

SUMBER MEDAN MAGNET (SOURCES OF THE MAGNETIC FIELDS)
Mata Kuliah Elektrodinamika

Dosen Pengampu:
Dr. Doni Andra, M.Sc.
Dr. I Wayan Distrik, M.Si.



Disusun Oleh:
Alda Novita Sari
(2123022008)

MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tanpa kendala yang berarti. Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan sumbangan baik materi maupun pikirannya. Makalah ini merupakan sebuah tugas akhir dalam mata kuliah Elektrodinamika, yang disusun oleh penulis untuk menunjang proses belajar yang sedang dijalani.

Harapan penulis semoga makalah ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Karena keterbatasan pengetahuan, penulis yakin masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun isinya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca supaya penulisan makalah ini menjadi lebih baik lagi.

.

Bandar Lampung, 27 Juni 2022

Penulis

PEMBAHASAN

SUMBER MEDAN MAGNET (SOURCES OF THE MAGNETIC FIELDS)

A. Sumber Medan Magnet (Sources of The Magnetic Fields)

Sumber-Sumber Medan Magnet yaitu Arus dan Muatan Listrik

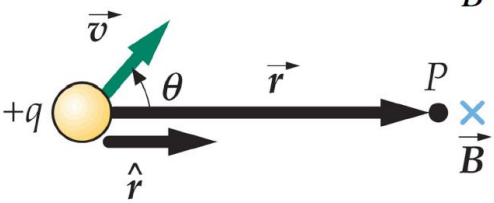
Menghasilkan Medan Magnet:

1. Medan Magnetik dari Suatu Muatan Bergerak (*Magnetic Field Caused by a Moving Charge*)
2. Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus Listrik (*Magnetic Field of Currents - Biot-Savart Law*)
3. Medan Magnet di Pusat Lingkaran (*Ring Current Magnetic Field at Center*)
4. Medan Magnet Sepanjang Sumbu Kawat Melingkar (*Ring Current Magnetic Field on Axis*)
5. Medan Magnet dalam Solenoida (*Magnetic Field of a Solenoid*)
6. Medan Magnet dalam Toroida (*Magnetic Field of a Toroidal*)

B. Pembahasan Sumber Medan Magnet (Sources of The Magnetic Fields)

1. Medan Magnetik dari Suatu Muatan Bergerak (*Magnetic Field Caused by a Moving Charge*)

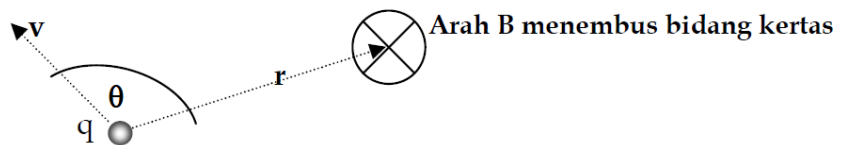
Medan magnet dapat dihasilkan dari suatu muatan listrik q yang bergerak dengan kecepatan v . Medan magnet yang dihasilkan pada jarak r dari muatan bergerak q adalah sebesar:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{\vec{v} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$


Gambar 1.

Rumus ini memberikan medan magnet di titik P pada titik waktu ketika partikel muatan berjarak r jauhnya.

dimana μ_0 adalah konstanta permeabilitas udara yang besarnya $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ r merupakan jarak dari muatan terhadap titik dimana medan magnet diukur dan $\hat{r}$ vektor satuan dengan arah tegak lurus permukaan yang dibentuk perkalian vektor $\mathbf{v}$ dan $\mathbf{r}$.



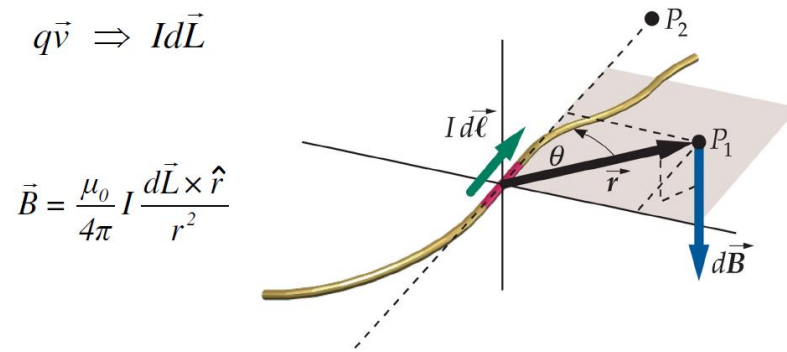
Gambar 2.

Arah medan magnet yang dihasilkan dari sebuah muatan listrik yang bergerak.

2. Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus Listrik (*Magnetic Field of Currents - Biot-Savart Law*)

Karena medan magnet dapat timbul pada muatan yang bergerak, maka dapat dipastikan bahwa kawat berarus listrik akan menimbulkan medan magnet, sebab arus merupakan muatan listrik yang bergerak. Hal ini pertama kali diamati oleh HC Oersted pada tahun 1820. Arah dari medan magnet dapat dilihat melalui aturan tangan kanan dengan ibu jari menunjuk arah arus listrik dan keempat jari lain yang mengepal menunjukkan arah medan magnet.

Besarnya medan magnet bergantung dari bentuk kawat berarus dan dapat dihitung dengan hukum *Biot-Savart*. Untuk kawat berarus, kita hanya menggantikan qv pada persamaan (1) diatas dengan elemen arus $I d\mathbf{l}$, karena keduanya identik, sehingga diperoleh:

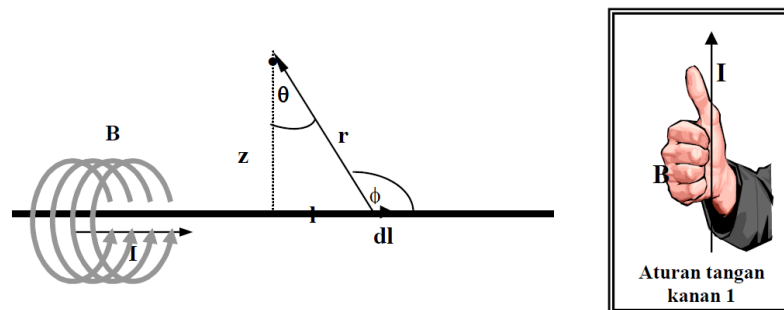


Gambar 3.

Ini adalah medan keadaan tunak karena meskipun ada gerakan muatan, arusnya konstan dalam waktu.

$$B(P) = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} I \int \frac{dl \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

r adalah jarak suatu titik dengan kawat berarus. Persamaan (2) ini dikenal sebagai hukum *Biot-Savart*. Salah satu contoh penggunaan paling sederhana adalah pada kawat lurus:



Gambar 4.

Kawat lurus berarus menimbulkan medan B yang arahnya melingkar menurut aturan tangan kanan

Pada gambar $dl \times r$ akan menghasilkan $dl \sin\phi$ atau $dl \cos\theta$ dan $l = z \tan\theta$ sehingga:

$$dl = \frac{z}{\cos^2\theta} d\theta \quad \text{dan} \quad \frac{z}{r} = \cos\theta \quad \text{sehingga} \quad \frac{1}{r^2} = \frac{\cos^2\theta}{z^2}$$

karena itu medan magnet sejauh z adalah:

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{4 \cdot \pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{\cos^2 \theta}{z^2} \right) \left(\frac{z}{\cos^2 \theta} \right) \cos \theta \cdot d\theta$$

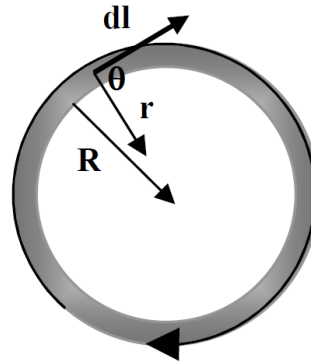
$$\boxed{B = \frac{\mu_o \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot z} (\sin \theta_2 + \sin \theta_1)}$$
 (3)

Jika dianggap panjang kawat tak berhingga dibanding z , maka $\theta_1 = \pi/2$ dan $\theta_2 = +\pi/2$. Karenanya:

$$\boxed{B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot z}}$$
 (4)

3. Medan Magnet di Pusat Lingkaran (*Ring Current Magnetic Field at Center*)

Untuk kawat yang dibentuk lingkaran, maka medan magnet di pusat lingkaran adalah:



Gambar 5.

Kawat lingkaran berarus listrik.

$$B(P) = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} I \int \frac{dl \times \hat{r}}{r^2}$$

Karena sudut θ yang dibentuk antara vektor dl dengan vektor satuan r pada setiap titik adalah 90° , maka $dl \times r$ akan menghasilkan:

$$dl \times \hat{r} = dl \sin 90^\circ = dl$$

Jika dl diintegrasikan untuk seluruh lingkaran maka total lintasan adalah keliling lingkaran $= 2\pi r$, maka:

$$B(\text{pusat}) = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} I \frac{2\pi}{r^2}$$

Maka medan magnet dari sebuah lingkaran kawat berarus listrik di pusat lingkaran adalah:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$dB_z \hat{k} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL \sin\theta}{R^2} \hat{k}$$

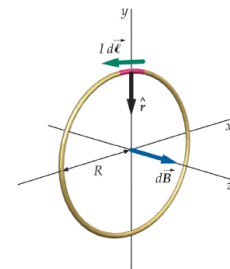
$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \oint dL$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$d\vec{L} \times \hat{r} = dL \sin\theta \hat{k}$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow \sin\theta = 1$$

$$d\vec{L} \times \hat{r} = dL \hat{k}$$

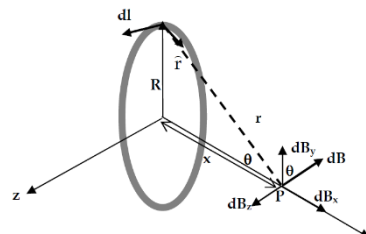


$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (5)$$

Sesuai dengan aturan tangan kanan 1, arah dari medan magnet menembus bidang kertas.

4. Medan Magnet Sepanjang Sumbu Kawat Melingkar (*Ring Current Magnetic Field on Axis*)

Untuk menghitung medan magnet pada suatu titik P sepanjang sumbu sejauh x dari pusat kawat lingkaran berarus berjari-jari R , kita gambarkan kembali sebuah kawat lingkaran berarus listrik sebagai berikut:



Gambar 6.

Medan magnet pada titik P sejauh x
dari sumbu sebuah kawat lingkaran beraus listrik

Dengan menggunakan hukum *Biot-Savart*:

$$d\mathbf{B}(P) = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} I \frac{d\mathbf{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

dimana r , yaitu jarak dari suatu titik dalam kawat ke titik P , menurut hukum segitiga *Phytagoras* dapat dituliskan sebagai:

$$r^2 = x^2 + R^2$$

sudut yang dibentuk vektor $d\mathbf{l}$ dengan vektor satuan $\hat{r}$ adalah 90° , sehingga:

$$d\mathbf{l} \times \hat{r} = dl \sin 90^\circ = dl$$

Sehingga:

$$d\mathbf{B}(P) = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} I \frac{dl}{x^2 + R^2}$$

Komponen medan magnet yang akan kita hitung hanyalah arah x saja dB_x , mengingat medan magnet arah z akan saling menghilangkan, demikian pula medan magnet pada arah y .

Untuk medan magnet komponen- x di P berlaku:

$$dB_x = dB \cdot \sin \theta = dB \frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}}$$

Dengan Demikian:

$$\begin{aligned} dB_x &= \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} I \frac{dl}{x^2 + R^2} \frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} \\ &= \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \frac{IR}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dl \end{aligned}$$

Jika kita lakukan proses integrasi pada dl untuk seluruh lingkaran, nilai x dan R tidak akan berubah sehingga dapat dianggap konstanta, sehingga:

$$B_x = \int_{\text{lingkaran}} dB_x = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \frac{IR}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \int_{\text{lingkaran}} dl$$

integral lingkaran dari dl adalah keliling lingkaran yakni $2\pi r$, sehingga:

$$B_x = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \frac{IR}{(x^2 + R^2)^{3/2}} 2\pi R$$

Sehingga medan magnet:

$$\boxed{B_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}}} \quad (6)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$|d\vec{B}| = dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I |d\vec{L} \times \hat{r}|}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL}{(z^2 + R^2)}$$

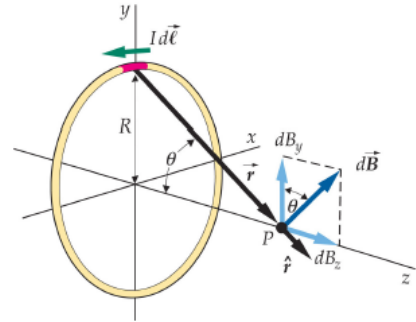
$$dB_z = dB \sin \theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL}{(z^2 + R^2)} \left(\frac{R}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right)$$

$$dB_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IRdL}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

$$B_z = \oint dB_z = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IRdL}{(z^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{(z^2 + R^2)^{3/2}} \oint dL$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

Perhatikan bahwa medan sebanding dengan I dan faktor $\mu_0/4\pi$ tetap bersama meskipun diatas 2π .



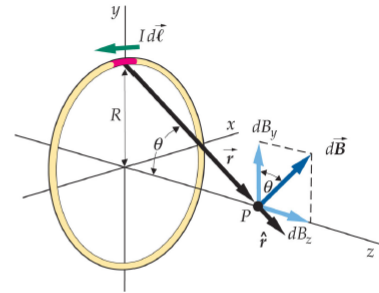
$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

Jauh dari loop, medan mengambil bentuk medan dipol.

$$Z \gg R$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{z^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mu}{z^3}$$

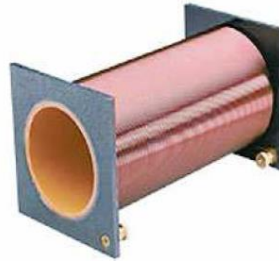
dimana $\mu = \pi R^2 I$ adalah momen magnet



5. Medan Magnet dalam Solenoida (*Magnetic Field of a Solenoid*)

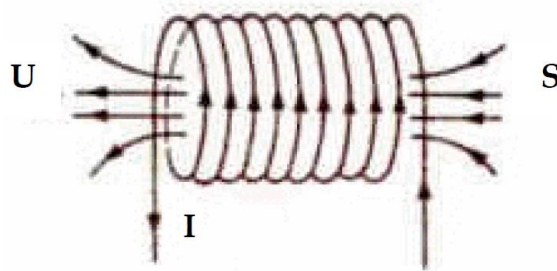
Solenoida adalah induktor yang terdiri gulungan kawat yang kadang di dalamnya dimasukkan sebuah batang besi berbentuk silinder sebagai dengan tujuan memperkuat medan magnet yang dihasilkannya seperti terlihat dalam gambar 7 di samping. Solenoida digunakan dalam banyak perangkat elektronika seperti bel pintu atau pengeras suara.

Secara skematik bentuk dari solenoida dapat dilihat pada gambar 8 dimana solenoida terdiri dari n buah lilitan kawat berarus listrik I , medan magnet yang dihasilkan memiliki arah seperti pada gambar, di mana kutub utara magnet mengikuti aturan tangan kanan 1.



Gambar 7.

Solenoida dengan inti besi.

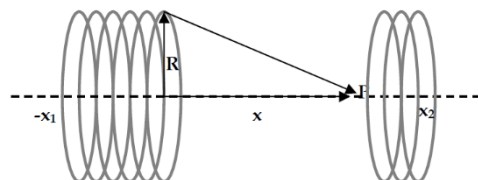


Gambar 8.

Solenoida dengan banyaknya lilitan n .

Besarnya kuat medan magnet yang dihasilkan pada sebuah titik P pada sumbu di dalam solenoida dapat dipikirkan sebagai jumlah dari medan magnet yang dihasilkan sebuah kawat berbentuk lingkaran yang telah kita hitung sebelumnya, dengan x yang berubah, sehingga dari persamaan (5):

$$dB_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx$$

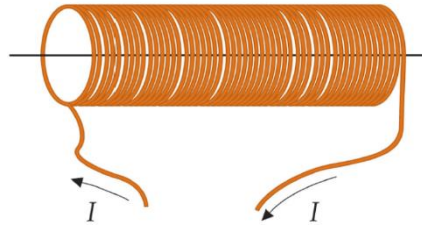


Gambar 9.

Medan Magnet dalam Suatu Solenoida

Jika solenoida memiliki panjang L yang terdiri dari N buah lilitan, maka jumlah lilitan persatuan panjang sebut saja n adalah $n=N/L$.

Loop density = $n = N/L$ = numbers of loops / length of coil



Gambar 10.

Magnetic Solenoid as Multiple Coils

Maka jika kita jumlahkan seluruh lilitan sebanyak ndx , kita harus melakukan integrasi untuk seluruh dx dari $-x_1$ ke x_2 :

$$dB_x = \frac{\mu_o}{4\pi} 2\pi n I R^2 \int_{-x_1}^{x_2} \frac{1}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx$$

hasil dari bentuk integral ini dapat dilihat pada tabel-tabel integral baku pada buku kalkulus, di mana berlaku:

$$\int_{-x_1}^{x_2} \frac{1}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx = \frac{x}{R^2 \sqrt{x^2 + R^2}}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_o}{4\pi} 2\pi n I R^2 \left. \frac{x}{R^2 \sqrt{x^2 + R^2}} \right|_{-x_1}^{x_2} \\ &= \frac{\mu_o n I}{2} \left(\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right) \end{aligned}$$

Sehingga medan magnet di tengah sumbu solenoida adalah:

$$\boxed{B = \frac{\mu_o n I}{2} \left(\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right)} \quad (7)$$

Jika jari jari solenoida R kita anggap jauh lebih kecil dari x_1 dan x_2 , maka suku pertama dalam kurung pada persamaan terakhir dapat didekati:

$$\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} \approx \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2}} = 1$$

begitu juga suku kedua, sehingga:

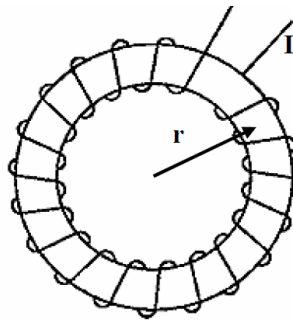
$$B_x = \frac{\mu_o n I}{2} (2)$$

dengan demikian kita peroleh kuat medan magnet untuk solenoida dengan jumlah lilitan persatuan panjang n adalah:

$$B = \mu_o \cdot n \cdot I \quad (8)$$

6. Medan Magnet dalam Toroida (*Magnetic Field of a Toroidal*)

Toroida adalah kawat berarus yang dililitkan pada bahan berbentuk donat seperti pada gambar 11 di bawah:



Gambar 11.

Toroida berjari-jari r

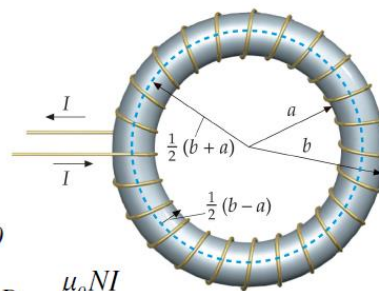
$$B_t \oint_C dL = B_t 2\pi r = \mu_o I_C$$

$$B_t = \frac{\mu_o I_C}{2\pi r}$$

$$\text{for } r < a, \quad I_C = 0 \Rightarrow B_t = 0$$

$$\text{for } a < r < b, \quad I_C = NI \Rightarrow B_t = \frac{\mu_o NI}{2\pi r}$$

$$\text{for } b < r, \quad I_C = 0 \Rightarrow B_t = 0$$



Tanpa penurunan, medan magnet di dalam toroida adalah:

$$B = \frac{\mu_o \cdot N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (9)$$

C. Contoh Soal:

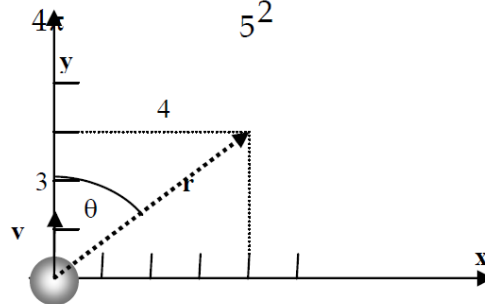
1. Medan Magnetik dari Suatu Muatan Bergerak (*Magnetic Field Caused by a Moving Charge*)

Conso 1:

Muatan listrik dengan $q = 5 \text{ nC}$ bergerak dengan kecepatan $5 \times 10^7 \text{ m/s}$ sepanjang sumbu y positif, hitunglah besarnya medan magnet di titik (4,3) jika muatan sedang berada di titik pusat (0,0).

$$|B| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q(\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}})}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \cdot r \cdot \sin \theta}{r^2}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} (5 \times 10^{-9}) (5 \times 10^7 \times 5)}{5^2}$$



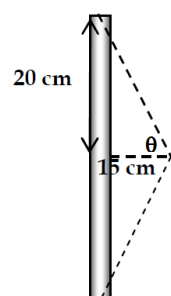
Arah dari medan ini menembus bidang kertas. Anda juga dapat mengerjakan ini melalui operasi vektor.

2. Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus Listrik (*Magnetic Field of Currents - Biot-Savart Law*)

Conso:

Sebuah sepanjang 40 cm dialiri arus listrik 2 Ampere , hitunglah medan magnet yang dihasilkan sejauh 15 cm disebelah kanan kawat tersebut.

Penyelesaian:



Dari gambar di samping sinus θ yang dibentuk adalah $20/25$ atau $4/5$, melalui persamaan (3)

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot z} (\sin \theta_2 + \sin \theta_1)$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2}{4\pi \cdot 15} (0,4) \approx 5,3 \times 10^{-9} \text{ T}$$

3. Medan Magnet di Pusat Lingkaran (*Ring Current Magnetic Field at Center*)

Conso:

Sebuah kawat melingkar berjari-jari 5 cm dialiri arus listrik sebesar 4 Ampere, hitunglah medan magnet pada pusat lingkaran!

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (5):

$$B = \frac{\mu_o I}{2R} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(4)}{2(5 \times 10^{-2})} = 1,6\pi \times 10^{-5}$$

dimana π adalah 3,14.

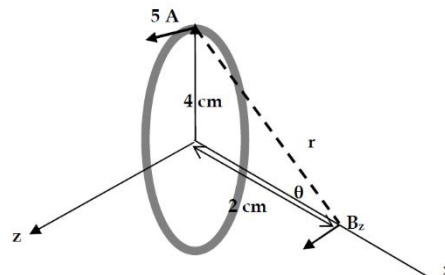
4. Medan Magnet Sepanjang Sumbu Kawat Melingkar (*Ring Current Magnetic Field on Axis*)

Conso:

Sebuah kawat melingkar berjari-jari 4 cm dialiri arus listrik sebesar 5 Ampere, hitunglah medan magnet sejauh 2 cm pada sumbu lingkaran dari pusat lingkaran.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (6):



$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi I R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \\ &= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \frac{2\pi(5)(4 \times 10^{-2})^2}{((2 \times 10^{-2})^2 + (4 \times 10^{-2})^2)^{3/2}} \\ &= \frac{160\pi \times 10^{-11}}{(20 \times 10^{-4})^{3/2}} \approx 5,62 \times 10^{-5} \text{ T} \end{aligned}$$

5. Medan Magnet dalam Solenoida (*Magnetic Field of a Solenoid*)

Conso:

Sebuah solenoida dengan jari-jari 1 cm dan panjang 5 cm terdiri dari 500 lilitan menyalurkan arus listrik sebesar 5 Ampere . Hitunglah medan magnet yang dihasilkan di pusat solenoida!

Penyelesaian:

Kita dalam hal ini tidak menganggap jari-jari solenoida R jauh lebih kecil dari L , sehingga persamaan (8) tidak bisa kita gunakan. Dengan meletakkan pusat solenoida pada pusat koordinat, maka melalui persamaan (7):

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left(\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right)$$

ingat bahwa n adalah banyaknya lilitan persatuan panjang sehingga:

$$\begin{aligned} B &= \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \frac{500}{0,05} 5}{2} \left(\frac{2,5}{\sqrt{2,5^2 + 1^2}} + \frac{2,5}{\sqrt{2,5^2 + 1^2}} \right) \\ &= \pi \times 10^{-2} \frac{5}{\sqrt{7,25}} \approx 5,83 \times 10^{-2} \text{ T} \end{aligned}$$

6. Medan Magnet dalam Toroida (*Magnetic Field of a Toroidal*)

Di dalam sebuah toroida yang berjari-jari 10 cm terdapat medan magnet $2 \times 10^{-3}\text{ T}$. Jumlah lilitan toroida 200 lilitan. Besar arus pada toroida adalah?

Penyelesaian:

Rumus medan magnet di dalam toroida adalah:

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi a}$$

Kita rubah bentuk persamannya karena yang ditanyakan adalah besar arus pada toroida:

$$i = \frac{B 2\pi a}{\mu_0 N}$$

Bisa kita hitung sambil mengubah satuan jari-jari dalam meter:

$$i = \frac{2 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 0,1}{4\pi \times 10^{-7} \times 200}$$

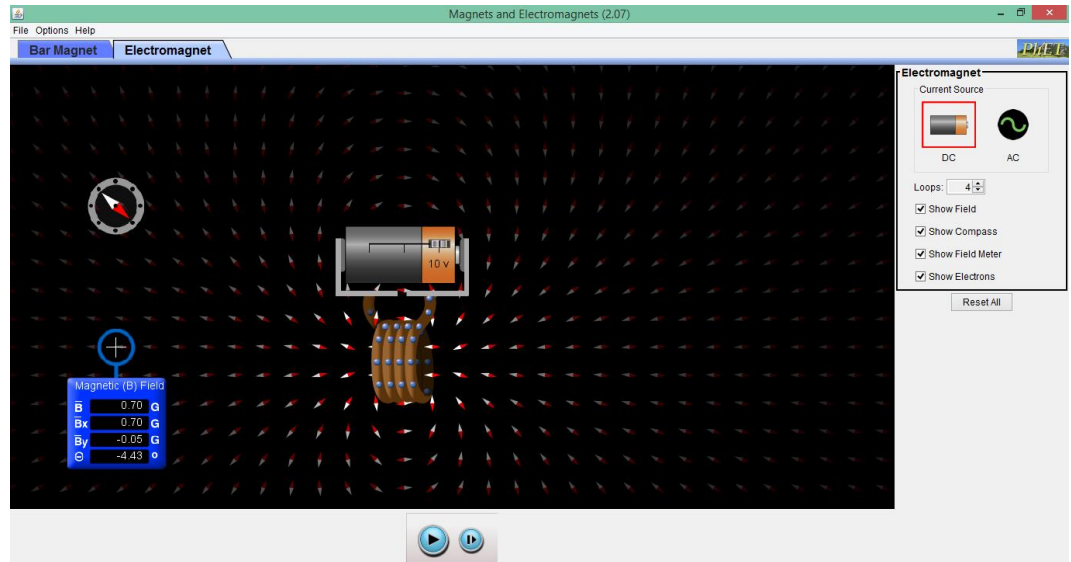
Besar arus pada toroida adalah:

$$i = 10\text{ A}$$

D. Percobaan menggunakan *Phet Simulation*

Berikut Link Percobaan *Magnetic Field* melalui *Phet Simulation*:

<http://www2.episd.us/robotics/phet/en/simulation/magnets-and-electromagnets.html>



E. Video Pembelajaran Sumber Medan Magnet (*Sources of The Magnetic Fields*)

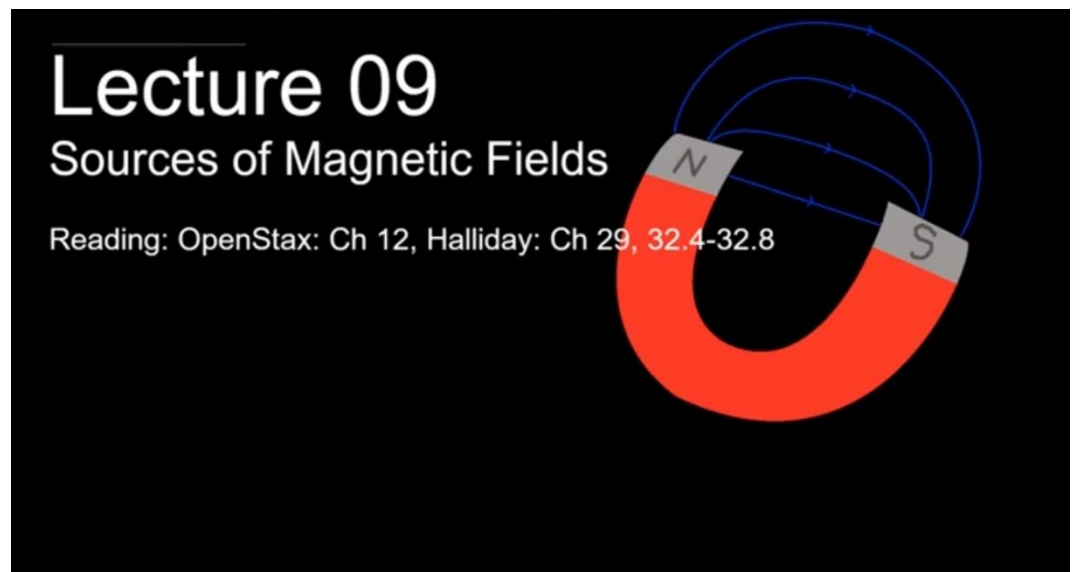
Video 1 Pembelajaran Sumber Medan Magnet:

<https://youtu.be/nDCRdJr9ono>



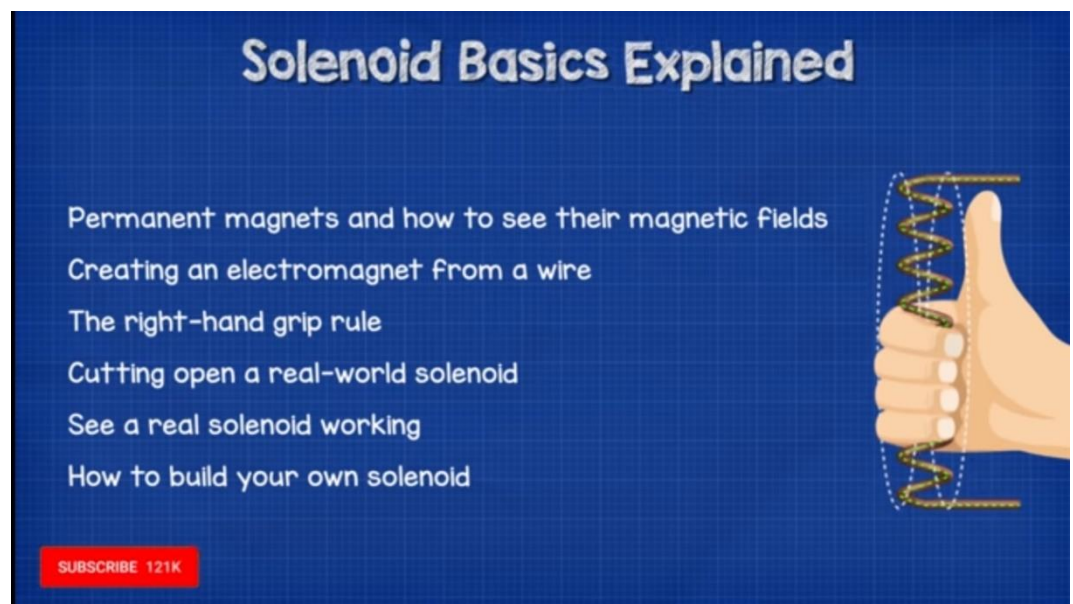
Video 2 Pembelajaran Sumber Medan Magnet:

<https://youtu.be/VgbvGgPc0y4>



Video 3 Pembelajaran Medan Magnet dalam Solenoida:

<https://youtu.be/BbmocfETTfo>



DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, D.C., 2014. *Physics Principles with Applications Seventh Edition*. Pearson Education, Inc: The United States of America.

Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. 2011. *Fundamental of Physics Edition 9th*. John Wiley & Sons, Inc: The United States of America.

MFMcGraw-PHY 2426 Ch29a – *Sources of Magnetic Field*.

Phet Simulation Magnetic Field:

<http://www2.episd.us/robotics/phet/en/simulation/magnets-and-electromagnets.html>

YouTube Sources of Magnetic Fields:

<https://youtu.be/nDCRdJr9ono>

<https://youtu.be/VgbvGgPc0y4>

YouTube Magnetic Field of a Solenoid:

<https://youtu.be/BbmocfETTfo>