di luar rangkaian. Setiap saat angker magnet membuat setengah perubahan, gulungan membalikkan tujuannya mengacu ke medan magnet. Pembalikkan arah arus ini, dengan begitu sebagaimana angker magnet diputar, sebuah arus bolak-balik dibangkitkan. Selanjutnya, bila angker magnet diputar pada kecepatan konstan, arus akan beragam secara liku-liku dengan waktu.

Sebagai sumber daya listrik yang terdiri dari sebuah pembangkit uap, sebuah turbin uap, dan sebuah pembangkit listrik. Uap dihasilkan dari salah satu bahan baker fosil (batubara atau minyak bumi) atau dari sebuah reactor nuklir (bagian 20.3). Uap dimaksudkan yang karenanya energi bahan baker, apakah fosil atau nuklir yang dikonversikan ke dalam energi mekanik turbin. Turbin mengendalikan angker magnet pembangkit listrik, yang mengkonversikan energi mekanik turbin ke dalam energi listrik. Demikian, kecuali untuk bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap, konvensional dan sumber daya nuklir identik dengan caranya membangkitkan kelistrikan.

H. Gelombang elektromagnetik

Konsep medan listrik dan medan magnet telah dikembangkan oleh Faraday sebagai penggambaran cara melihat gejala elektromagnetik. Konsep medan tidak biasanya digunakan oleh ahli fisika lainnya, bagaimanapun, sampai Maxwell menunjukkan bagaimana semua dasar hukum kelistrikan dan kemagnetan dapat digambarkan oleh empat persamaan yang mencakup medan listrik dan medan magnet. Diketahui sebagai *persamaan Maxwell*, itu adalah titik permulaan untuk semua pembicaraan kelistrikmagnetan modern.

Sebagai rumus asal, tiap persamaan Maxwell merupakan banyaknya gambaran satu dari empat hukum berikut:

1. Muatan listrik menghasilkan medan magnet (Hukum Coulomb, bagian 16.2).

2. Kutub-kutub magnet yang terisolasi tidak akan bertahan (bagian 18.1).
3. Arus menghasilkan medan magnet (kelistrikmagnetan, bagian 18.3).
4. Sebuah perubahan medan magnet menghasilkan sebuah medan listrik (induksi magnet, bagian 16.2).

Maxwell segera menyadari bagaimanapun, bahwa persamaan ini tidak tetap dengan asas hukum lainnya:

- 5 Muatan total pada suatu system yang terisolasi tidak dapat diubah (kekekalan muatan, bagian 16.2).

Maxwell dapat mengatasi ketidaktetapan ini hanya dengan masih beranggapan dengan hukum yang lainnya:

- 6 Sebuah perubahan medan listrik menghasilkan sebuah medan magnet.

Hukum ini, yang merupakan penyeimbang induksi magnet, memodifikasi salah satu persamaan Maxwell dengan cara bahwa itu telah tetap dengan kekekalan muatan.

Meskipun efek dari perubahan medan listrik terlalu kecil diamati secara langsung, dampaknya sangat besar. Jika perubahan medan listrik sebuah medan magnet dan sebuah perubahan medan magnet menghasilkan sebuah medan listrik, lalu dengan kemungkinan ada bahwa gangguan kekalnya pada medan listrik dan medan magnet mungkin dihasilkan. Maxwell menunjukkan bahwa gangguan elektromagnetik seperti itu akan bertingkah sebagai gelombang yang menyebar melalui ruang dengan kecepatan

$$v = \sqrt{\frac{4\pi k}{\mu_0}}$$

Dimana $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ = listrik konstan

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N.s}^2/\text{C}^2 = \text{permeabilitas magnetic}$$

Dengan harga konstanta tersebut, kecepatan

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{4\pi(9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N.s}^2/\text{C}^2}} \\ &= \sqrt{9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Yang identik dengan kecepatan cahaya

Pada sebuah gelombang elektromagnetik, merupakan medannya sendiri, lebih daripada beratnya sebuah medium, yang menyebar melalui ruang. Gambar 18.25 menunjukkan bahwa medan magnet dan medan listrik bervariasi dalam gelombang elektromagnetik. Kedua medan tegak lurus terhadap arah penyebaran, maka gelombangnya transversal

Sebagai hasil dari kerja Maxwell, segera menjadi pendirian bahwa cahaya benar-benar merupakan bentuk radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu. Kemudian abad penelitian ke dalam gejala listrik dan magnet memimpin secara tak terduga pada penemuan sifat cahaya sebenarnya. Penemuan ini merupakan satu dari keberhasilan fisika abad ke-19.

I. Hubungan Biologi Dengan Kemagnetan

Hubungan biologi dengan kemagnetan disebut biomagnetisasi. Hewan-hewan yang mempunyai kemampuan biomagnetisasi pada umumnya mampu mendeteksi sebuah ragam rangsangan fisik tak lazim, contohnya, bunyi ultrasonik, arus electron, dan pengkutuban cahaya. Hal itu kelihatannya pantas untuk diperkirakan, oleh karena itu, bahwa beberapa hewan dapat mendeteksi sebuah medan magnet. Hal ini menjadi lebih sama kemungkinan bear ketika kita mengingat bahwa medan magnet bumi telah ada sepanjang sejarah evolusinya dan memberi sebuah kepercayaan yang dimaksudkan dengan arah yang ditentukan. Hal ini akan dibahas beberapa contoh yang berhubungan dengan biomagnetisasi

- **Kasus pada burung merpati, ikan trout, lebah, dan bakteri**

Merpati diyakini menggunakan medan magnet bumi untuk mengemudikan arah jalan pulang setelah menempuh perjalanan jauh. Caranya, dengan menggunakan partikel magnet yang sangat kecil, yang berada dalam paruh untuk merasakan medan magnet bumi. Hal itupun juga berlaku bagi lebah yang juga menggunakan medan magnet yang ada pada otaknya pulang ke sarangnya melewati dahan dan dedaunan pohon yang lebat. Sedangkan pada ikan trout, reseptor medan magnet yang ada di dekat alat penciumannya

berguna untuk migrasi, keperluan mangsa-memangsa, dan menarik ikan trout jantan. Pada Bakteri, medan magnet yang terkandung pada senyawa kecil kristal oksida besi merupakan kompas alam sehingga bakteri tersebut cenderung bergerak ke utara.

- **Terapi Magnetik Pada Manusia**

Tubuh manusia juga merupakan suatu medan magnet sebagai akibat dari Proses Bio_elektrik dalam tubuh. Dalam kondisi normal, Elektron dan Ion bekerja seimbang. Bila keseimbangan terganggu, maka arus dan distribusi dalam sel akan terpengaruh dan hal ini biasanya menjadi akar dari banyak penyakit yang disebabkan oleh gangguan fungsi organ tubuh. Sebuah alat yang disebut Gelang & Perhiasan kesehatan Amega Bio-energy dapat memulihkan organ yang rusak dengan menyeimbangkan Bio Magnetik dalam tubuh. Orang yang sehat memiliki Ion Positif dan Negatif yang seimbang. Dewasa ini, orang melakukan sebagian aktifitasnya di dalam kendaraan dan gedung tinggi. Banyak penggunaan barang elektrik, kabel tegangan tinggi dan komputer, telpon genggam (hp) yang membuat kita selalu berhubungan dengan medan magnet positif, yang kurang baik bagi kesehatan kita. Selain itu, mengkonsumsi terlalu banyak daging dan makanan yang bersifat asam, akan mempengaruhi keseimbangan ion positif dan negatif, membuat kita berhubungan dengan medan magnet positif (positif dan keasaman). Hal ini mempengaruhi metabolisme kita sehingga berbagai gejala penyakit akan muncul, dan terjadilah asam urat, asam lambung dll. Sebaliknya, medan magnet negatif (negatif, alkalin lemah) akan menormalkan metabolisme dan menyeimbangkan Asam Basa dalam tubuh serta mengatur fungsi2 organ tubuh dengan baik. Dewasa ini, Magnet Positif sangat berlebihan, sedangkan Energi Magnet Negatif yang dikeluarkan oleh Gelang & perhiasan Kesehatan Amega Bio-Energy akan mengatur dan membantu meningkatkan Sirkulasi darah dan menyebabkan system syaraf bekerja dengan baik.

Selain itu, terapi magnetik pada manusia juga dipergunakan untuk mengarahkan *catheter* saat dimasukkan dalam sistem peredaran darah dan mengambil serpihan logam yang masuk dalam kecelakaan mata.

Mengenai medan magnet yang ada di organ tubuh manusia, maka akan dijelaskan sebagai berikut.

- Asbes mengandung besi sehingga pada paru-paru para pekerja pembuat asbes dimungkinkan terdapat asbes di dalamnya. Keberadaan asbes dalam tubuh dapat dideteksi dengan medan magnet.
- Pada sistem saraf dan otot terdapat aliran arus listrik, dan ini tentu saja akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet tubuh dapat digunakan untuk mengukur kondisi kesehatan manusia.
- Medan magnet terbesar dihasilkan oleh jantung. Walaupun harganya sangat kecil, dengan peralatan yang canggih medan magnet dalam jantung dapat diukur. Medan magnet yang direkam disebut *magnetocardiogram* (MCG).
- Medan magnet dalam otak juga dapat diukur namun harganya lebih kecil dibandingkan medan magnet jantung (kurang lebih sebesar sepersejuta harga magnet bumi). Rekaman medan magnet otak disebut *magnetoencephalogram* (MEG).

J. Kesimpulan

Bahwa kemagnetan dan sifat-sifatnya merupakan hal terpenting dari suatu teknologi manusia. Bukan hanya pada teknologi manusia, kemagnetan juga terdapat pada system biologis hewan yang berhubungan dengan magnet bumi dan tentunya bagi kepentingan manusia yang berhubungan dengan praktik kedokteran.

