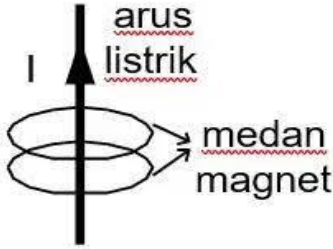
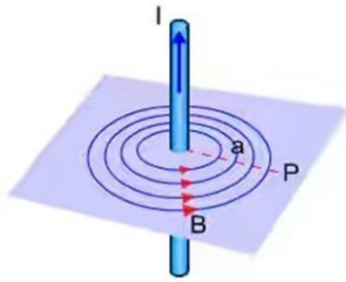


Nama : Fatynia Ilmiyatni
NPM : 2123025012

Tuliskan Konsep analog yang bersesuaian

Konsep medan magnet	Konsep analogi
Medan magnet oleh muatan bergerak	Gaya Lorentz Muatan yang bergerak dalam medan magnet juga mengalami gaya Lorentz karena muatan tersebut menghasilkan arus listrik. Gaya Lorentz ini dihasilkan oleh suatu muatan listrik yang dapat bergerak jika sebuah arus listrik berada didalam medan magnet B. Kedudukan Gaya Lorentz sendiri juga menyesuaikan dengan tempatnya menjalarkan muatan listrik. Pada dasarnya, gaya Lorentz pada kawat yang dialiri arus sama dengan superposisi (penjumlahan) gaya Lorentz pada semua muatan listrik yang sedang mengalir dalam kawat dan yang merasakan medan magnet. Jadi, yang lebih mendasar, gaya Lorentz adalah gaya yang dilakukan oleh medan magnet pada muatan listrik yang sedang bergerak. gaya Lorentz pada kawat yang dialiri arus listrik adalah $\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$. Jika bagian kawat yang dikenai medan magnet adalah $\Delta \vec{L}$ maka gaya Lorentz yang dihasilkan adalah $\vec{F} = I \Delta \vec{L} \times \vec{B}$. Tetapi, kita tahu definisi arus listrik sama dengan muatan yang mengalir persatuan 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 $\vec{F} = (\frac{q}{\Delta t}) \Delta \vec{L} \times \vec{B} = q (\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}) \times \vec{B}$. Namun, $\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$ 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 gaya Lorentz untuk muatan yang bergerak yaitu $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$. Besarnya gaya Lorentz menjadi $\vec{F} = q \vec{v} \vec{B} \sin \theta$.
$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times \hat{r}}{r^2} = k \frac{qv \times \hat{r}}{r^2}$	Medan magnet yang dihasilkan oleh muatan titik yang bergerak Apabila muatan titik q bergerak dengan kecepatan v, muatan ini akan menghasilkan medan magnet B dalam ruang yang diberikan oleh

	$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times \hat{r}}{r^2}$ Dengan $\hat{r}$ merupakan vektor satuan yang mengarah dari muatan q ke titik medan P, dan μ_0 merupakan konstanta kesebandingan yang disebut permeabilitas ruang bebas. Medan magnetik dari muatan titik yang bergerak memiliki karakteristik berikut: • Besaran B berbanding lurus dengan muatan q dan kecepatan v dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari muatan • Medan magnetik adalah nol disepanjang garis gerak muatan. • Arah B tegak lurus terhadap kecepatan v maupun vektor $\hat{r}$.
Medan magnet oleh arus listrik	Hukum Oersted Medan magnet dapat ditimbulkan dari kawat berarus listrik. Pada tahun 1820 seorang ilmuwan Denmark Hans Christian Oersted (1777-1857) menemukan suatu gejala yang menarik. Dalam percobaannya, ia menggunakan sebuah kompas jarum untuk menunjukkan bahwa ketika arus listrik mengalir pada seutas kawat, jarum kompas yang diletakkan pada daerah medan magnetik yang dihasilkan oleh kawat berarus menyebabkan jarum Kompas menyimpang dari arah utara-selatan. Kemudian disimpulkan bahwa di sekitar kawat berarus timbul medan magnet. Medan magnet oleh kawat berarus ini dinamakan dengan induksi magnet. 
Medan magnet pada kawat lurus panjang	Medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik adalah kawat lurus panjang berarus, kawat melingkar berarus dan pada solenoida. Berikut adalah gambar kawat panjang berarus

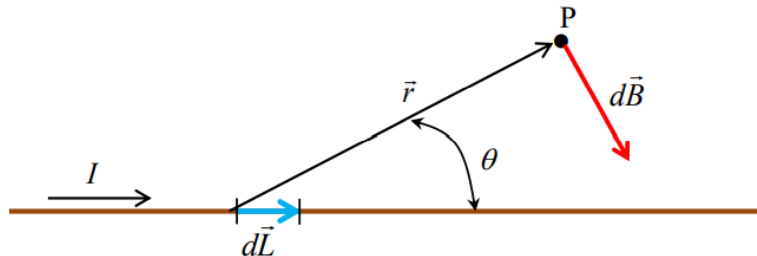


Induksi magnet di sekitar kawat lurus panjang sebanding dengan kuat arus I dan berbanding terbalik dengan jaraknya a . Konstanta pembandingnya adalah $\frac{\mu_0 I}{2a}$. Perhatikan

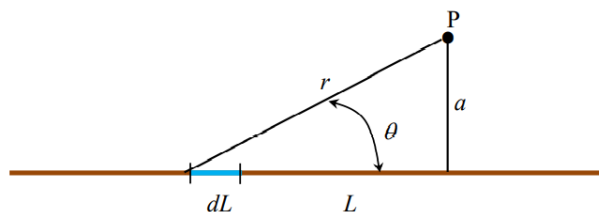
persamaan berikut $B = \frac{\mu_0 I}{2a}$.

Dengan B adalah induksi magnet di titik P (wb/m^2), I adalah kuat arus listrik (A), a adalah jarak titik P ke kawat (m), μ_0 = permeabilitas hampa ($4 \times 10^{-7} \text{ wb/Am}$).

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

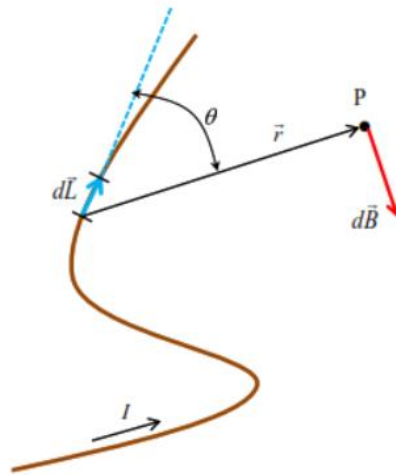


Pada ruas kanan pada gambar di bawah, baik dL , r , maupun $\sin \theta$ merupakan variable. Agar integral dapat dikerjakan maka ruas kanan hanya boleh mengandung satu variable. Oleh karena itu kita harus menyatakan dua variable lain ke dalam salah satu variable saja. Untuk hal ini dapat dilihat pada gambar berikut.



	Jarak tegak lurus titik P ke kawat adalah a dan proyeksi vector $\vec{r}$ sepanjang kawat adalah L. $r = \sqrt{L^2 + a^2}$ $\sin \theta = \frac{a}{r}$ Dengan demikian, persamaan Biot- Savart menjadi $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{L}}{(L^2 + a^2)} \times \frac{a}{\sqrt{L^2 + a^2}}$ $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \int \frac{d\vec{L}}{(L^2 + a^2)^{3/2}}$ Karena kawat memiliki panjang tak berhingga maka salah satu ujung berada pada posisi $-\infty$. dan ujung lain berada pada posisi $+\infty$. Dengan demikian batas integral adalah dari $-\infty$. sampai $+\infty$.. Medan magnet yang dihasilkan menjadi $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\vec{L}}{(L^2 + a^2)^{3/2}}$ Untuk menghitung integral di atas, kita gunakan Integral Calculator pada Wolfram Alpha. Kita dapatkan $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \left[\frac{L}{a^2 \sqrt{L^2 + a^2}} \right]_{-\infty}^{+\infty}$ $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \left[\left(\frac{\infty}{a^2 \sqrt{\infty^2 + a^2}} \right) - \left(\frac{\infty}{a^2 \sqrt{(-\infty)^2 + a^2}} \right) \right]$ $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \left[\left(\frac{\infty}{a^2 \times \infty} \right) - \left(\frac{\infty}{a^2 \times \infty} \right) \right]$ $B = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \left[\frac{1}{a^2} - \left(-\frac{1}{a^2} \right) \right]$ $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ 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.
Hukum Biot savart	Tahun 1819 Hans Christian Oersted mengamati bahwa jarum Kompas dapat menyimpang diatas kawat berarus. Arus listrik sebagai sumber medan magnet. Pada tahun 1920-an

Jean-Baptiste Biot dan Felix Savart melakukan eksperimen menentukan medan magnet di sekitar kawat berarus tersebut. Besarnya medan magnet di sekitar arus listrik dapat ditentukan dengan hukum Biot-Savart. Misalkan pada sebuah kawat konduktor yang dialiri arus I . Elemen kecil kawat tersebut yang memiliki panjang $d\vec{L}$. Arah $d\vec{L}$ sama dengan arah arus. Elemen kawat tersebut dapat dinyatakan dalam notasi vector $d\vec{L}$. Berikut ini merupakan gambar Elemen kawat yang dialiri arus listrik menghasilkan medan magnet di sekitarnya.



Medan magnet pada posisi P dengan vektor posisi $\vec{r}$ terhadap elemen kawat, kuat medan magnet pada titik P yang dihasilkan oleh elemen $d\vec{L}$ saja yang diberikan oleh hukum Biot-Savart.

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

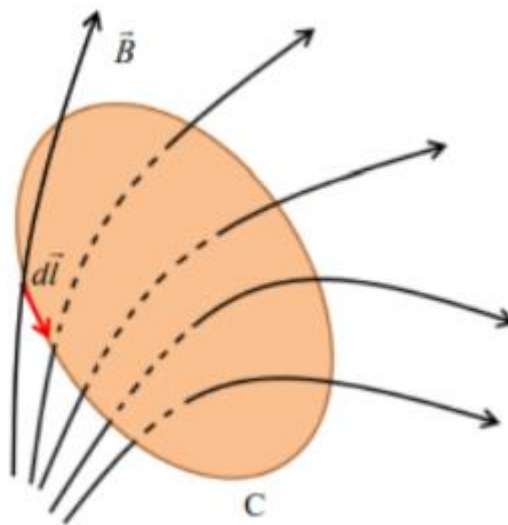
μ_0 disebut permeabilitas magnetic vakum = $4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$. Dari bentuk ruas kanan menjadi jelas bahwa arah medan magnet yang dihasilkan satu elemen tegak lurus bidang yang dibentuk elemen tersebut dengan vector jarak dari elemen ke posisi pengamatan.

Persamaan tersebut adalah medan yang dihasilkan oleh satu elemen saja. Medan total yang dihasilkan oleh semua elemen sepanjang kawat diperoleh dengan melakukan integral persamaan

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \text{ menjadi } d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3}$$

	Namun, apabila hanya ingin menghitung besar medan magnetnya saja maka dapat ditulis dengan $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{L} \times \hat{r}}{r^3}$ Dengan θ adalah sudut antara elemen dengan vector jarak yang mengarah ke posisi pengamatan.
$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL \sin\theta}{r^2} = k \int \frac{idl \times \hat{r}}{r^2}$	Jika kita punya partikel positif q bergerak dengan kecepatan $\vec{v}$. Maka partikel q yang bergerak ini akan menghasilkan medan magnet akibat muatan listrik yang bergerak sebesar r, dan vektornya $\vec{r}$ searah dengan jarak r. Maka medan magnetnya: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$ Pada konsep tersebut, medan magnet ditentukan akibat muatan listrik yang bergerak pada kawat konduktor. Contohnya, pada kawat konduktor, untuk menentukan medan magnet pada bagian kecil dari kawat konduktor kita dapat menggunakan rumus: Rapat arus $J = nqv \text{ (muatan pada bagian kecil)}$ $\frac{I}{A} = nqv$ $V = \frac{I}{nqA}$, $dQ = nqv$ dan $dQ = nqA \cdot dl$ dengan $V = \text{volume}$ Kemudian, setelah disubstitusikan maka diperoleh: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$ $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dQ\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$ $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n \cdot q \cdot A \cdot dl \cdot \vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$ Kemudian, substitusikan v $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n \cdot q \cdot A \cdot dl \cdot \frac{1}{nqa} (dl \times \hat{r})}{r^2}$ $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I (dl \times \hat{r})}{r^2}$
Hukum Ampere	Hukum ampere digunakan apabila dalam menentukan kuat medan magnet disekitar arus tidak dapat menggunakan Hukum Bio savart. Hukum Biot-Savart merupakan hukum yang umum yang digunakan untuk menghitung kuat medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik. Apapun bentuk

konduktor yang dialiri arus, dan berapa pun arus yang mengalir, maka kuat medan magnet di sekitar arus tersebut selalu memenuhi hukum Biot-Savart. Untuk bentuk kawat yang rumit, maka integral pada hukum Biot-Savart tidak selalu dapat diselesaikan. Misalnya, pada ruang terdapat magnet $\vec{B}$, pada ruang ini terdapat sebuah lintasan tertutup C yang sembarangan. Adapun ilustrasinya seperti gambar berikut ini:



Hukum Ampere dapat digunakan untuk mencari medan magnet dari system arus yang bersifat simetri. 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

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \Sigma I$$

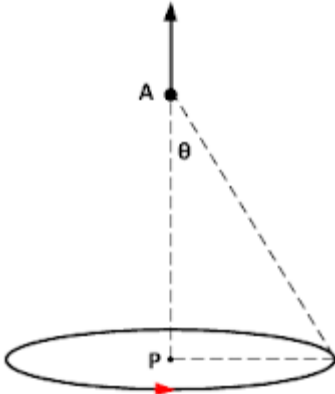
Dengan

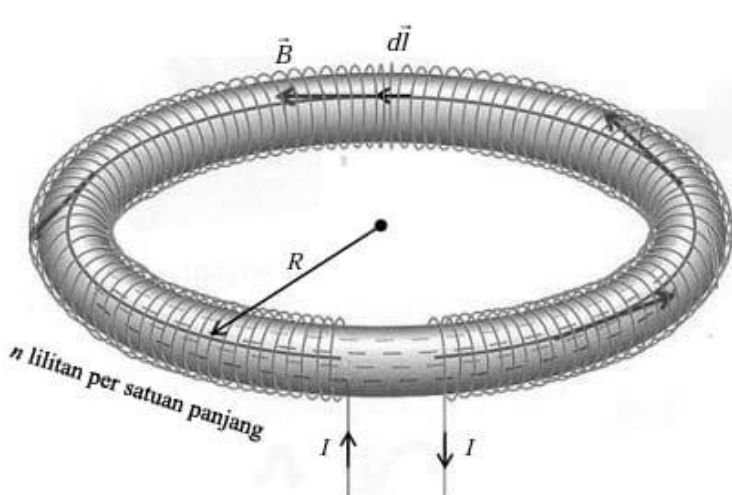
ΣI = jumlah total arus yang dilingkupi C

$\oint$ = integral harus dikerjakan pada lintasan tertutup.

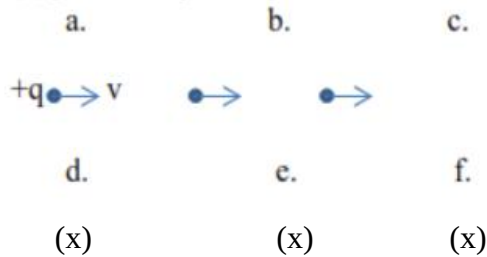
Perlu diperhatikan bahwa yang dikalikan dengan $d\vec{l}$ adalah medan magnet yang berada pada lintasan, bukan medan magnet di dalam atau di luar lintasan. Jika di dalam lintasan medan magnet tidak nol, namun sepanjang lintasan medan magnet nol maka integral tersebut hasilnya nol. Persamaan tersebut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

	integral. Bentuk lain hukum Ampere yang ekivalen dengan persamaan tersebut adalah bentuk diferensial.
$\oint B \cdot dl = \mu_o I_c$	Persamaan tersebut dikenal dengan hukum Ampere dalam bentuk integral. Bentuk lain hukum Ampere yang ekivalen dengan persamaan adalah bentuk diferensial. Hukum Ampere dapat digunakan untuk mencari kuat medan listrik di sekitar kawat lurus panjang. Dalam menerapkan hukum ini, beberapa langkah standar yang harus dilakukan adalah: 1. Pilih lintasan tertutup sedemikian rupa sehingga • Kuat medan magnet pada berbagai titik di lintasan konstan • Vektor medan magnet dan vektor elemen lintasan selalu membentuk sudut yang konstant untuk semua elemen lintasan. 2. Cari ΣI , yaitu jumlah total arus yang dilingkupi lintasan ampere. 3. Untuk kawat lurus panjang, lintasan yang memenuhi kriteria di atas adalah sebuah lingkaran yang sumbunya berimpit dengan kawat tersebut seperti diilustrasikan pada gambar di bawah ini.

	Beberapa informasi yang dapat kita peroleh adalah: 1. Berdasarkan aturan tangan kanan, medan magnet selalu menyinggung lintasan. 2. Elemen vektor $\vec{dl}$ juga menyinggung lintasan. Jadi pada titik-titik di lintasan ampere, vector $\vec{B}$ dan $\vec{dl}$ selalu sejajar dengan sudut θ antara $\vec{B}$ dan $\vec{dl}$ nol dengan demikian: $\vec{B} \cdot \vec{dl} = B dl \cos \theta = B dl \cos 0 = B dl$ $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$
Medan magnet oleh kawat melingkar	Medan magnet pada kawat melingkar dapat dijumpai pada bel pintu, transformator, motor listrik. Pada kawat melingkar, disekitar kawat akan timbul medan magnet yang tentunya bergantung pada letak titik dari kawat. Fokus yang akan kita perhatikan adalah bagaimana medan magnet dipusat dan disuatu titik yang berada pada sumbu lingkaran ditentukan. Perhatikan gambar kawat melingkar di bawah ini:  Arah medan magnet dititik A diperlihatkan dengan arah ke tas dan dapat dirumuskan sebagai berikut: $B_A = \mu_0 \left(\frac{i}{2r} \right) \sin^3 \theta$ Namun, Jika titik A digeser ke bawah sedikit demi sedikit sehingga berada dititik P atau pusat lingkaran, persamaan medan magnet dititik P dapat dituliskan

	$B_{\text{pusat}} = \mu_0 \left(\frac{i}{2r} \right) (n)$ B menunjukkan medan magnet (T), arus listrik ditunjukkan i (A), jejari atau jari-jari ditunjukkan r (m), μ_0 menunjukkan permeabilitas magnet, dan n menunjukkan jumlah potongan kawat.
$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R I}{(R^2 + Z^2)}$	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 $d\vec{l}$ selalu sejajar sehingga sudut θ antara $\vec{B}$ dan $d\vec{l}$ nol. Jadi, $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos \theta = B dl \cos 0$ $= B dl$. Dengan demikian kita dapatkan $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl$ $= B \oint dl$ $= B \times (\text{keliling lingkaran})$ $= B \times (2\pi R).$

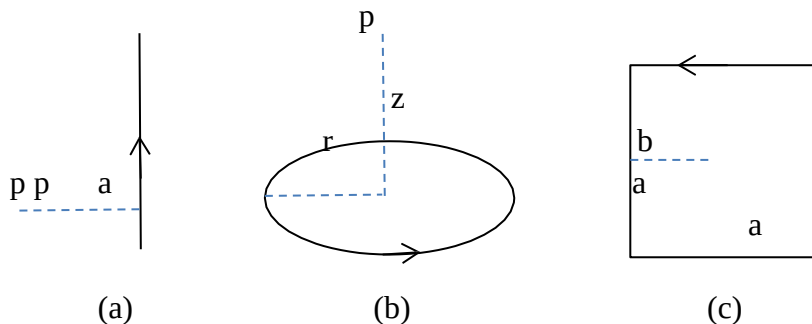
1. Perhatikan animasi gerakan muatan berikut ini (Vno.1), gambar medan magnet pada titik a, b, c, d, e, dan f. (tuliskan tanda titik (•), jika arahnya menuju kita, dan tanda silang (x) jika arahnya menjauhi kita).



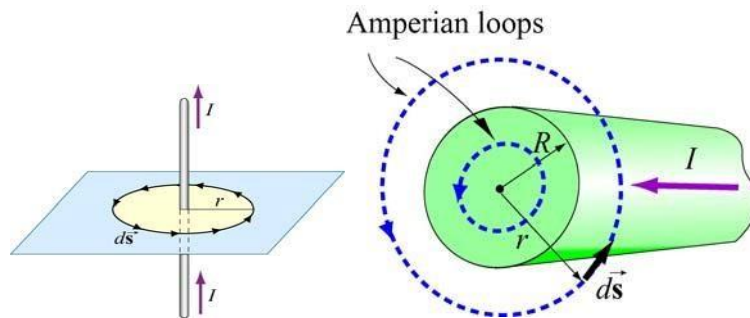
2. Jika muatan yang bergerak adalah +q dengan kecepatan v, dan $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$, dengan menggunakan analogi medan listrik oleh muatan titik besarnya medan listrik direpresentasikan $\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$, maka besarnya medan magnet oleh muatan yang bergerak direpresentasikan

$$\begin{aligned}\vec{B} &= \vec{E} \\ K &= \frac{\mu_0}{4\pi} \\ \vec{E} &= K \frac{q}{r^2} \hat{r} \\ v\vec{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q}{r^2} \hat{r} \\ \vec{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q}{r^2} \hat{r}\end{aligned}$$

3. Sekarang perhatikan gambar animasi berikut ini (Vno.2). Gunakan kaidah tangan kanan untuk menggambarkan medan magnet pada titik p yang ditimbulkan oleh kawat lurus panjang, kawat melingkar, dan kawat berbentuk bujur sangkar yang dialiri arus listrik.



- a) formulasikan medan magnet pada titik p oleh kawat lurus panjang, gunakan hukum Ampere!



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_c$$

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

Jadi, pada titik-titik di lintasan ampere, vector $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos 0^\circ = B dl$ dan

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl$$

Karena pada tiap titik di lintasan besar medan magnet konstan, maka B dapat ditarik keluar dari integral.

$$\oint B dl = B \oint dl$$

= B x (keliling lingkaran)

$$\oint dl = B \times (2\pi r)$$

Selanjutnya kita cari jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere. Karena yang dilingkupi lintasan Ampere hanya satu kawat, dan kawat tersebut diliri arus I, maka $\Sigma I = I$

Sehingga didapatkan:

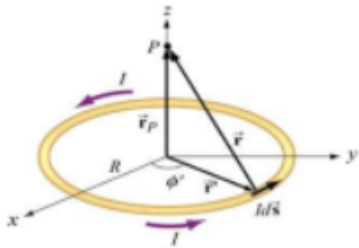
$$B \times (2\pi r) = \mu_0 I$$

Atau

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

Representasikan secara verbal persamaan yang anda peroleh!

- b) Formulasikan medan magnet pada titik p sejauh z di atas kawat melingkar, gunakan hukum Biot Savart.



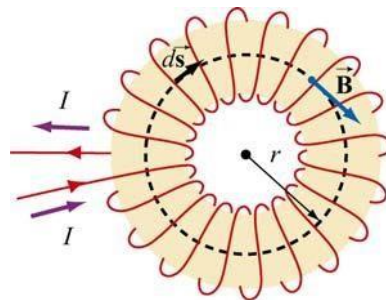
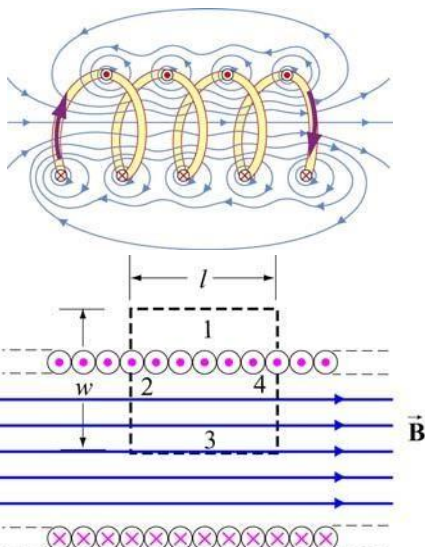
$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \theta}{4\pi r^2}, \quad \sin \theta = \frac{R}{r}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R}{r^2} \oint dl$$

Berapa besarnya medan magnet pada pusat lingkaran atau pada $z = 0$?

- c) Formulasikan besarnya medan magnet yang ditimbulkan oleh kawat yang berbentuk persegi panjang yang dialiri arus listrik I (gambar c).

4. Perhatikan gambar solenoida dan toroida di bawah ini!



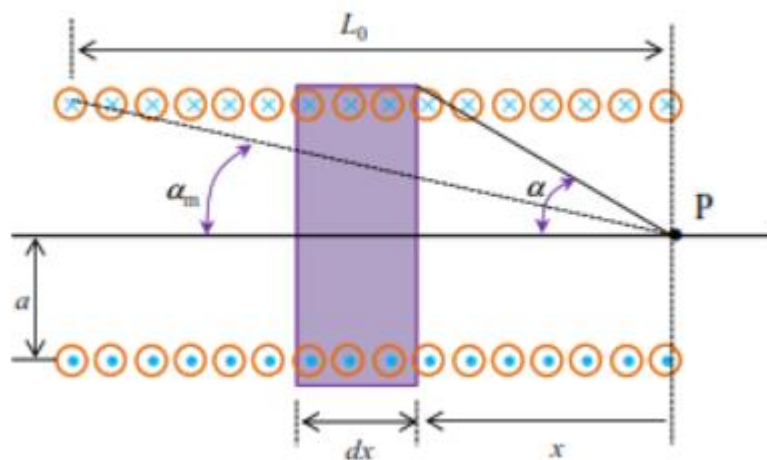
Dengan menerapkan hukum Ampere, formulasikan persamaan medan magnet yang ditimbulkan oleh solenoida.

Jawab:

Solenoid dapat dipandang sebagai susunan cincin sejenis yang jumlahnya sangat banyak. Tiap cincin membawa arus I . Medan di dalam solenoid merupakan jumlah dari medan yang dihasilkan oleh cincin-cincin tersebut. Contoh solenoid dan pola medan magnet yang dihasilkan. Solenoid dapat dipandang sebagai susunan kawat lingkaran. Solenoid ideal memiliki panjang tak berhingga. Kuat medan magnetic di luar solenoid ideal nol sedangkan di dalam rongganya memenuhi persamaan.

Medan magnet di Tepi Solenoida

Salah satu cara menentukan arah kutub magnet yang dihasilkan solenoid. Arah aliran arus dalam cincin menentukan arah medan dalam solenoid. Arah medan dalam solenoid hanya bisa salah satu dari dua arah, yaitu keluar pada salah satu ujung. Di ujung mana medan keluar ditentukan oleh arah aliran arus pada cincin. Perhatikan gambar berikut ini. Untuk menentukan medan magnet di tepi solenoid. Perhatikan gambar



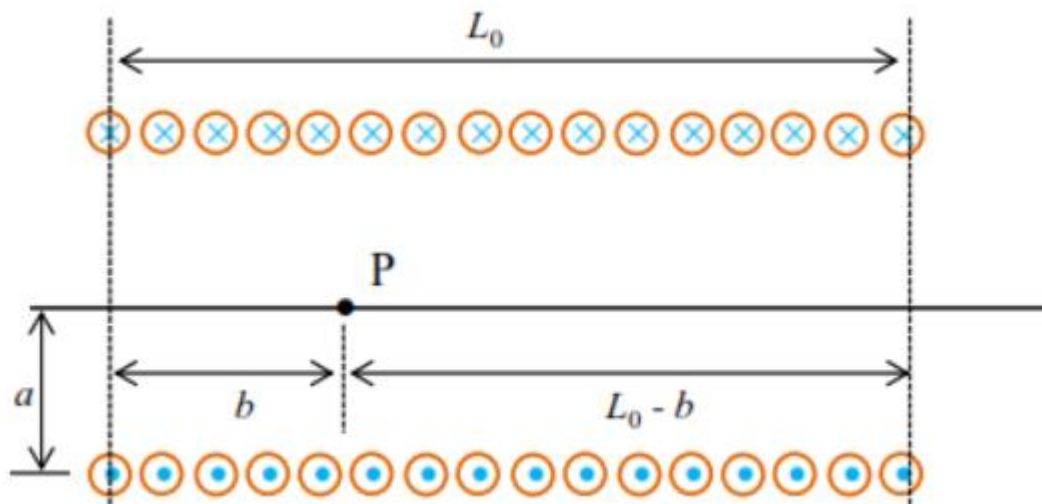
Kuat medan magnet di tepi solenoid yang panjangnya berhingga, yaitu L_0 . okasi pengamatan adalah di sumbu solenoid. Kita tetap dapat menggunakan persamaan

$$dB = \frac{\mu_0 I n}{2a} \frac{dx}{[1 + (x/a)^2]^{3/2}}$$

Namun di sini batas integral bukan lagi dari negative tak berhingga ke positif tak berhingga, tetapi dari $x = -L_0$ sampai $x = 0$. Maka medan magnet di titik P menjadi

$$B = \frac{\mu_0 I n}{2a} \int_{-L_0}^0 \frac{dx}{[1 + (x/a)^2]^{3/2}}$$

Sedangkan, untuk medan magnet pada jarak sembarang di dalam solenoid sebagai berikut. Misalkan panjang solenoid adalah L_0 dan kita akan menentukan kuat medan pada jarak b dari salah satu ujung solenoid. Menentukan kuat medan magnet pada posisi sembarang dalam sumbu solenoid. Titik pengamatan dapat dipandang menerima medan dari dua buah solenoid berhingga yang panjangnya b dan $L_0 - b$. Medan pertama berasal dari ujung kanan solenoid yang panjangnya b dan medan kedua berasal dari ujung kiri solenoid yang panjangnya $L_0 - b$.



Satu solenoid memiliki panjang b dan satu solenoid memiliki panjang $L_0 - b$. Titik pengamatan berada pada tepi masing-masing solenoid tersebut. Kuat medan total merupakan jumlah kuat medan yang dihasilkan masing-masing solenoid. Maka kuat medan yang dihasilkan solenoid yang panjangnya b adalah

$$B_1 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 n I b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Kuat medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid yang panjangnya $L_0 - b$ adalah

$$B_2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_o n I (L_o - b)}{\sqrt{a^2 + (L_o - b)^2}}$$

Dengan demikian, kuat medan total pada titik pengamatan adalah

$$B = B_1 + B_2$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \frac{\mu_o n I (L_o - b)}{\sqrt{a^2 + (L_o - b)^2}} + \frac{1}{2} \frac{\mu_o n I b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ &= \frac{\mu_o n I}{2} \left[\frac{(L_o - b)}{\sqrt{a^2 + (L_o - b)^2}} + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right] \end{aligned}$$

Apakah di luar solenoida terdapat medan magnet? Kenapa?

Jawab:

Ya, di luar solenoida terdapat medan magnet. Medan magnet di luar solenoida nonuniform & lemah. Medan magnet di luar solenoida tidak sebanyak medan magnet di dalam solenoida. Hal ini disebabkan karena adanya gejala saling menghapus antara medan magnet luar dan dalam yang disebabkan oleh bagian di setiap lilitan. Solenoid pada bagian dalam, garis-garis fluks magnetik diberkas berdekatan dan lurus. Jarak antara semua garis itu sebenarnya sama. Di luar solenoid, garis-garis fluks magnetik membuka ke luar dan menutup kembali membentuk lingkaran tertutup yang memanjang. Medan magnet yang ditimbulkan oleh solenoida akan lebih besar daripada yang ditimbulkan oleh sebuah penghantar melingkar, apalagi oleh sebuah penghantar lurus. Jika Solenoida dialiri arus listrik maka akan menghasilkan medan magnet.

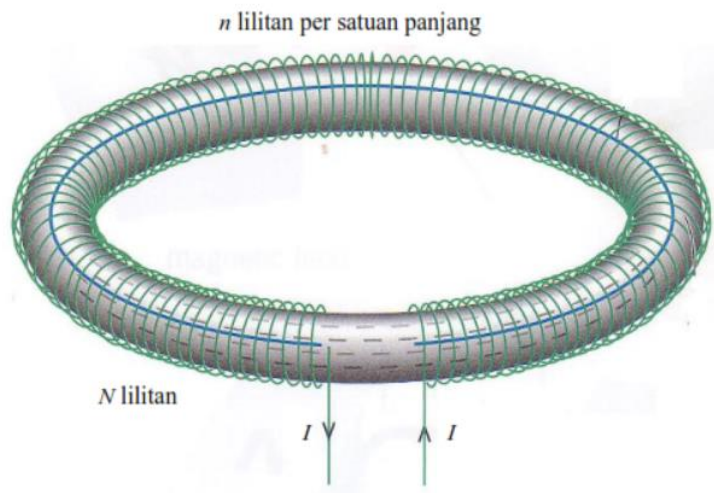
Apakah di dalam solenoida medan magnetnya seragam?

Jawab:

Ya, medan magnet di dalam solenoida seragam. Medan magnet yang seragam dihasilkan pada pusat solenoid, sedangkan medan magnet yang terbentuk diluar solenoid lebih lemah dan divergen. Kerapatan fluks magnetik di sebelah dalam solenoid dengan demikian jauh lebih besar dari pada di sebelah luarnya. Untuk meningkatkan medan magnet dari solenoid dapat ditambahkan inti pada bagian tengah kumparan.

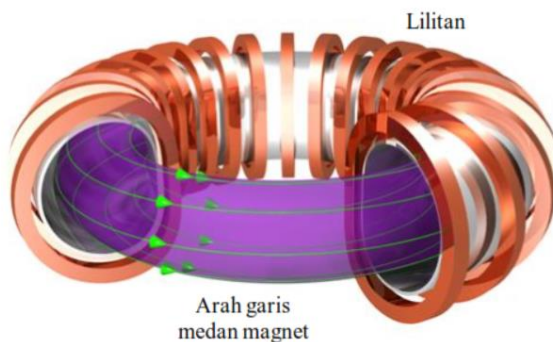
5. Formulasikan persamaan medan magnet yang ditimbulkan oleh toroida. Apakah di luar toroida terdapat medan magnet? Kenapa?

Jawab:



Jika solenoid yang panjangnya berhingga kita gabungkan ujungnya, maka kita mendapatkan sebuah bentuk seperti kue donat. Bentuk inilah yang dinamakan toroid. Jika kita bergerak sepanjang rongga solenoid ideal (panjang tak berhingga) maka kita tidak pernah menemukan ujung solenoid tersebut. Dengan cara yang sama, apabila kita bergerak sepanjang rongga toroid, kita pun tidak pernah menemukan ujung toroid tersebut. Sehingga, toroid akan serupa dengan solenoid ideal. Oleh karena itu, menjadi sangat logis apabila kita berkesimpulan bahwa kuat medan magnet dalam toroid sama dengan kuat medan magnet dalam solenoid ideal. Jadi kuat medan magnet dalam toroid adalah $B = \mu_0 n I$ dengan n jumlah kumparan per satuan panjang dan I arus yang mengalir pada kawat toroid. Untuk toroid ideal, kuat medan magnet di luar toroid nol, hal yang juga kita jumpai pada solenoid ideal.

Adapun ilustrasi medan yang dihasilkan pada toroid adalah sebagai berikut:



Agar garis medan sama dengan arah keliuling lingkaran yang pusatnya berimpit dengan pusat toroid. Besar medan bergantung pada jumlah lilitan per satuan panjang dan kuat arus yang mengalir dalam toroid. Medan magnet yang dihasilkan dalam rongga toroid dapat digunakan untuk memerangkap partikel bermuatan listrik. Partikel yang bergerak melingkar mengikuti garis medan yang dihasilkan toroid tidak mendapat gaya magnet karena arah gerak sejajar dengan arah medan. Namun, jika gerak partikel menyimpang dari arah tersebut maka ada komponen medan yang tegak lurus kecepatan. Akibatnya partikel mendapat gaya Lorentz yang memaksa partikel kembali ke lintasan lingkar. Jika medan cukup kuat maka partikel dapat dikontrol sehingga tidak pernah menyinggung dinding toroid. Prinsip inilah yang digunakan dalam pembangunan reaktor fusi nuklir.

6. Perhatikan animasi (V no.3 dan 4) gerakan dua buah kawat yang dialiri arus listrik! perhatikan arah arus pada kawat. Apa yang terjadi pada kedua kawat tersebut?

Jawab:

Kuat medan magnet yang dihasilkan kawat berarus I_1 di lokasi kawat berarus I_2 adalah

$$B_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{a}$$

Arah medan magnet ini tegak lurus kawat. Karena kawat 2 dialiri arus listrik maka ada gaya Lorentz yang bekerja pada kawat 2. Arah arus listrik pada kawat 2 dan arah medan magnet pada kawat tersebut saling tegak lurus sehingga besar gaya Lorentz adalah

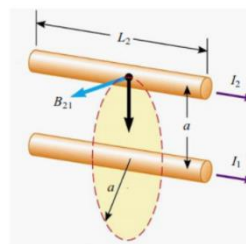
$$F_{21} = I_2 B_{21} L_2$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{a} L_2$$

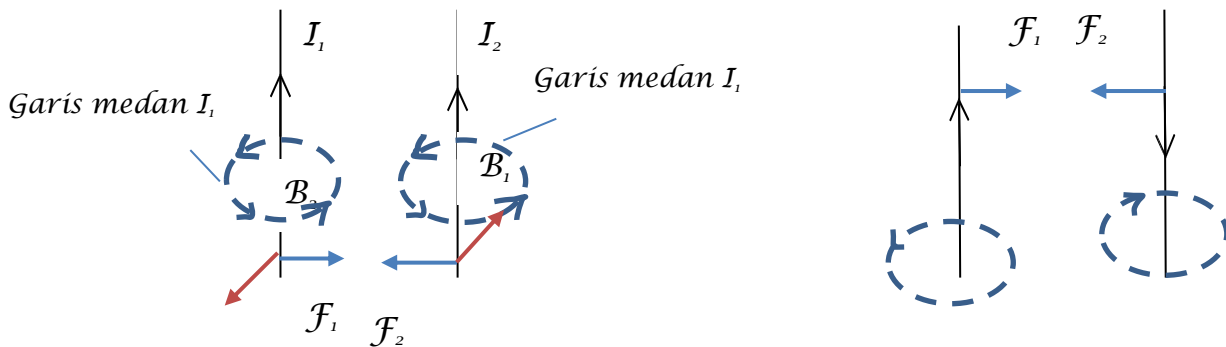
dengan L_2 adalah panjang kawat yang dialiri arus I_2 . Gaya Lorentz persatuan panjang yang bekerja pada kawat 2 adalah

$$f_{21} = \frac{F_{21}}{L_2}$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{a}$$



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



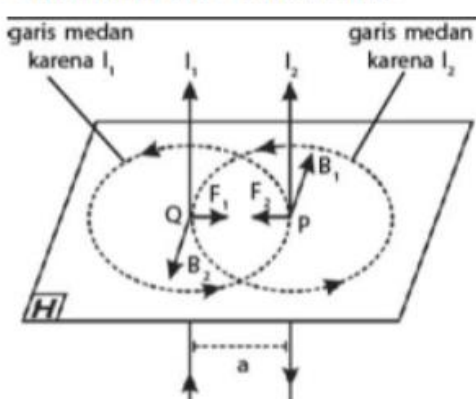
Keterangan:

I = arus listrik

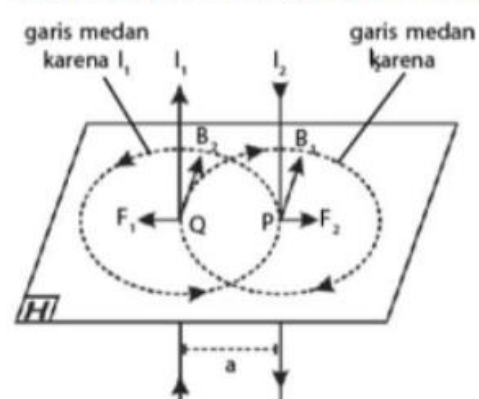
B = medan magnet

F = gaya Lorentz

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:

Ketika terdapat dua buah kawat dengan panjang l dialiri arus listrik sebesar I yang tiap kawat diletakkan pada suatu medan magnetik sebesar B , maka akan timbul gaya Lorentz berupa gaya tarik menarik ataupun tolak menolak tergantung dari arah arus listrik pada tiap kawat. Jika kedua kawat memiliki arah arus yang searah, maka akan mengalami gaya tarik menarik; apabila arah arus pada kedua kawat saling bertolak belakang/berlawanan, maka akan mengalami gaya tolak-menolak.