Nama : Nanda Wiguna Putri Kusuma

NPM : 2123025001

Tuliskan konsep analog yang bersesuaian

a. Medan magnet oleh muatan bergerak

Gaya Lorentz adalah gaya yang dilakukan oleh medan magnet pada muatan listrik yang bergerak. Persamaan gaya Lorentz untuk muatan yang bergerak dapat diturunkan dari persamaan gaya Lorentz untuk kawat yang dialiri arus listrik. Gaya Lorentz pada kawat yang dialiri arus listrik adalah $\vec{F} = I\vec{L}\ x\ \vec{B}$. Jika bagian kawat yang dikenai medan magnet adalah $\Delta\vec{L}$ maka gaya Lorentz yang dihasilkan adalah $\vec{F} = I\Delta\vec{L}\ x\ \vec{B}$. Arus listrik sama dengan muatan yang mengalir per satuan waktu atau $I = \frac{q}{\Delta t}$ dengan Δt adalah selang waktu dan q adalah muatan yang mengalir dalam selang waktu tersebut. Selanjutnya kita dapat menulis gaya Lorentz pada kawat berarus listrik sebagai berikut:

$\vec{F} = \left(\frac{q}{\Delta t}\right) \Delta\vec{L}\ x\ \vec{B} = q\ \left(\frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}\right)\ x\ \vec{B}$ Tetapi, $\frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}$ adalah elemen panjang per satuan waktu yang merupakan definisi kecepatan dan tidak lain merupakan kecepatan muatan, atau $\frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t} = \vec{v}$ Sehingga diperoleh gaya Lorentz untuk muatan yang bergerak sebagai berikut $\vec{F} = q\vec{v}\ x\ \vec{B}$. Besarnya gaya lorentz menjadi $\vec{F} = qvB\ sin\theta$ dengan θ adalah sudut antara vector $\vec{v}$ dan vector $\vec{B}$. Dan besarnya medan magnet oleh muatan yang beregrak adalah $\vec{B} = \vec{F} : q\vec{v}$

b.

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{qv \times \hat{r}}{r^2} = k\frac{qv \times \hat{r}}{r^2}$$

Apabila muatan titik q bergerak dengan kecepatan v, muatan ini akan menghasilkan medan magnet B dalam ruang yang diberikan oleh

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^2}\,\mathrm{qv \times \acute{r}}$$

Dengan r merupakan vektor satuan yang mengarah dari muatan q ke titik medan P, dan merupakan konstanta kesebandingan yang disebut permeabilitas ruang bebas, yang memiliki nilai

$$\mu_0 = 4\pi \; x \; 10^{-7} T.m/A = 4\pi \; x \; 10^{-7} \; N/A^2$$

Satuan sedemikian rupa sehingga B dalam tesla apabila q dalam coulomb, v dalam meter/detik, dan r dalam meter. Satuan N/A^2 berasal dari pernyataan bahwa 1 T = 1 N/A.m. konstanta 1/4π secara bebas dicakupkan dalam persamaan

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \quad \mathrm{qv \; x \; \acute{r}}}{4\pi \mathrm{r}^2}$$

Untuk medan magnetik akibat muatan titik yang bergerak ini analog dengan hukum coulomb untuk medan listrik akibat muatan titik:

$$E = \frac{1 \; kq}{4\pi \, \varepsilon_0 r^2} \acute{r}$$

Kita lihat dari persamaan

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \quad \mathrm{qv \; x \; \acute{r}}}{4\pi \mathrm{r}^2}$$

Bahwa medan magnetik dari muatan titik yang bergerak memiliki karakteristik berikut:

a. Besaran B berbanding lurus dengan muatan q dan kecepatan v dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari muatan.
b. Medan magnetik adalah nol disepanjang garis gerak muatan.
c. Arah B tegak lurus terhadap kecepatan v maupun vektor r.

c. Medan magnet oleh arus listrik

Magnet tidak hanya melakukan gaya pada magnet lain, tetapi juga dapat melakukan gaya pada arus listrik. Jika kawat yang dialiri arus listrik ditempatkan dalam medan magnet, maka kawat tersebut mendapat gaya dari magnet. Besar dan arah gaya yang dialami kawat yang dialiri arus listrik dalam medan magnet diberikan oleh hokum Lorentz

$\vec{F} = I\vec{L}\; x\; \vec{B}.$

dengan

$\vec{F}$ = gaya yang dilami kawat berarus listrik (N),

I = besar arus listrik (A),

$\vec{B}$ = vektor medan magnet (T),

$\vec{L}$ = vektor panjang kawat yang dikenai medan magnet (m).

Besar vektor $\vec{L}$ sama dengan bagian panjang kawat yang dikenai medan magnet saja sedangkan arahnya sama dengan arah arus dalam kawat. Karena perkalian silang dua vector menghasilkan vector baru yang tegak lurus dua vector tersebut maka arah gaya Lorentz tegak lurus vector $\vec{L}$ dan vector $\vec{B}$. Dengan kata lain, jika kita membuat bidang datar di mana vector $\vec{L}$ dan vector $\vec{B}$ berada pada bidang tersebut maka vector gaya berarah tegak lurus bidang tersebut.

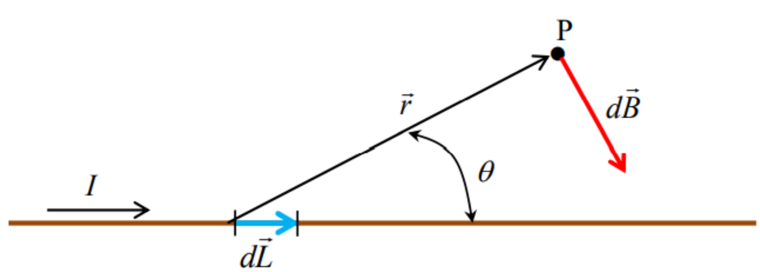
Besarnya gaya Lorentz yang dialami kawat berarus listrik dapat ditulis

$F = ILB\; sin\theta$

dengan θ adalah sudut antara vector $\vec{v}$ dan vector $\vec{B}$.

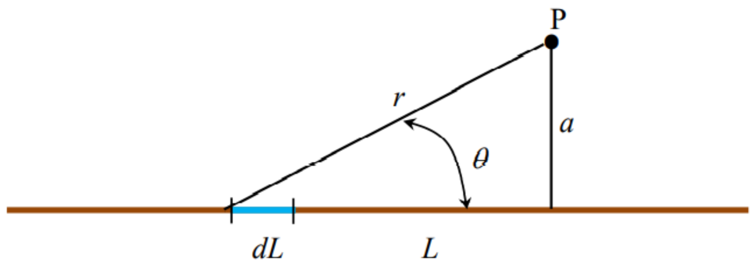
d. **Medan magnet pada kawat lurus panjang**

Untuk medan magnet dari kawat lurus panjang, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.2 Kuat medan magnet yang dihasilkan oleh elemen dari kawat lurus panjang

Untuk memudahkan perhitungan, kita dapat langsung menggunakan persaman bentuk scalar. Kita melakukan perhitungan besarnya medan dahulu. Setelah medan diperoleh baru menentukan arahnya. Pada ruas kanan pada gambar di bawah, baik dL, r, maupun sin θ merupakan variable. Agar integral dapat dikerjakan maka ruas kanan hanya boleh mengandung satu variable. Oleh karena itu kita harus menyatakan dua variable lain ke dalam salah satu variable saja. Untuk hal ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.3 Variabel-variebal integral pada persamaan (5.3). Jarak tegak lurus titik P ke kawat adalah a dan proyeksi vector $\vec{r}$ sepanjang kawat adalah L.

Jarak tegak lurus titik P ke kawat adalah a dan proyeksi vector $\vec{r}$ sepanjang kawat adalah L. Tampak dari gambar di atas bahwa

$$r = \sqrt{L^2 + a^2}$$

$$sin\theta = \frac{a}{r}$$

Dengan demikian, persamaan Biot-Savart dapat ditulis menjad

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dL}{(L^2 + a^2)}\ x\ \frac{a}{\sqrt{L^2 + a^2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi} \int \frac{dL}{(L^2 + a^2)^{3/2}}$$

Sekarang kita menentukan batas integral. Karena kawat memiliki panjang tak berhingga maka salah satu ujung berada pada posisi -∞ dan ujung lain berada pada posisi +∞. Dengan demikian batas integral adalah dari -∞ sampai +∞. Medan magnet yang dihasilkan menjadi

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dL}{(L^2 + a^2)^{3/2}}$$

Untuk menghitung integral di atas, kita gunakan Integral Calculator pada Wolfram Alpha. Kita dapatkan

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi} \left[\frac{L}{a^2\sqrt{L^2 + a^2}}\right]_{-\infty}^{+\infty}$$

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi} \left[\left(\frac{\infty}{a^2\sqrt{\infty^2 + a^2}}\right) - \left(\frac{\infty}{a^2\sqrt{(-\infty)^2 + a^2}}\right)\right]$$

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi} \left[\left(\frac{\infty}{a^2\ x\ \infty}\right) - \left(\frac{\infty}{a^2\ x\ \infty}\right)\right]$$

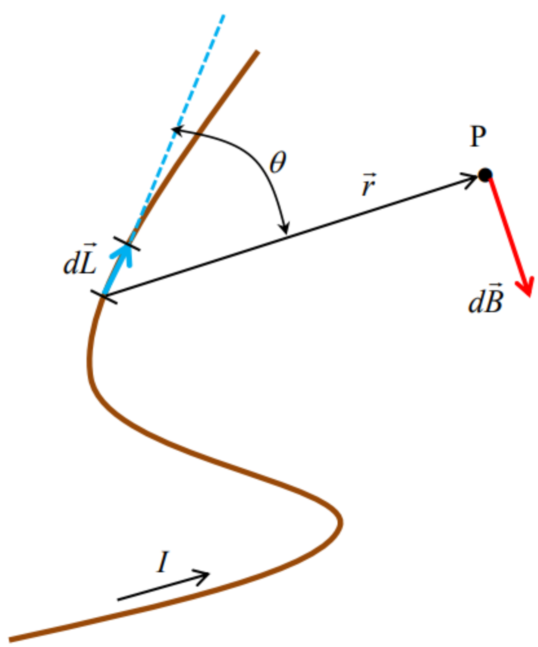
$$B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi}\left[\frac{1}{a^2} - \left(-\frac{1}{a^2}\right)\right]$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Tampak bahwa besar medan magnet yang dihasilkan kawat lurus panjang di suatu titik sebanding dengan kuat arus dan berbanding terbalik dengan jarak terdekat titik tersebut ke kawat.

e. **Hukum Biot savart**

Besarnya medan magnet di sekitar arus listrik dapat ditentukan dengan hukum Biot-Savart. Misalkan kita memiliki sebuah kawat konduktor yang dialiri arus I. Ambil elemen kecil kawat tersebut yang memiliki panjang dL. Arah dL sama dengan arah arus. Elemen kawat tersebut dapat dinyatakan dalam notasi vector $d\vec{L}$. Misalkan kita ingin menentukan medan magnet pada posisi P dengan vector posisi $\vec{r}$ terhadap elemen kawat. Perhatikan gambar di bawah ini agar terlihat lebih jelas.



Gambar 5.1 Elemen kawat yang dialiri arus listrik menghasilkan medan magnet di sekitarnya. Medan magnet total di suatu titik samam dengan jumlah medan magnet yang dihasilkan oleh semua elemen tersebut. Karena medan magnet adalah besaran vector maka penjumlahan dilakukan secara vector.

Kuat medan magnet di titik P yang dihasilkan oleh elemen $d\vec{L}$ saja diberikan oleh hukum Biot-Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \; x \; \vec{r}}{r^3}$$

Dengan

μ_0 disebut permeabilitas magnetic vakum = $4\pi \; x \; 10^{-7}$ T m/A.

Dari bentuk ruas kanan menjadi jelas bahwa arah medan magnet yang dihasilkan satu elemen tegak lurus bidang yang dibentuk elemen terebut dengan vector jarak dari elemen ke posisi pengamatan.

Persamaan di atas adalah medan yang dihasilkan oleh satu elemen saja. Medan total yang dihasilkan oleh semua elemen sepanjang kawat diperoleh dengan melakukan inetgral persamaan di atas menjadi

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \; x \; \vec{r}}{r^3}$$

Kalau kita ingin hitung besarnya saja (nilai scalar) maka medan magnet yang dihasilkan seluruh bagian kawat, maka persamaannya dapat ditulis dengan

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{dL \; sin\theta}{r^2}$$

Dengan

θ adalah sudut antara elemen dengan vector jarak yang mengarah ke posisi pengamatan.

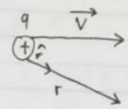
Sudut tersebut tidak konstan tetapi bergantung pada orientasi elemen sepanjang kawat. Dengan kata lain sudut tersebut merupakan fungsi jarak sepanjang kawat.

f.

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idlx\hat{r}}{r^2} = k \int \frac{idl \; \mathrm{x} \; \hat{\mathrm{r}}}{\mathrm{r}^2}$$

Hukum Biot - Savart

Jika mempunyai partikel bermuatan positif q bergerak dengan kecepatan $\vec{v}$. Maka partikel q yang bergerak akan menghasilkan medan magnet akibat muatan listrik yg bergerak sebesar r, dan vektornya $\hat{r}$ searah dengan jarak r.

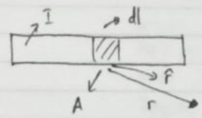


Medan magnet :

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \cdot \hat{r}}{r^2}$$

dari konsep tsb Biot - Savart menggunakannya dalam menentukan medan magnet akibat muatan listrik yg bergerak pada kawat konduktor

Misal kita punya kawat konduktor, kita akan tentukan medan magnet pada bagian kecil dari kawat konduktor :



Rapat arus

$$J = n \cdot q \cdot v$$
$$I/A = n \cdot q \cdot v$$
$$v = \frac{I}{n \cdot q \cdot A}$$

kita definisikan muatan pada bagian kecil ini :

$$dQ = n \cdot q \; dv$$
$$dQ = n \cdot q \cdot A \cdot dl$$

Substitusikan

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \cdot \hat{r}}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dQ \cdot \vec{v} \cdot \hat{r}}{r^2}$$
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n \cdot q \cdot A \cdot dl \; \vec{v} \; \hat{r}}{r^2}$$
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n \cdot q \cdot A \cdot \vec{v} \, (dl \cdot \hat{r})}{r^2}$$

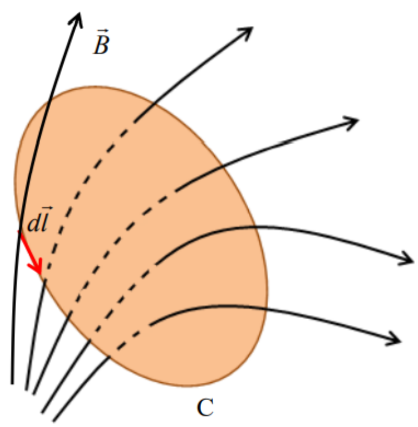
Substitusikan v

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\cancel{n \cdot q \cdot A} \cdot \frac{I}{\cancel{n \cdot q \cdot A}} \cdot dl \cdot \hat{r}}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \; dl \cdot \hat{r}}{r^2}$$ } Rumus Hukum Biot - Savart untuk menentukan medan magnet di sebuah titik yg diakibatkan oleh arus listrik yg mengalir pada kawat konduktor pada bagian kecilnya.

g. Hukum Ampere

Misalkan di suatu ruang terdapat medan magnet $\vec{B}$. Di dalam ruang tersebut kita buat sebuah lintasan tertutup C yang sembarang seperti Gambar di bawah ini. Bentuk lintasan bebas, asal tertutup.



Gambar 5.35 Lintasan tertutup sembarang yang kita simbolkan dengan C dalam ruang yang mengandung medan magnet.

Kita perhatikan elemen lintasan $d\vec{l}$. Anggap kuat medan magnet pada elemen lintasan tersebut adalah $\vec{B}$. Integral perkalian titik $\vec{B}$ dan $d\vec{l}$ dalam lintasan tertutup C memenuhi

$$\oint_s \vec{B} \blacksquare d\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

Dengan

$\sum I$ = jumlah total arus yang dilingkupi C

$\oint =$ menyatakan bahwa integral harus dikerjakan pada sebuah lintasan tertutup.

Perlu diperhatikan bahwa yang dikalikan dengan $d\vec{l}$ adalah medan magnet yang berada pada lintasan, bukan medan magnet di dalam atau di luar lintasan. Jika di dalam lintasan medan magnet tidak nol, namun sepanjang lintasan medan magnet nol maka integral tersebut hasilnya nol.

Persamaan tersebut dikenal dengan hukum Ampere dalam bentuk integral. Bentuk lain hukum Ampere yang ekivalen dengan persamaan tersebut adalah bentuk diferensial.

h. $\oint B.dl = \mu_o I_c$

Persamaan yang analog untuk medan magnetik yang disebut hukum ampere menyatakan "yang menghubungkan komponen tangeninsial B yang dijumlah pada seluruh kurva tertutup C dengan arus IC yang melintasi kurva tersebut", dalam bentuk matematis, hukum ampere adalah :

$$\oint \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{dl} = \boldsymbol{\mu_0}\ \boldsymbol{l_0}\ \boldsymbol{C_1}$$

Hukum ampere berlaku untuk sebarang kurva C asalkan arusnya kontinu, yaitu arus itu tidak berawal atau berakhir di sebarang titik. Penggunaan sederhana hukum ampere dalah untuk mencari medan magnetik dari kawat yang panjangnya tak terhingga, lurus yang menyalurkan arus.medan magnet akan menyinggung lingkaran dan memiliki besar B yang sama pada sebarang titik pada lingkaran, hukum ampere pada y demikian yaitu

$$\oint \boldsymbol{c}\ \boldsymbol{B}\ \boldsymbol{dl} = \boldsymbol{B} \oint \boldsymbol{c}\ \boldsymbol{dl} = \boldsymbol{\mu_{0\,l\,c}}$$

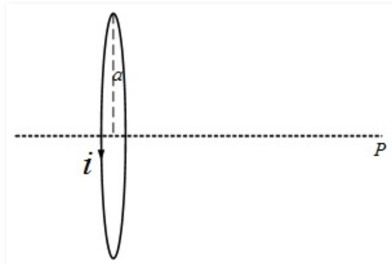
Arus lc merupakan arus l dalam kawat dengan demikian dapat diperoleh persamaaan

$$\mathbf{B}(\boldsymbol{2\pi r} = \boldsymbol{\pi_o l})$$

$$\mathbf{B} = \frac{\boldsymbol{\mu_0}}{\boldsymbol{2\pi}}\,\frac{\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{r}}$$

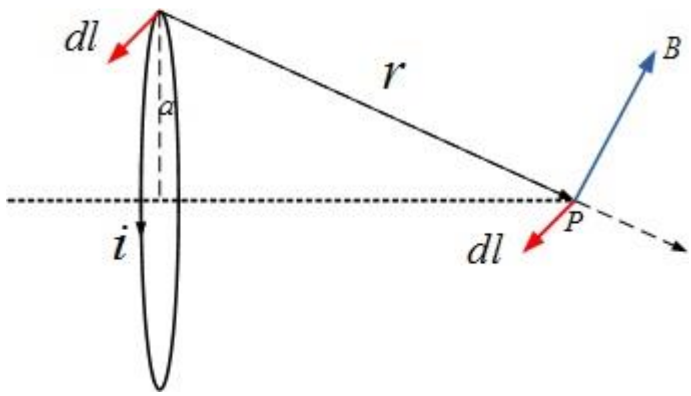
i. Medan magnet oleh kawat melingkar

Kawat melingkar berarus listrik akan menghasilkan medan magnet, tetapi kita tidak bisa menentukan besar medan magnet di sembarang titik karena penurunan rumusnya sangat rumit, disini hanya akan dibahas penurunan rumus besar medan magnet di sepanjang sumbu lingkaran yang melewati pusat linkaran kawat (garis putus-putus dari pusat kawat melinkar ke titik P pada gambar 1.

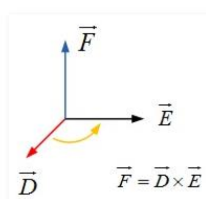


Gambar 1

Perhatikan gambar 1 di atas adalah sebuah kawat melingkar berarus i sebelum menurunkan rumus besar medan magnet di pusat lingkaran kita harus menentukan dulu besar medan magnet di titik P.

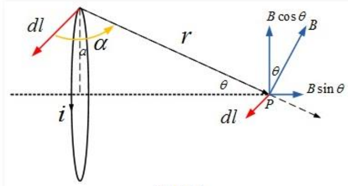


Buatlah Vektor r jarak dari kawat ke titik P, kemudian buatlah vektor dl searah arus yang arah vektornya menyinggung kawat melingkar di pangkal vektor r (vektor warna merah pada gambar 2. di titik P akan ada vektor medan magnet B yang arahnya tegak lurus bidang cross product vektor dl terhadap vektor r



Gambar 3

Di titik P vektor B akan terurai $B \sin\theta$ dan $B\cos\theta$ (gambar 4) . tetapi $B\sin\theta$ akan hilang karena $B\sin\theta$ akan muncul sepanjang elemen kawat melingkar.



Gambar 4

Setelah melakukan analisa geometri dan analisa vektor kita bisa gunakan hukum Biot Savart untuk menghitung besar medan magnet di titik P.

$$B = \int \frac{\mu_o i}{4\pi} \frac{dl \times \hat{r}}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \int \frac{dl \sin \alpha}{r^2}$$

Persamaan harus dikali karena hanya arah yang akan muncul medan magnet di titik P

$$B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \int \frac{dl \sin \alpha}{r^2} \sin \theta$$

Besar dl adalah panjang kawat melingkar atau keliling kawat melingkar

$$B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \frac{2\pi a \sin \theta}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \frac{2\pi a \left(\frac{a}{r}\right)}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_o i}{2} \left(\frac{a^2}{r^3}\right)$$

Besar medan magnet di titik P

$$B = \frac{\mu_o i}{2a} (\sin \theta)^3$$

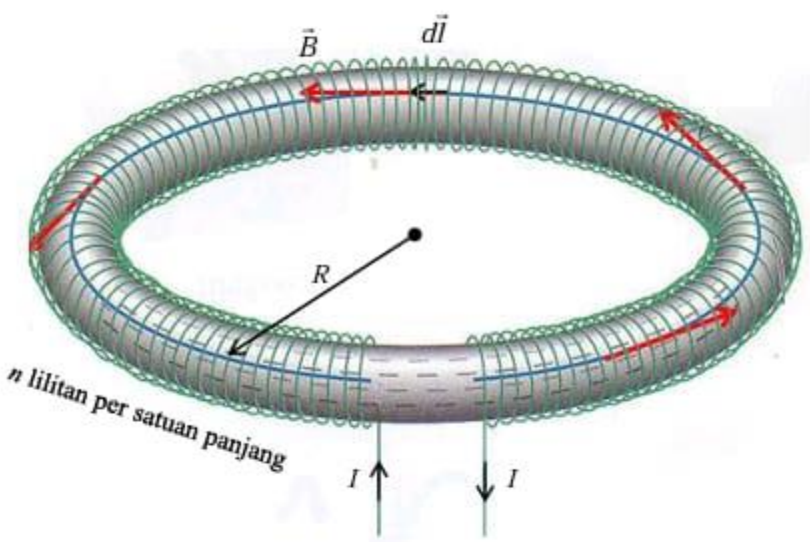
Kemudian kita bisa menentukan besar medan magnet di pusat kawat melingkar dengan sama dengan 90 derajat

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

j.

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi RI}{(R^2 + Z^2)}$$

Misalkan jumlah lilitan per satuan panjang yang dimiliki toroid adalah *n*. Arus yang mengalir pada toroid adalah *I*. Untuk menentukan kuat medan magnet di dalam rongga toroid, kita buat lintasan Ampere berbentuk lingkaran yang melalui rongga toroid seperti pada gambar di bawah ini.



Jika kita misalkan jari-jari toroid adalah R maka keliling toroid adalah $K = 2\pi R$. Sepanjang lintasan Ampere, vektor $\vec{B}$ dan $\vec{dl}$ selalu sejajar sehingga sudut θ antara $\vec{B}$ dan $\vec{dl}$ nol. Jadi, $\vec{B} \cdot \vec{dl} = B\,dl \cos\theta = B\,dl \cos 0^o = B\,dl$. Dengan demikian kita dapatkan

$\oint_s \vec{B} \cdot \vec{dl} = \oint_s B\,dl$

$= B \oint_s dl$

$= B$ *x (keliling lingkaran)*

$= B$ *x* (2πR)

Karena jumlah lilitan yang dilingkupi lintasan Ampere adalah *N* maka jumlah arus yang dilingkupi lintasan ini adalah

$\Sigma I = NI = 2\pi RnI$

Akhirnya, dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan di atas ke dalam persamaan sebelumnya maka diperoleh

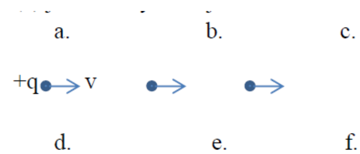
$B\ x\ (2\pi R) = \mu_0\ (2\pi RnI)$

atau

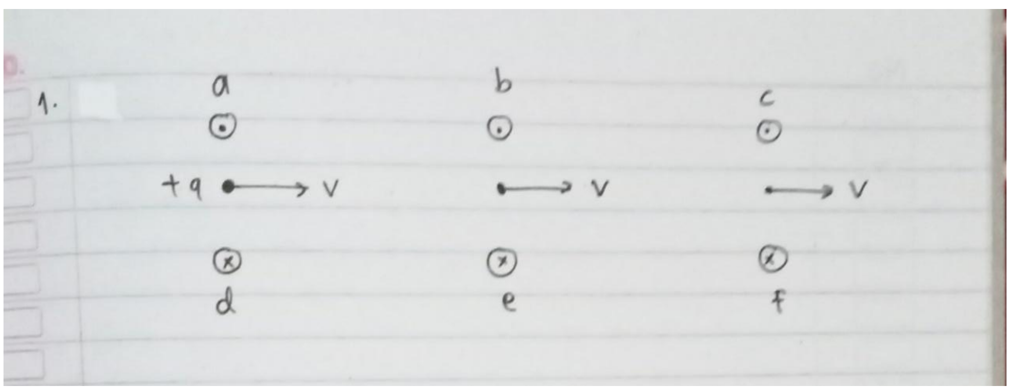
$B = \mu_0 nI$

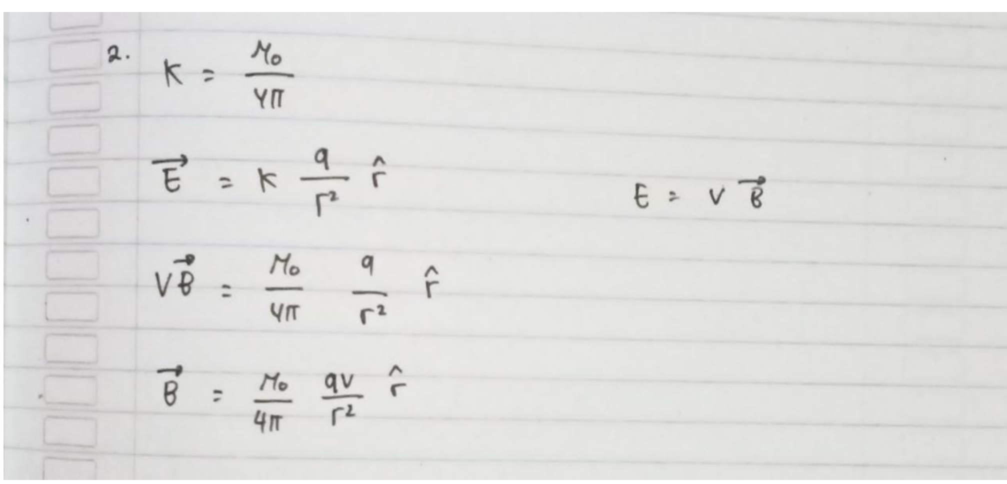
Menjelaskan konsep medan magnet oleh muatan bergerak

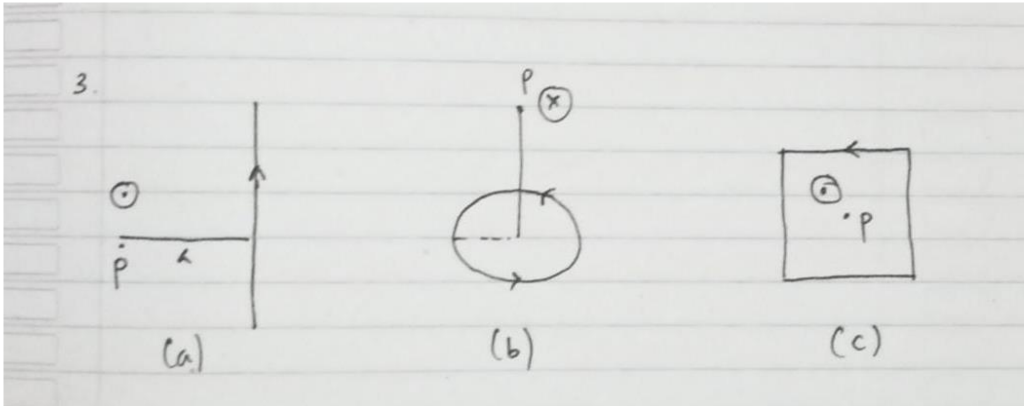
1. Perhatikan animasi gerakan muatan berikut ini (Vno.1), gambar medan magnet pada titik a, b, c, d, e, dan f. (tulis tanda titik (.), jika arahnya menuju kita, dan tanda silang (x) jika arahnya menjauhi kita.



Jawab:



2. 

3. 

Jawaban 3a)

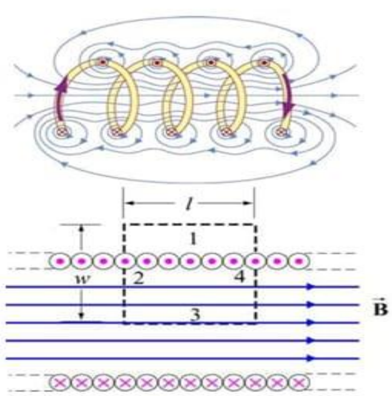
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{l} = \mu_0 \;\, l_0 \;\, C_1$$

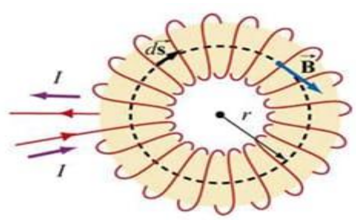
$$\oint c\, B\, dl = B \oint c\, dl = \; \mu_{0\,l\,c}$$

$$\mathbf{B}(2\pi r = \; \pi_0 l)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\,\frac{l}{r}$$

4. Perhatikan gambar solenoida dan toroida di bawah ini!

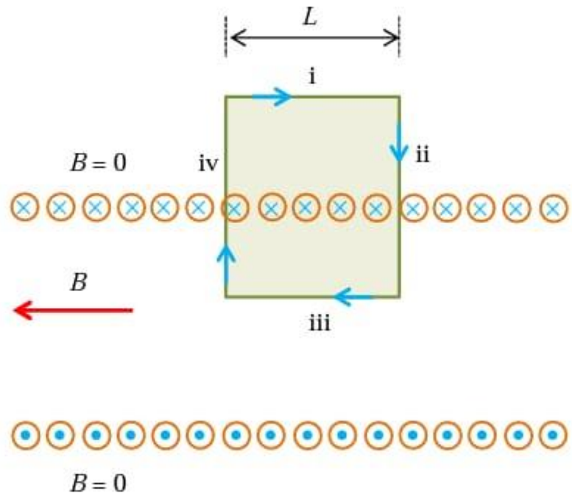




Dengan menerapkan hukum Ampere, formulasikan persamaan medan magnet yang ditimbulkan oleh solenoida.

Jawab:

Solenoid yang akan kita pakai disini juga solenoid ideal dengan jumlah lilinan per satuan panjang adalah n. Kawat solenoid dialiri arus I.



Gambar di atas adalah lintasan ampere pada solenoida. Untuk solenoida ideak maka medan magnet di dalam rongga nilainya konstan sedangkan di luar rongga nilainya nol. Jika solenoida dibelah dua maka penampang solenoida akan tampak seperti pada gambar di atas. Untuk menentukan kuat medan magnet di dalam solenoida, kita harus membuat lintasan ampere seperti pada gambar. Lintasan tersebut berupa segiempat. Integral pada lintasan tertutup dapat dipecah menjadi jumlah integral pada tiap-tiap sisi segiempat, yaitu :

$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_i \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_{ii} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_{iii} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_{iv} \vec{B} \cdot \vec{dl}$

Lalu lita lihat tiap-tiap suku integral

Lintasan i:

Pada lintasan ini kuat medan magnet nol karena berada di luar solenoida sehingga

$\int_i \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_i 0 \cdot \vec{dl} = 0$

Lintasan ii:

Pada lintasan ini, potongan yang berada di luar solenoida memiliki medan magnet nol sedangkan potongan yang ada di dalam solenoida memiliki medan magnet yang tegak lurus lintasan, sehingga

$\int_{ii} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_{pot\ luar} \vec{B} \cdot \vec{dl} + \int_{pot\ dalam} \vec{B} \cdot \vec{dl}$

$= \int_{pot\ luar} 0 \cdot \vec{dl} + \int_{pot\ dalam} B \cdot dl \cos 90^o = 0 + 0 = 0$

Lintasan iii:

Pada lintasan ini, vector $\vec{B}$ dan $\overrightarrow{dl}$ selalu sejajar sehingga sudut θ antara $\vec{B}$ dan $\overrightarrow{dl}$ nol. Jadi, $\vec{B} \cdot \overrightarrow{dl}$ = $B \cdot dl \cos \theta = B\, dl \cos 0^o = B\, dl$. Dengan demikian diperoleh

$\int_{iii} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = \int_{iii} B\, dl$

$= B \int_{iii} dl$

$= B\, x$ (panjang lintasan iii)

$= Bl$

Lintasan iv:

Integral pada lintasan iv persis sama dengan integral pada lintasan ii sehingga hasilnya juga nol, atau

$\int_{iv} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = \int_{pot\ luar} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} + \int_{pot\ dalam} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl}$

$= \int_{pot\ luar} 0 \cdot \overrightarrow{dl} + \int_{pot\ dalam} B \cdot dl \cos 90^o = 0 + 0 = 0$

Dengan demikian, integral pada lintasan tertutup adalah

$$\oint_S \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = 0 + 0 + Bl + 0 = Bl$$

Selanjutnya kita hitung jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere. Arus total adalah arus yang mengalir dalam ruas solenoid sepanjang λ. Karena jumlah lilitan per satuan panjang adalah n maka jumlah lilitan yang dilingkupi lintasan Ampere adalah $n\lambda$. Karena satu lilitan dialiri arus I, maka jumlah total arus yang dilingkupi lintasan Ampere adalah

$$\Sigma I = nl\, I$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan di atas ke dalam persamaan

$\oint_S \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = \mu_0 \Sigma I$ diperoleh

$Bl = \mu_0 (nl\, I)$

Atau

$B = \mu_0 nI$

Pertanyaan

Apakah di luar solenoida terdapat medan magnet? Kenapa?

Jawab :

Pada suatu titik di solenoida, garis-garis gaya magnet di bagian luar tidak sebanyak di bagian dalam. Di luar solenoida terdapat medan magnet namun medan magnetnya lemah. Lemahnya medan magnet di luar solenoida disebabkan oleh adanya gejala saling menghapus antara medan magnet yang berasal dari berbagai bagian di dalam tiap lilitan.

Pertanyaan

Apakah di luar toroida terdapat medan magnet?

Jawab :

Di luar toroida terdapat medan magnet, namun medan magnet di luar toroida lebih lemah dibandingkan medan magnet di dalam lingkaran toroida. Medan magnet yang ditimbulkan toroida mempunyai arah melingkar.

Pertanyaan

Apakah di dalam solenoida medan magnetnya seragam?

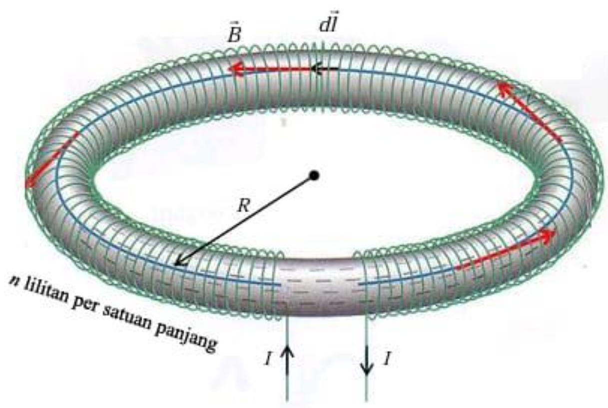
Jawab:

Ya, di dalam solenoida kuat medan magnetnya sama

5. Formulasikan persamaan medan magnet yang ditimbulkan oleh toroida. Apakah di luar toroida terdapat medan magnet? Kenapa?

   Jawab :

   Misalkan jumlah lilitan per satuan panjang yang dimiliki toroida adalah n. Arus yang mengalir pada toroida adalah I. Untuk menentukan kuat medan magnet di dalam rongga toroida, kita buat lintasan Ampere berbentuk lingkaran yang melalui rongga toroida seperti pada gambar di bawah ini.



Jika kita misalkan jari-jari toroida adalah R maka keliling toroida adalah $K = 2\pi R$. Sepanjang lintasan Ampere, vektor $\vec{B}$ dan $\overrightarrow{dl}$ selalu sejajar sehingga sudut θ antara $\vec{B}$ dan $\overrightarrow{dl}$ nol. Jadi, $\vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = B\,dl \cos\theta = B\,dl \cos 0^o = B\,dl$. Dengan demikian kita dapatkan

$$\oint_s \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = \oint_s B\,dl$$

$$= B \oint_s dl$$

$$= B \; x \; (keliling \; lingkaran)$$

$$= B \; x \; (2\pi R)$$

Karena jumlah lilitan yang dilingkupi lintasan Ampere adalah N maka jumlah arus yang dilingkupi lintasan ini adalah

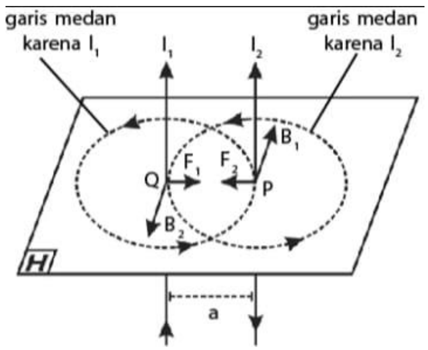
$\Sigma I = NI = 2\pi RnI$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan di atas ke dalam persamaan $\oint_S \vec{B} \cdot \overrightarrow{dl} = \mu_0 \Sigma I$ maka diperoleh $B\; x\; (2\pi R) = \mu_0\; (2\pi RnI)$

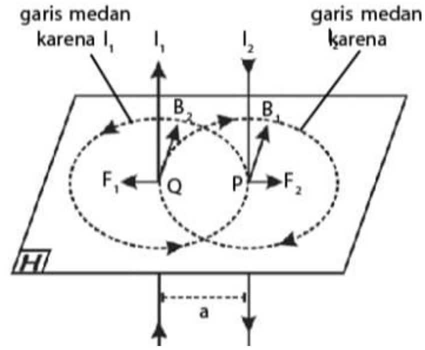
7. Gambar medan magnet pada kedua kawat yang dialiri arus listrik!

Jawab :

Arah aliran arus listrik searah



Arah aliran arus listrik berlawanan arah



8. Apa kesimpulan Anda tentang medan magnet yang ditimbulkan oleh 2 kawat berarus listrik?

   Jawab :

   Pada kawat sejajar yang dialiri arus listrik searah, arah medan magnet yang ditimbulkan berlawanan arah antara satu dengan yang lainnya. Sedangkan pada kawat sejajar yang dialiri arus listrik berlawanan arah, medan magnet yang ditimbulkan memiliki arah yang sama. Gaya tarik menarik jika arus listrik pada kawat tersebut searah dan gaya tolak menolak jika arus listrik pada kawat tersebut berlawanan arah.