

SUMBER BELAJAR PENUNJANG PLPG 2016

MATA PELAJARAN/PAKET KEAHLIAN

FISIKA

BAB XII

LISTRIK MAGNET



Prof. Dr. Susilo, M.S

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN DIREKTORAT

JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN

2016

BAB XII

LISTRIK MAGNET

1.12 Materi Pokok: Listrik Magnet

a. Kompetensi Inti.

Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.

b. Kompetensi Dasar (KD)/Kelompok Kompetensi Dasar (KKD).

Menganalisa gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik serta penerapannya pada berbagai kasus.

c. Uraian Materi Pembelajaran (dilengkapi dengan contoh *problem solving*).

Menyimpulkan besaran fisis (gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik) dari kasus fisis terkait gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik

1.12. LISTRIK MAGNET

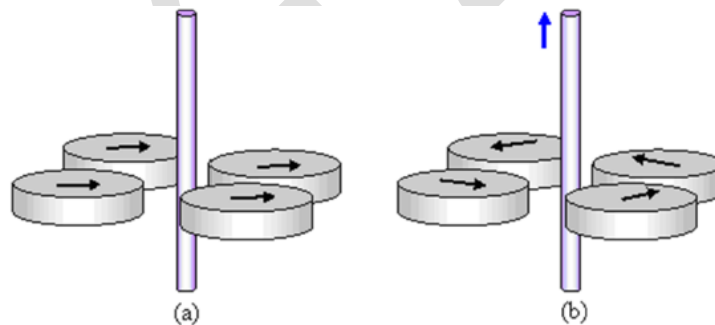
Medan Magnetik dan Kemagnetan

Medan merupakan metode yang digunakan fisikawan untuk menjelaskan cara benda-benda yang ada saling berinteraksi dan memengaruhi. Misalnya, seperti yang telah kita pelajari pada beberapa bagian yang lalu, yakni medan listrik. Sebuah benda bermuatan mempengaruhi ruangan di sekitarnya dengan medan listrik, sehingga bila ada muatan lain berada di sekitar benda bermuatan itu, maka keduanya akan berinteraksi (saling menarik atau saling menolak). Dapat pula dipahami bahwa benda bermuatan merupakan sumber adanya medan listrik di ruangan sehingga apabila ada benda lain yang juga bermuatan di ruangan itu, maka benda bermuatan terakhir ini akan merasakan gaya listrik. Jadi, muatan listrik adalah sumber medan listrik dan sekaligus penyebab sebuah benda dipengaruhi oleh medan listrik. Sebuah benda bermassa menebar medan gravitasi di sekitarnya, sehingga bila ada benda bermassa lain berada dalam ruangan itu, maka benda kedua ini

akan mengalami gaya tarik ke arah benda pertama. Massa adalah sumber adanya medan gravitasi sekaligus penyebab terjadinya tarikan gravitasi oleh medan gravitasi. Mirip dengan interaksi listrik dan gravitasi adalah interaksi magnetik yang ditebar oleh arus listrik. Aliran muatan atau **arus** merupakan sumber medan magnetik. Benda berarus menebar medan magnetik di sekitarnya. Bila di dalam medan magnetik itu ada benda lain yang juga mengandung arus listrik, maka benda kedua ini akan menderita gaya magnet. **Kuat arus** yang melalui suatu titik didefinisikan sebagai jumlah muatan yang melalui titik itu tiap satu satuan waktu.

Medan magnet di sekitar arus listrik

Baru saja disebutkan bahwa medan magnetik disebabkan oleh arus listrik yang mengalir dalam sebuah penghantar. Aliran arus ini akan mengakibatkan timbulnya medan magnetik di sekitar penghantar tersebut, sama seperti ketika kita mendefinisikan wilayah di dekat sebuah tongkat bermuatan sebagai medan listrik. Fakta ini pertama kali diamati oleh Oersted (1774-1851). Anda dapat memahami apa yang pernah dinyatakan oleh Oersted dengan percobaan sederhana berikut.



Gambar 1. Pengaruh arus listrik pada jarum kompas : (a) jarum kompas di sekitar kawat tanpa arus, (b) jarum-jarum kompas di sekitar kawat berarus

Pada Gambar 1. di atas terlihat bahwa jarum kompas tidak mengalami penyimpangan ketika kawat penghantar belum dialiri arus listrik. Seluruh jarum kompas menunjuk ke arah yang sama yaitu ke arah utara.. Setelah kawat dialiri arus listrik, terlihat bahwa jarum kompas mengalami penyimpangan. Inilah bukti sederhana bahwa ternyata arus listrik dapat menimbulkan medan gaya (magnet) di ruang sekitarnya. Jika memang ada

medan magnetik di sekitar penghantar berarus, maka seberapa besar kuat medan magnet itu dan ke mana arahnya?

Sebagaimana dalam teori kelistrikan, besar kecilnya medan magnet digambarkan dengan garis-garis gaya. Garis-garis gaya ini sebenarnya hanya merupakan garis-garis khayal namun sangat bermanfaat sebagai jembatan kita dalam memahami medan magnet. Dengan mengandaikan bahwa medan magnet terdiri dari garis-garis gaya magnet, maka semakin kuat medan magnet tentu semakin banyak garis-garis gaya di wilayah tersebut. Banyaknya garis-garis gaya ini disebut dengan **fluks magnet** yang mempunyai satuan Weber (Wb) dan dilambangkan dengan B . Jumlah garis-garis gaya yang menembus tegak lurus bidang seluas 1 m^2 disebut **rapat fluks magnet** (B). Dengan demikian rapat fluks magnet ini dapat kita tulis sebagai

$$B = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1)$$

Satuan untuk rapat fluks magnet berdasarkan persamaan (1) di atas adalah Wb/m². Nilai satuan ini setara dengan satuan tesla (T).

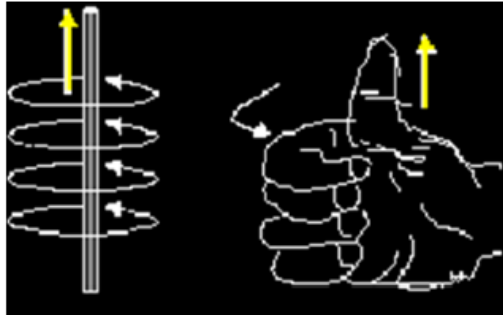
Di dalam sebuah bidang ada banyak sekali titik-titik dan setiap titik tersebut mempunyai rapat fluks yang belum tentu sama. Rapat fluks magnet di suatu titik disebut sebagai **induksi magnetik**. Induksi magnetik di suatu titik di udara sama dengan kuat medan magnet di titik itu, atau

$$B = H, \quad (2)$$

dengan H adalah kuat medan magnet. Sedangkan bila induksi magnetik terjadi tidak di udara melainkan di dalam suatu zat, maka

$$B = \mu H \quad (3)$$

dengan μ merupakan lambang untuk permeabilitas zat. Lalu bagaimana dengan arah dari garis gaya magnet? Kita dapat menggambarkan arah garis gaya dengan menggunakan kaidah penarik gabus dan kaidah tangan kanan. **Kaidah penarik gabus** : Dalam kaidah ini, apabila arah gerak penarik gabus menggambarkan arah arus listrik, maka arah putaran penarik gabus menunjukkan arah garis gaya atau arah induksinya. **Kaidah tangan kanan** : Arah ibu jari menggambarkan arah arus listrik dan arah lipatan keempat jari menunjukkan arah garis gaya magnet atau arah induksinya.



Gambar 2. Menentukan arah garis-garis gaya

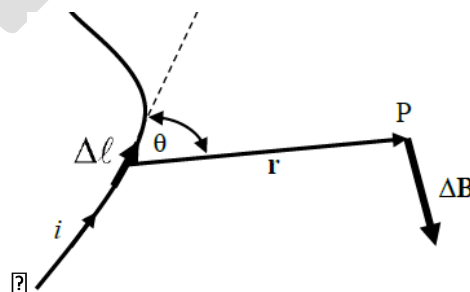
Besar kuat medan magnet sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus listrik yang menimbulkan, jarak terhadap kawat dan bentuk kawatnya.

1.2 Hukum Biot-Savart

Secara teoritis Laplace menyatakan bahwa besar kuat medan magnet atau induksi magnetik di sekitar arus listrik adalah:

- (a) berbanding lurus dengan kuat arus listrik (i),
- (b) berbanding lurus dengan panjang kawat (Δl),
- (c) berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik yang diamati ke kawat (r), dan
- (d) arah induksi magnetiknya tegak lurus terhadap bidang yang melalui elemen arus.

Pada tahun 1820 Biot-Savart mengemukakan perhitungan lebih lanjut berkaitan dengan induksi magnetik oleh unsur (elemen) arus. Dia menyatakan bahwa induksi magnetik $\Delta \mathbf{B}$ yang dihasilkan oleh sebuah elemen kecil kawat penghantar $\Delta \mathbf{l}$ yang membawa arus listrik i diberikan oleh



Gambar 3. Arah induksi magnetik $\Delta \mathbf{B}$ yang dihasilkan oleh sebuah elemen kecil kawat penghantar Δl

$$\Delta B = \frac{\mu i \Delta l}{4\pi r^2} \sin \theta \quad (4)$$

dengan Δl adalah besarnya vektor $\Delta \mathbf{l}$. Arah $\Delta \mathbf{B}$ ditunjukkan oleh Gambar 3. Di sini θ adalah sudut antara vektor unsur arus $\Delta \mathbf{l}$ dan vektor posisi \mathbf{r} . Perhatikan arah arus dan arah vektor unsur arus $\Delta \mathbf{l}$. Lambang μ merupakan tetapan yang disebut permeabilitas medium/zat. Dalam hampa udara, permeabilitas ini dilambangkan dengan μ_0 dan bernilai

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am} \quad (5)$$

Arah $\Delta \mathbf{B}$ ditentukan oleh kaidah tangan kanan dengan memutar vektor $\Delta \mathbf{l}$ menuju \mathbf{r} dan ibu jari menunjuk $\Delta \mathbf{B}$. Biot-Savart menyatakan bahwa arus yang dibawa elemen kawat $\Delta \mathbf{l}$ menghasilkan sejumlah kecil induksi magnetik $\Delta \mathbf{B}$ di titik P. Tetapi kawat penghantar keseluruhan dapat dipotong-potong menjadi banyak $\Delta \mathbf{l}$ dan masing-masing memberikan sumbangan terhadap induksi magnetik total di P. Karena itu, induksi magnetik total di titik P merupakan jumlahan seluruh vektor $\Delta \mathbf{B}$ dari masing-masing elemen arus, sehingga

$$\mathbf{B} = \sum \Delta \mathbf{B}. \quad (6)$$

Ungkapan di atas juga dikenal sebagai **hukum Biot-Savart**. Jika Δl dibuat sangat kecil sehingga menuju nol, maka $\Delta l \rightarrow d\mathbf{l}$ dan

$$\mathbf{B} = \int d\mathbf{B}.$$

Perhitungan integral ini umumnya sangat sulit untuk dilakukan kecuali pada beberapa kasus khusus. Tetapi kita akan terbantu oleh adanya teorema yang mirip dengan hukum Gauss pada kelistrikan.

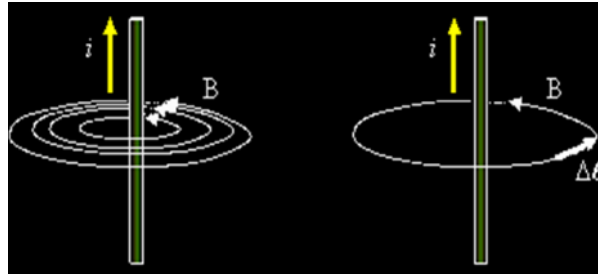
Untuk perhitungan induksi magnetik, selain menggunakan hukum Biot-Savart, kita juga bisa menggunakan teknik yang lain yakni **Hukum sirkuit Ampere**. Hukum ini menyatakan bahwa sepanjang sembarang lintasan melingkar di sekitar arus i , jumlahan hasil perkalian antara komponen medan magnetik yang sejajar lintasan dengan elemen lintasan sepanjang Δl dari lintasan melingkar tersebut adalah sama, yakni permeabilitas μ_0 dikalikan dengan arus i .

Secara sederhana, dapat dituliskan sebagai

$$\sum \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{l} = \sum B \Delta l \cos \theta = \sum B_{\parallel} \Delta l = \mu_0 i \quad (7)$$

Catatan: Hukum Ampere ini merupakan hukum fundamental yang didasarkan pada hasil

eksperimen dan tidak dapat diturunkan.



Gambar 4. Hubungan i dan B

1.3 Induksi magnetik di sekitar kawat lurus panjang

Berdasarkan hukum di atas, untuk menghitung medan magnetik di sekitar kawat lurus sangat panjang yang mengandung arus seragam, dapat diperhatikan Gambar 4. Komponen medan magnetik yang sejajar dengan lintasan mempunyai nilai sebesar $B_{\parallel} = B \cos \theta$, dengan θ adalah sudut antara vektor \mathbf{B} dan vektor $\Delta \ell$. Karena medan magnetik yang timbul di sekitar kawat lurus berarus adalah melingkar, maka vektor \mathbf{B} dan vektor $\Delta \ell$ sejajar pada setiap titik sepanjang lintasan lingkaran sehingga sudut θ sama dengan nol. Perhitungan-perhitungan ini mengakibatkan hukum sirkuit Ampere menjadi

$$\begin{aligned} \sum B_{\parallel} \Delta l &= \sum B \Delta l \cos \theta = \mu_0 i \\ \sum B \Delta l \cos 0 &= \sum B \Delta l = \mu_0 i \\ B \sum \Delta l &= \mu_0 i \end{aligned} \quad (8)$$

Bentuk medan magnetik yang berupa lingkaran mengingatkan kita bahwa penjumlahan seluruh Δl (yakni $\sum \Delta l$) sebenarnya merupakan keliling lingkaran tersebut, sehingga $\sum \Delta l = 2\pi r$. Oleh karena itu, persamaan (4.8) dapat kita tulis ulang menjadi

$$B(2\pi r) = \mu_0 i$$

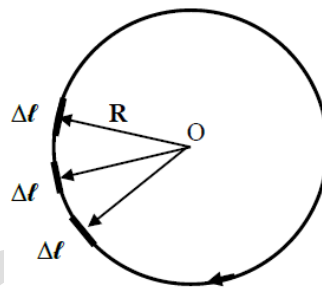
atau

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (9)$$

Persamaan terakhir merupakan persamaan yang mengungkapkan berapa besar induksi magnetik di sekitar kawat lurus yang panjang. Terlihat bahwa induksi magnetik di sekitar kawat panjang berarus berbanding terbalik dengan jarak titik pengamatan dari kawat.

1.4 Induksi magnetik oleh kawat melingkar

Andaikan sebuah kawat berbentuk lingkaran dengan jari-jari R dialiri dengan arus listrik seragam. Untuk menentukan medan magnetik di pusat kawat itu, kita tetap akan menggunakan hukum Biot-Savart. Agar lebih jelas perhatikan Gambar 5. Masing-masing elemen kecil sepanjang Δl dari kawat menghasilkan sebuah elemen medan magnetik $\Delta \mathbf{B}$ pada pusat kawat penghantar (titik O). Sesuai hukum Biot-Savart, vektor $\Delta \mathbf{B}$ di pusat lingkaran selalu berarah masuk (searah dari mata ke buku). Dengan demikian medan magnetik total \mathbf{B} , yang merupakan jumlahan seluruh $\Delta \mathbf{B}$ juga berarah masuk. Jadi, medan magnetik pada pusat lingkaran tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh kawat melingkar dan berarah masuk. Tetapi berapa besarnya?



Gambar 5. Menentukan medan magnetik di pusat kawat

Sudut θ , yakni sudut yang dibentuk oleh vektor posisi unsur arus dan vektor $\Delta \mathbf{l}$, merupakan sudut siku-siku atau 90° . Sehingga besar vektor $\Delta \mathbf{B}$ sebagaimana diungkap oleh persamaan (4) diberikan oleh

$$\Delta B = \frac{\mu_0 i \Delta l}{4\pi R^2} \quad (10)$$

Dari persamaan di atas kita dapat menghitung besar vektor \mathbf{B} yaitu

$$B = \sum \Delta B = \sum \frac{\mu_0 i \Delta l}{4\pi R^2}$$

Karena kawat berbentuk lingkaran dengan jejari R dan faktor $\mu_0 i / 4\pi R^2$ juga merupakan tetapan, maka persamaan di atas dapat kita sederhanakan lagi menjadi

$$B = \sum \Delta B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} \sum \Delta l.$$

Bentuk kawat yang melingkar menngisyaratkan bahwa penjumlahan elemen-elemen Δl di

seluruh lintasan lingkaran sebenarnya merupakan keliling lingkaran itu sendiri, sehingga persamaan terakhir menjadi

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} (2\pi R)$$

Tentu saja, kita masih bisa menyederhanakan persamaan tersebut seperti berikut

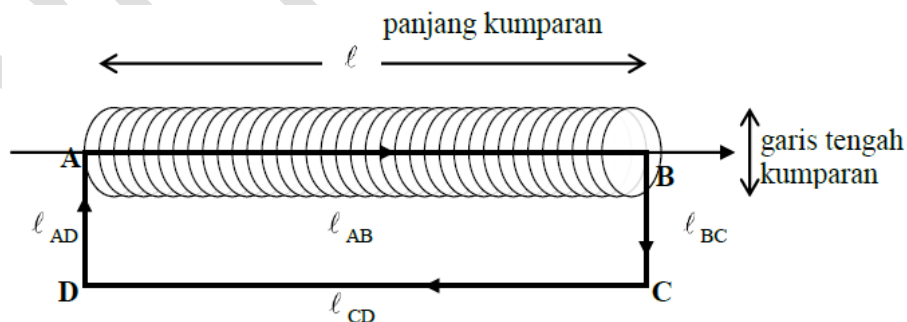
$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \quad (11)$$

Persamaan (11) menyajikan besar medan magnet di pusat kawat berarus yang melingkar. Kita melihat bahwa medan magnet di pusat kawat berbanding lurus dengan kuat arus itu sendiri (yakni i). Artinya semakin besar arus, maka semakin besar medan magnetiknya. Jika kawat-kawat melingkar itu terdiri dari N lingkaran kawat, medan magnetik di pusat akan menjadi

$$B = \frac{\mu_0 Ni}{2R} \quad (12)$$

1.6 Induksi magnetik oleh kumparan panjang (solenoida)

Solenoida merupakan kumparan kawat yang terlilit pada sebuah bangun berbentuk silinder. Bangun silinder ini bisa benar-benar sebuah benda yang berbentuk silinder atau hanya ruang kosong saja. Ciri sebuah solenoida adalah panjang kumparan selalu melebihi garis tengah kumparan (atau tinggi silinder selalu lebih besar dari garis tengah alas silinder).



Gambar 9. Medan magnet pada sebuah solenoida

Medan magnet yang tercipta dalam solenoida bersifat seragam dan terasa kuat di dalam solenoida namun akan melemah di luarnya. Jika dibandingkan dengan medan magnet di dalam kumparan, nilai medan magnet di luar kumparan dapat dikatakan sama dengan

nol. Medan magnet di dalam solenoida berarah sejajar dengan sumbu kumparan (searah garis AB).

Nilai medan magnet \mathbf{B} di dalam solenoida dapat kita hitung dengan menggunakan hukum sirkuit Ampere dalam persamaan (13) dengan menambahkan nilai $B \Delta l \cos\theta$ sepanjang persegi panjang ABCD dalam Gambar 9. Hasil dari penghitungan ini menunjukkan bahwa

$$\sum B \Delta l \cos\theta = \mu_0 i$$

atau

$$B \ell_{AB} \cos\theta_1 + B \ell_{BC} \cos\theta_2 + B \ell_{CD} \cos\theta_3 + B \ell_{DA} \cos\theta_4 = \mu_0 i_{total} \quad (13)$$

Namun karena nilai medan magnet di luar solenoida mendekati nol, maka suku yang terkait dengan medan magnet di sisi CD bernilai nol. Selain itu, karena sisi BC dan DA tegak lurus terhadap arah medan magnet \mathbf{B} atau bersudut 90° , maka nilai medan magnet pada sisi tersebut juga nol sebab $\cos 90^\circ = 0$. Satu-satunya suku dalam persamaan di atas yang tidak lenyap adalah suku medan magnet pada sisi AB sebab membentuk sudut 0° atau berarah sejajar dengan medan magnet ($\cos 0^\circ = 1$). Dengan demikian, persamaan (13) hanya menyisakan

$$B \ell_{AB} = \mu_0 i_{total} \quad (14)$$

Lambang i_{total} dalam persamaan di atas merupakan jumlah seluruh arus yang mengalir dalam lintasan ABCD. Setiap lilitan kawat yang membentuk solenoida mengalirkan arus i , dan karena ada sebanyak N lilitan kawat dalam solenoida maka arus total yang mengalir dalam lintasan adalah

$$i_{total} = N i \quad (15)$$

Demi kenyamanan kita dalam perhitungan, maka kita akan mengganti N dengan jumlah lambang n yang mewakili jumlah lilitan per satuan panjang. Karena kumparan mempunyai panjang $AB \Delta l$, maka jumlah total lilitan N dapat dinyatakan sebagai

$$N = n \ell_{AB} \quad (16)$$

Sampai di sini kita bisa menggabungkan persamaan-persamaan (14), (15) dan (16) menjadi satu yang akan menghasilkan

$$B\ell_{AB} = \mu_0 i_{total} = \mu_0 Ni = \mu_0 n\ell_{AB} i$$

Dengan mudah sekali kita bisa menyederhanakan bahwa besar induksi magnetik di dalam solenoida menjadi

$$B = \mu_0 ni. \quad (17)$$

Perhatikan, persamaan di atas mengisyaratkan bahwa kita bisa meningkatkan induksi magnetik di dalam solenoida dengan meningkatkan arus i yang mengalir dalam kawat penghantar dan atau dengan meningkatkan jumlah lilitan kawat penghantar per satuan panjang. Arah induksi magnetik ditentukan dengan kaidah tangan kanan.

2. Gaya Lorentz

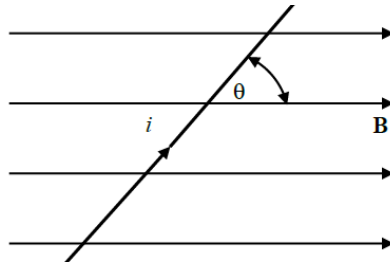
Pada bagian ini kita akan membahas perilaku muatan listrik yang bergerak di dalam medan magnetik. Sebagaimana benda-benda bermassa yang jika berada dalam medan gravitasi akan mengalami gaya gravitasi, muatan listrik yang bergerak dalam induksi magnetik juga akan mengalami suatu gaya yang disebut **gaya Lorentz**. Gaya Lorentz timbul sebagai akibat adanya interaksi muatan listrik tersebut dengan induksi magnetik yang ada di sekitarnya. Besar gaya Lorentz yang dialami oleh kawat berarus didefinisikan oleh persamaan

$$F = Bil \sin \theta \quad (18)$$

dengan F merupakan gaya Lorentz, i arus listrik, l panjang kawat dan θ adalah sudut yang dibentuk oleh kawat dengan arah medan magnet B . Sedangkan besar gaya Lorentz yang dialami oleh muatan listrik yang bergerak relatif terhadap medan magnetik adalah

$$F = qvB \sin \theta \quad (19)$$

dengan v kecepatan gerak muatan. Arah gaya Lorentz yang ditimbulkan dapat ditentukan dengan menggunakan kaidah tangan kanan. Caranya yaitu telapak tangan dibuka, jari-jari dirapatkan dan ibu jari dibuka. Tegak lurus keluar telapak tangan menunjukkan arah gaya Lorentz, arah menunjuknya empat jari-jari menunjukkan arah induksi magnetik dan ibu jari menunjukkan arah arus listrik.



Gambar 10. Arah gaya Lorentz

Akibat adanya gaya Lorentz, apabila arah gerak muatan listrik tegak lurus terhadap arah medan magnetik homogen, maka muatan listrik tersebut akan dibelokkan sehingga lintasannya akan membentuk lingkaran. Lintasan yang berupa lingkaran ini menandakan bahwa benda bermuatan listrik itu mengalami percepatan sentripetal sebesar

$$\frac{mv^2}{R}$$

dengan R jari-jari lingkaran dan m massa muatan.

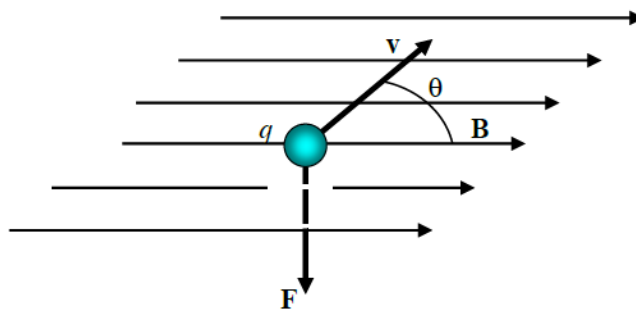
Berdasarkan hukum Newton, resultan gaya yang bekerja pada benda itu memenuhi

$$F = \frac{mv^2}{R} \quad (20)$$

Karena gaya yang bekerja pada benda bermuatan itu diasumsikan hanya gaya Lorentz, maka gaya sentripetal ini tidak lain adalah juga gaya Lorentz yang dialami oleh muatan listrik tersebut.

Jadi, gaya F pada persamaan (20) sama dengan F pada persamaan (19). Dari kedua persamaan itu diperoleh

$$R = \frac{mv}{qB} \quad (4.21)$$

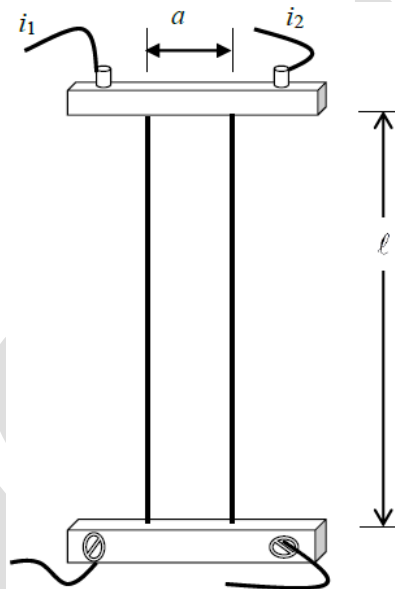


Gambar 11. Arah gerak muatan listrik dalam medan magnetik

2.1 Gaya Lorentz oleh dua kawat sejajar berarus listrik

Dua kawat sejajar berarus listrik yang diletakkan saling berdekatan akan saling berinteraksi. Bila arah arus listrik kedua kawat tersebut searah, maka kawat akan melengkung saling mendekati artinya kedua kawat itu saling tarik menarik. Sedangkan bila arah arus listrik kedua kawat itu saling berlawanan, maka kedua kawat akan melengkung menjauh atau saling tolak menolak.

Gejala yang ditunjukkan oleh perilaku kedua kawat tersebut memperlihatkan adanya gaya Lorentz yang bekerja di antara kedua kawat.



Gambar 12. Dua kawat berarus i_1 dan i_2 yang berjarak a

Kita akan menghitung besar gaya Lorentz ini dengan bantuan Gambar 12. Kedua kawat dipisahkan dengan jarak a , dan masing-masing dialiri arus sebesar i_1 dan i_2 . Seandainya arah arus i_1 ke atas, maka kawat i_1 akan menebarkan medan magnetik di lingkungan sekitarnya. Kawat i_2 yang berjarak a dari kawat i_1 menerima medan magnetik tersebut dan arah dari medan tersebut masuk ke dalam kertas (gunakan kaidah tangan kanan). Besar medan magnetik di tempat kawat kedua berada ialah

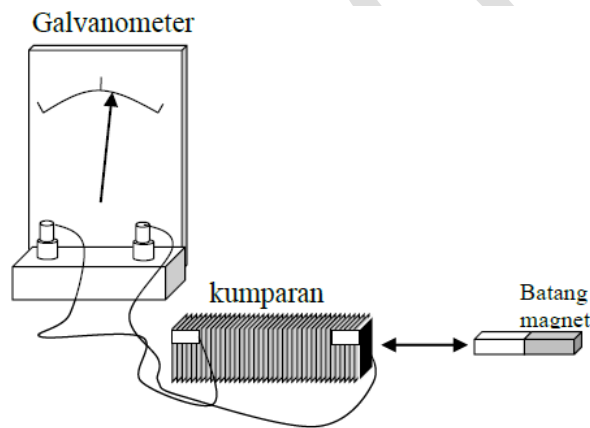
$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi a}.$$

Dengan cara pandang ini, kawat yang lain yakni kawat yang mengangkut arus i_2 merupakan kawat yang dicelupkan di dalam medan magnetik luar B_1 . Panjang l dari kawat ini akan mengalami gaya magnet yang berarah ke samping sebesar

$$F = B_1 i_2 \ell = \frac{\mu_0 i_1 i_2 \ell}{2\pi a} \quad (22)$$

3. Imbasan Elektromagnetik

Dalam pembahasan sebelumnya kita telah mengetahui bahwa arus listrik yang mengalir dalam sebuah kawat akan menebarkan medan magnetik di sekitar kawat tersebut. Michael Faraday dan Yoseph Henry membuktikan bahwa proses yang sebaliknya juga bisa terjadi. Artinya arus listrik dapat dihadirkan dengan medan magnet. Gejala yang menjelaskan hal ini dikenal dengan nama imbasan elektromagnetik atau induksi elektromagnetik.



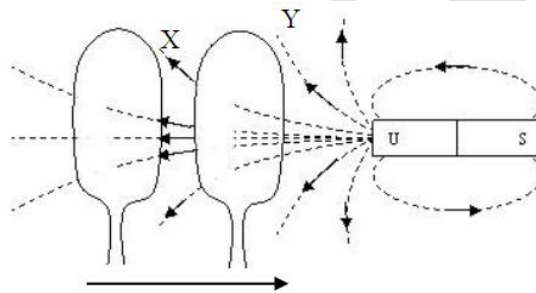
Gambar 13 Gejala imbasan elektromagnetik

Anda dapat mengulang kembali bagaimana Faraday dan Henry menemukan gejala imbasan elektromagnetik ini dengan menyusun alat-alat seperti terlihat dalam Gambar 13. Dengan menggerakkan magnet batang maju mundur kita akan mendapati sesuatu yang menakjubkan. Ketika magnet sedang bergerak, galvanometer menunjukkan penyimpangan. Tentu saja ini bisa kita maknai bahwa ada arus yang tadi dialirkan oleh kumparan. Setelah digerakkan dan kemudian magnet kita diamkan saja, maka penyimpangan galvanometer tidak akan terjadi lagi. Begitu kita menggerakkan lagi magnet batang, seketika itu pula jarum galvanometer menyimpang.

Anda boleh menduga bahwa peristiwa tersebut mungkin dipengaruhi oleh salah satu kutub magnet batang, katakan saja kutub U. untuk membuktikan anggapan ini anda bisa membalik arah magnet batang. Apa yang terjadi? Ternyata penyimpangan galvanometer tetap terjadi selama magnet batang terus digerak-gerakkan. Nyatalah di sini apa yang penting dalam peristiwa ini. Pembalikan kutub-kutub magnet batang menunjukkan bahwa yang harus kita perhatikan ialah gerakan relatif antara kumparan dan magnet. Tidak ada beda apakah kita menjauhkan magnet atau mendekatkan magnet. Arus listrik yang dihadirkan melalui peristiwa seperti ini disebut sebagai arus imbas (arus induksi).

3.1 Fluks Magnetik

Model konseptual yang menjelaskan peristiwa induksi elektromagnetik di atas disajikan oleh Faraday. Dalam model itu, Faraday menyarankan sebuah model dengan bantuan garis-garis gaya medan magnetik. Di sini kita akan menggambarkan konsep tersebut dengan cara yang lebih sederhana.



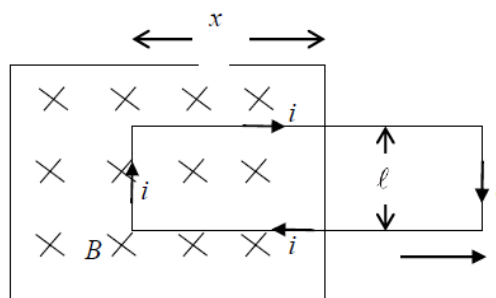
Gambar 14. Model konseptual yang menjelaskan peristiwa induksi elektromagnetik

Dalam Gambar 14, jika kumparan bergerak dari arah X ke Y, jumlah garis-garis meningkat dari 3 menjadi 5. Ini dapat dimaknai bahwa semakin dekat kumparan dengan batang magnet maka garis-garis gaya medan magnet yang diterima juga akan semakin banyak. Hal ini juga berlaku sebaliknya. Dengan demikian, dalam arah tegak lurus suatu luasan daerah tertentu akan dilingkupi oleh garis-garis gaya medan magnet. Dalam ungkapan matematis, banyaknya garis-garis gaya magnet yang dilingkupi oleh luas daerah tertentu dalam arah tegak lurus ini disebut sebagai fluks magnet, lambangnya adalah Φ ,

$$\Phi = BA, \quad (23)$$

dengan satuan fluks magnet Weber dan B merupakan kerapatan garis gaya magnet atau induksi magnetik serta A luas daerah (dalam m^2) yang melingkupi B .

Dalam persamaan (23) di atas telah jelas dinyatakan bahwa besar fluks magnet sebanding dengan luas wilayah yang ditembus oleh garis-garis gaya magnet. Lebih lanjut, Faraday juga mengemukakan jalinan hubungan antara fluks magnet dengan waktu. Pernyataan Faraday ini dikenal sebagai **hukum induksi Faraday**. Anda dapat mempelajari Gambar 15 untuk memperjelas gambaran mengenai hukum ini.



Gambar 15. Medan magnetik B yang berarah masuk ke dalam kertas

Gambar 15 menunjukkan adanya medan magnetik B yang berarah masuk ke dalam kertas, arus i dalam kawat penghantar sepanjang l dan jarak kawat sejauh x dari tepi. Kawat penghantar digerakkan ke kanan sesuai arah panah. Kawat yang bergerak dalam medan magnetik ini akan mengalami gaya Lorentz sebesar

$$F = Bil \quad (24)$$

Kemudian, usaha untuk memindahkan kawat tersebut adalah sebesar

$$W = Fx \quad (25)$$

Sesuai dengan hukum kelestarian energi, maka usaha $-Fx$ akan berubah menjadi energi listrik senilai

$$W = \varepsilon i t \quad (26)$$

Ketiga persamaan di atas dapat digabungkan menjadi satu persamaan yang jauh lebih sederhana. Hasil akhir perhitungan menunjukkan bahwa besar ggl induksi pada suatu kawat penghantar yang panjangnya l dan bergerak di dalam medan magnet dengan kecepatan v dapat ditentukan melalui persamaan

$$\varepsilon = -Blv \quad (27)$$

dengan ε ggl induksi, B induksi magnet, l panjang kawat dan v kecepatan gerak kawat. Persamaan (23) juga dapat kita ubah menjadi bentuk yang lain. Dengan mengingat bahwa luasan daerah yang melingkupi medan magnet B dilambangkan dengan A , maka kawat dengan panjang l dan jarak ke tepi dalam Gambar 15 adalah sejauh x akan mempunyai luasan $A = lx$. Oleh karenanya, persamaan (27) dapat ditulis ulang menjadi

$$\varepsilon = -\frac{Blx}{t} = -\frac{\Phi}{t} \quad (4.28)$$

Ini adalah persamaan yang juga dinamai hukum induksi Faraday di atas. Dalam ungkapan sederhana, kita dapat menyatakan hukum induksi Faraday sebagai: **“tegangan gerak elektrik imbas (ggl induksi) dalam sebuah rangkaian sama dengan kecepatan perubahan fluks yang melalui rangkaian tersebut.”**

Ggl induksi sesaat dapat dirumuskan berdasarkan persamaan (28), yaitu

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (29)$$

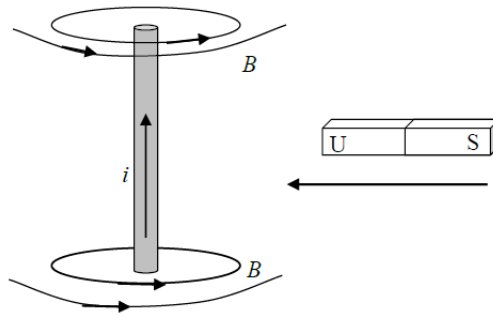
Jika kumparan terdiri dari N lilitan maka ggl induksi akan muncul di setiap lilitan dan seluruh ggl induksi ini harus dijumlahkan. Seandainya kumparan ini dililit dengan begitu eratnyanya sedemikian rupa sehingga setiap lilitan dapat dikatakan menempati daerah yang sama dari ruang, maka fluks yang melalui setiap lilitan akan sama besarnya. Ggl induksi ini diberikan oleh persamaan

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} \quad (4.30)$$

3.2 Hukum Lenz

Hukum induksi Faraday menyatakan tentang besar ggl induksi. Lalu bagaimana dengan arah ggl induksi tersebut? Jawaban pertanyaan ini dijawab oleh Lenz pada tahun 1834. Ungkapan Lenz yang menyatakan tentang arah ggl induksi ini kemudian dikenal sebagai **hukum Lenz**.

Bunyi dari hukum ini adalah: **“arus induksi mempunyai arah yang melawan perubahan garis gaya yang menimbulkannya”**. Tanda negatif dalam hukum induksi Faraday menunjukkan penentangan arah ini.



Gambar 16. Arah ggl induksi

Gambar 4.16 menjelaskan kepada kita tentang hukum Lenz ini. Gambar menunjukkan kutub utara sepotong magnet didekatkan ke arah kawat penghantar. Ketika kita mendorong magnet menuju kawat tersebut (atau menggerakkan kawat menuju magnet) maka arus induksi akan terbentuk dalam kawat tersebut. Pada gilirannya kawat yang berarus ini akan menebarkan medan magnetik di sekitarnya yang arahnya melawan gerakan magnet batang magnet.

3.3 Induktor dan Induktansi

Kalau kapasitor yang telah kita bicarakan pada bagian awal bab ini dapat digunakan untuk menghasilkan medan listrik, maka induktor yang akan dibahas pada bagian ini adalah peranti yang dirancang dapat menimbulkan medan magnet sesuai kehendak kita. Solenoida panjang merupakan contoh induktor paling dikenal. Bila suatu induktor menghasilkan medan magnet sedemikian rupa sehingga fluks magnetik yang dicakup oleh setiap lilitannya sebesar Φ , maka **induktansi** (L) induktor itu adalah

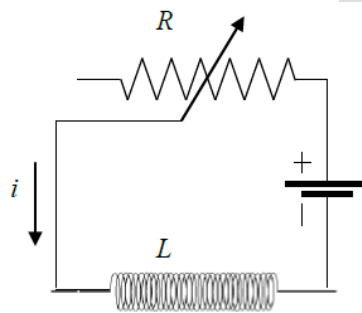
$$L = \frac{N\Phi}{i} \quad (31)$$

dengan N jumlah lilitan dan i arus yang dialirkan melalui induktor itu. Jadi, induktansi adalah ukuran seberapa besar fluks magnetik yang dicakup oleh induktor tiap satu satuan kuat arus yang dialirkan melalui induktor itu. Satuan untuk induktansi adalah henry atau H, dengan

$$1 \text{ henry} = 1 \text{ H} = 1 \text{ Tm}^2/\text{A}.$$

3.4 Imbasan Diri

Sekarang perhatikanlah rangkaian yang diperlihatkan oleh Gambar 17. Pada gambar itu tampak sebuah induktor dengan induktansi L dihubungkan dengan baterai dan resistor geser yang nilai tahanannya dapat diubah-ubah. Bila resistor pada rangkaian tersebut digeser-geser, maka arus yang mengalir pada rangkaian itupun berubah-ubah. Perubahan arus ini mengakibatkan perubahan medan listrik yang dihasilkan induktor itu. Akibatnya, fluks magnetik yang dicakup oleh induktor itu dan dihasilkannya sendiri juga berubah-ubah. Karena ada perubahan fluks magnetik yang dicakup oleh induktor, maka akan terdapat ggl induksi pada rangkaian itu. Peristiwa ini disebut **imbasan diri**. Ggl induksi ini disebut **ggl terimbas sendiri** dan diberi lambang \mathcal{E}_L .

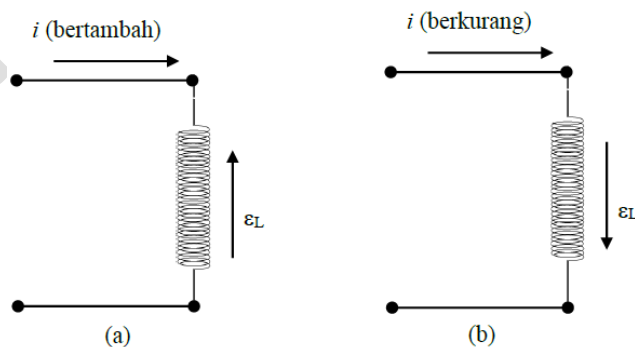


Gambar 17. Ggl induksi

Berdasarkan hukum Faraday dan persamaan (3.79), ggl terimbas sendiri bernilai

$$\mathcal{E}_L = -\frac{d(N\Phi)}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt}. \quad (32)$$

Jadi, pada rangkaian-rangkaian yang melibatkan induktor (solenoida, toroida, kawat melingkar, dll.) akan muncul ggl imbasan diri manakala arus yang mengalir melalui rangkaian itu berubah-ubah.



Gambar 18. Arah ggl terimbas sendiri ini ditentukan dengan hukum Lenz

Arah ggl terimbas sendiri ini ditentukan dengan hukum Lenz. Perhatikan Gambar 18 (a). Bila arah arus i seperti pada gambar, maka medan magnet yang dihasilkan oleh arus i itu berarah ke bawah. Jadi, kalau arus itu bertambah besar, maka induksi magnetik dalam induktor itupun bertambah. Maka ggl induksi melawan pertambahan induksi magnetik ini dengan jalan menimbulkan induksi magnetik yang berlawanan arah dengan induksi magnetik yang ditimbulkan oleh arus primer i . Ini hanya terjadi kalau arah arus (arah) ggl induksi berlawanan dengan arah arus primer i . Sebaliknya (lihat Gambar 18 (b)), bila arus i berkurang (arahnya tetap), maka induksi magnetik yang dihasilkannya pun berkurang (walaupun arahnya tetap). Ggl terimbas sendiri timbul melawan berkurangnya induksi magnetik dengan jalan menimbulkan induksi magnetik yang searah dengan induksi magnetik primer. Hal ini hanya terjadi kalau arah ggl terimbas sendiri searah dengan arah arus primer i .

Contoh Soal

Besarnya induksi magnetik di titik yang berjarak 2 cm dari kawat lurus yang panjang dan berarus listrik 30 ampere adalah.....

- A. $3 \cdot 10^{-4}$ Weber/m²
- B. $3 \cdot 10^{-2}$ Weber/m²
- C. $6 \cdot 10^{-3}$ Weber/m²
- D. $6 \cdot 10^{-4}$ Weber/m² Kunci: A

d. Referensi (penulisan mengacu APA).

1. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J., 1997, *Fundamental of Physics*, fifth edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Serway, R. A. dan Beichner, R.J., 2000, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, Saunders College Publishing, New York.
3. Muhammad Farchani Rosyid. 2013. Fisika dasar II (Kemagnetan). Diklat - Dengan dana BOPTN P3-UGM tahun anggaran 2013