

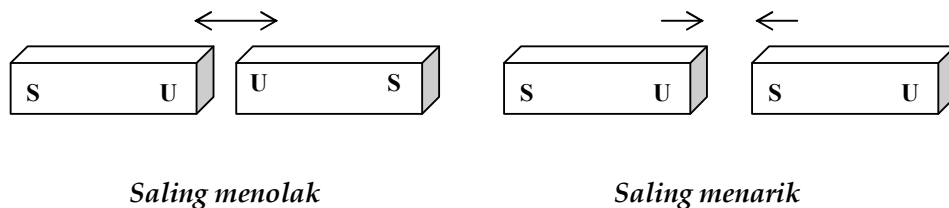
## 1. PENDAHULUAN

Gejala magnetisme, seperti halnya listrik, juga telah diamati manusia beberapa abad sebelum masehi. Sebuah material berwarna hitam yang disebut lodestone dapat menarik besi dan benda-benda logam lainnya.

Tahun 1269, de Maricourt melakukan studi tentang magnet dan mengamati adanya sepasang kutub pada benda magnetik. Kutub-kutub ini kemudian dinamakan dengan “kutub utara” dan “kutub selatan”. Jika kutub yang sama didekatkan maka akan saling menolak, dan sebaliknya jika kutub yang berlainan didekatkan akan saling menarik

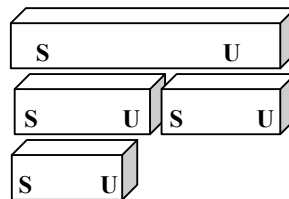


Gb 6.1  
Lodestone



Gb. 6.2 Gaya saling-tolak dan saling-tarik pada magnet, serupa dengan gaya Coulomb dalam Elektrostatik

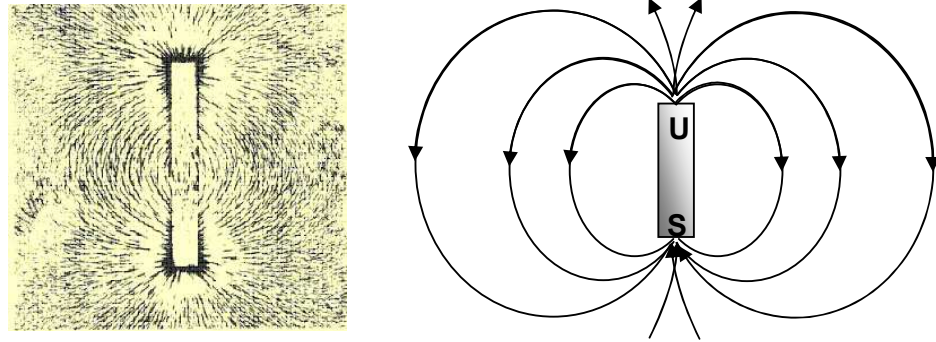
Gaya saling menolak dan saling menarik menyerupai fenomena listrik statis (gaya Coulomb) yang telah kita pelajari pada awal kuliah semester ini. Meskipun begitu ada perbedaan cukup penting antara sumber dari gaya (medan) magnet dengan gaya (medan) listrik, yaitu pada magnet kutub utara dan selatan tidak bisa terpisahkan dan selalu berpasangan, berbeda halnya dengan gaya listrik (Coulomb) yang masing-masing muatan (positif dan negatif) bisa terpisah, pada magnet kutub positif selalu muncul berpasangan, bahkan jika sebuah bahan (batang) magnetik dipotong sedemikian rupa, selalu saja muncul sepasang kutub



Gb. 6.3 Dalam Magnet Tidak Terdapat Unipolar (Satu Kutub Terpisah) Seperti Dalam Listrik

Pasangan kutub ini dikenal dengan istilah dipole magnet (di = dua, pole = kutub). Dalam magnet tidak (belum) ditemukan kutub tunggal (monopol) berbeda dengan listrik yang memiliki monopol.

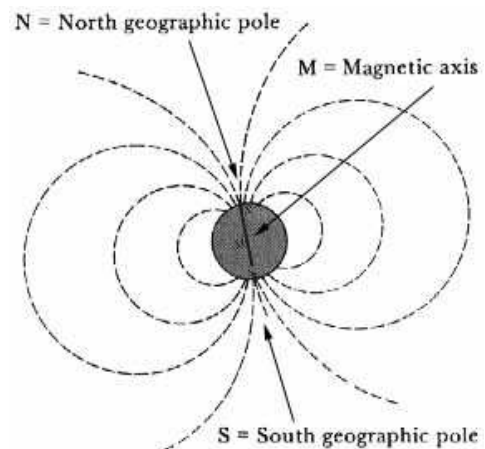
Sebagaimana pada muatan listrik, sebuah dipol magnet (yang merupakan satuan terkecil magnet) memiliki medan magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan selatan, Hal ini mirip seperti pada muatan listrik positif, medan listrik mengarah keluar menjauhi muatan, dan pada muatan negatif sebaliknya.



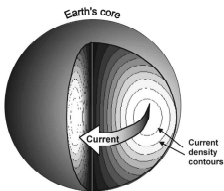
**Gb. 6.4 Gaya saling-tolak dan saling-tarik pada magnet, serupa dengan gaya Coulomb dalam Elektrostatik**

Benda-benda logam (magnetik) yang berada di sekitar medan magnet akan mengalami gaya magnetik, seperti halnya gaya coulomb pada listrik.

Dalam bukunya *de magnete*, William Gilbert menganalogikan bumi kita sebagai sebuah dipol magnetik raksasa, dengan kutub utara magnetik berbeda sekitar  $11,5^\circ$  dari kutub utara geografis bumi.



**Gb 6.5 Kutub geografis dan kutub magnetis berselisih sekitar  $11,5^\circ$**



**Gb. 6.6 arah putaran lelehan logam dalam perut bumi**

Pertanyaan yang paling wajar diajukan adalah, mengapa bumi bersifat magnetik ? Dari sekian banyak penyebab (sumber) magnet

bumi, yang penyebab terbesar adalah karena faktor perputaran inti bumi yang bersifat cair. Inti cair bumi terdiri dari lelehan besi dan nikel bertemperatur  $5000^\circ\text{C}$  yang berputar sedemikian sehingga menghasilkan medan magnet yang arahnya dari selatan menuju utara bumi.

Karena lelehan besi dan nikel ini mengandung sejumlah *muatan listrik yang berputar mengelilingi sumbunya* maka akan timbul medan magnet yang arahnya

sesuai dengan aturan tangan kanan, yang membuat bumi menjadi sebuah magnet raksasa dengan kutub-selatan magnet di utara, dan kutub-utara magnet di selatan (meskipun kita katakan kutub utara magnet di utara karena kompas kita menunjuk ke sana). Keberadaan medan magnetik bumi inilah yang melindungi kita dari radiasi elektromagnetik matahari atau dikenal sebagai sabuk Van Allen.

Dalam bab ini akan dijelaskan bahwa gejala kemagnetan dengan gejala kelistrikan, seperti yang kita pelajari sebelumnya, memiliki keterkaitan yang sangat erat. Pemahaman bahwa listrik dapat menimbulkan medan magnet diselidiki oleh beberapa fisikawan seperti Oersted, Biot-Savart, Ampere dan lain-lain. Sebaliknya dalam bab 7 akan dijelaskan bahwa, pengetahuan bahwa medan magnet dapat menimbulkan arus listrik ditemukan oleh fisikawan lain seperti Lenz, Faraday, Henry dan lain-lain. Namun pada akhirnya, fisikawan yang "menabuh gong" final keterkaitan listrik dengan magnet sebagai gejala "elektromagnetik" adalah Maxwell.

## 2. SUMBER-SUMBER MEDAN MAGNET : ARUS DAN MUATAN LISTRIK MENGHASILKAN MEDAN MAGNET

### 2.1 Medan Magnetik Dari Suatu Muatan Bergerak

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

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

di mana  $\mu_0$  adalah konstanta permeabilitas udara yang besarnya  $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ .  $r$  merupakan jarak dari muatan terhadap titik di mana medan magnet diukur dan  $\hat{\mathbf{r}}$  vektor satuan dengan arah tegak lurus permukaan yang dibentuk perkalian vektor  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{r}$ .



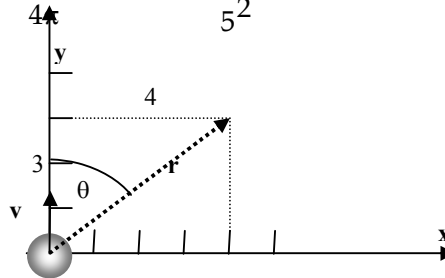
Gb. 6.7 Arah medan magnet yang dihasilkan dari sebuah muatan listrik yang bergerak

**Contoh :**

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.

**2.2 Medan Magnet Di Sekitar Kawat Berarus Listrik**

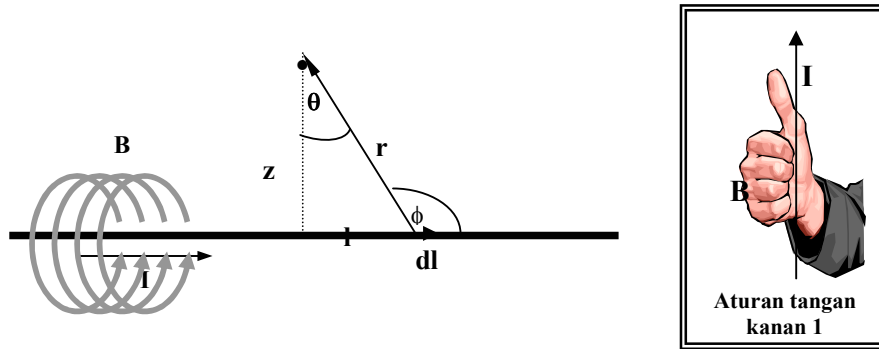
Karena medan magnet dapat timbul pada muatan yang bergerak, maka dapat dipastikan bahwa kawat berarus listrik akan menimbulkan medan magnet, sebab arus merupakan muatan listrik yang bergerak. Hal ini pertama kali diamati oleh HC. Oersted pada tahun 1820. Arah dari medan magnet dapat dilihat melalui aturan 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) di atas dengan elemen arus  $I d\mathbf{l}$ , karena keduanya identik, sehingga diperoleh :

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

$r$  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 :



Gb 6.8 Kawat lurus berarus menimbulkan medan B yang arahnya melingkar menurut aturan tangan kanan

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

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

karena itu medan magnet sejauh z adalah :

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

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

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

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

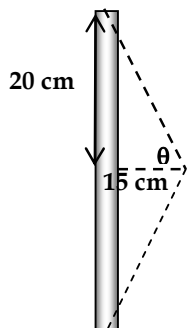
Contoh :

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

Jawab :

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

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_o \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot z} (\sin\theta_2 + \sin\theta_1) \\ &= \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2}{4\pi \cdot 15} (0,4) \approx 5,3 \times 10^{-9} \text{ T} \end{aligned}$$



### 2.3 Kawat Lingkaran Barus Listrik

#### Medan Magnet Di Pusat Lingkaran

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

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

Karena sudut  $\theta$  yang dibentuk antara vektor  $dl$  dengan vektor satuan  $r$  pada setiap titik adalah  $90^\circ$ , 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 :

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

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

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

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

Contoh :

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

Jawab :

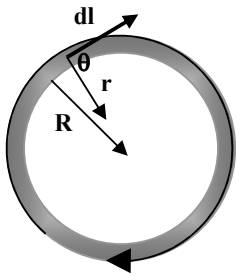
Dengan menggunakan persamaan (5) :

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

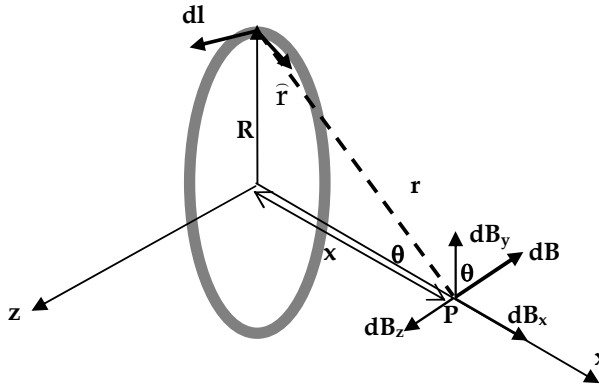
di mana  $\pi$  adalah 3,14.

#### Medan Magnet Sepanjang Sumbu Kawat Melingkar

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 :



Gb 6.9 Kawat lingkaran berarus listrik



Gb 6.10 Medan Magnet pada titik P Sejauh x dari sumbu sebuah kawat lingkaran beraus listrik

Dengan menggunakan hukum Biot-Savart :

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

di mana 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 dl dengan vektor satuan  $\hat{r}$  adalah  $90^\circ$ , sehingga :

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

sehingga :

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

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 hubungan :

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

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

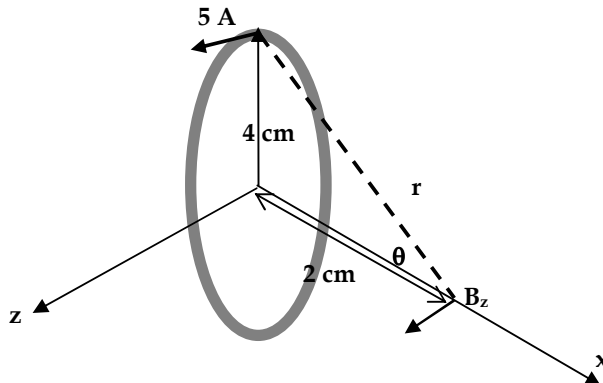
$$B_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (6)$$

Contoh :

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

Jawab :

Dengan menggunakan persamaan (6) :



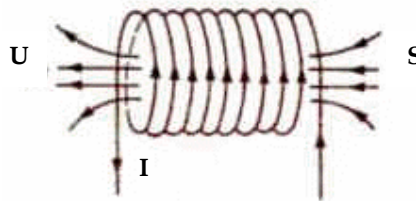
$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \\ &= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \frac{2\pi(5)(4 \times 10^{-2})^2}{((2 \times 10^{-2})^2 + (4 \times 10^{-2})^2)^{3/2}} \\ &= \frac{160\pi \times 10^{-11}}{(20 \times 10^{-4})^{3/2}} \approx 5,62 \times 10^{-5} \text{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



**Gb 6.11 Solenoida dengan inti besi**

## 2.4 Solenoida

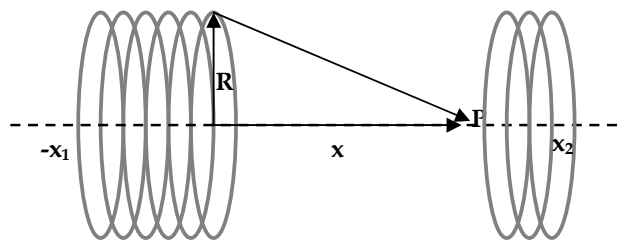
Solenoida adalah induktor yang terdiri gulungan kawat yang kadang di dalamnya dimasukkan sebuah batang besi berbentuk silinder sebagai dengan tujuan memperkuat medan magnet yang dihasilkannya seperti terlihat dalam gambar 6.11 di samping. Solenoida digunakan dalam banyak perangkat elektronika seperti bel pintu atau pengeras suara. Secara skematik bentuk dari solenoida dapat dilihat pada gambar 6.12 di mana 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.



**Gb. 6.12 Solenoida dengan banyaknya lilitan  $n$**

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

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx$$



**Gb. 6.13 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  $n=N/L$ . Maka jika kita jumlahkan seluruh lilitan sebanyak  $ndx$ , kita harus melakukan integrasi untuk seluruh  $dx$  dari  $-x_1$  ke  $x_2$  :

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi} 2\pi n I R^2 \int_{-x_1}^{x_2} \frac{1}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx$$

hasil dari bentuk integral ini dapat dilihat pada tabel-tabel integral baku pada buku kalkulus anda, 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 :

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_0}{4\pi} 2\pi n I R^2 \left. \frac{x}{R^2 \sqrt{x^2 + R^2}} \right|_{-x_1}^{x_2} \\ &= \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right) \end{aligned}$$

Sehingga medan magnet di tengah sumbu solenoida adalah :

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right)} \quad (7)$$

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 :

$$B_x = \frac{\mu_0 n I}{2} (2)$$

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

$$\boxed{B = \mu_0 \cdot n \cdot I} \quad (8)$$

Contoh :

*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.*

Jawab :

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) :

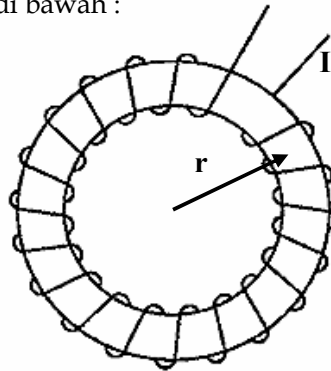
$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right)$$

ingat bahwa  $n$  adalah banyaknya lilitan persatuan panjang sehingga :

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

## 2.5 Toroida

Toroida adalah kawat berarus yang dililitkan pada bahan berbentuk donat seperti pada gambar 6.14 di bawah :



Gb. 6.14 Toroida Berjari-jari  $r$

Tanpa penurunan, medan magnet di dalam toroida adalah :

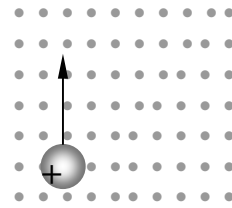
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

(9)

## Soal-Soal

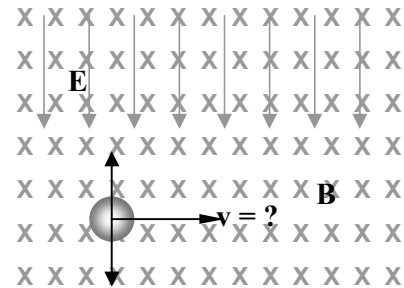
- Medan magnet homogen  $B = 3 \text{ G}$  dalam arah sumbu  $x$  positif. Sebuah proton ( $q = +e$ ) bergerak di dalamnya dengan kelajuan  $5 \times 10^6 \text{ m/s}$  dalam arah  $+y$ .
  - Tentukan besar dan arah gaya magnetik yang dialami proton
  - Berapa besar dan arah gaya magnetik jika proton diganti dengan elektron

- Gambar di samping adalah proton ( $q = +e$ ,  $m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) dengan laju  $5 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Proton bergerak dalam arah medan magnet yang tegak lurus dan keluar dari kertas,  $B = 30 \text{ G}$ . Bagaimanakah lintasan yang ditempuh proton



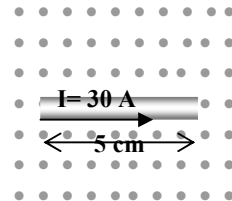
- Arus dalam tabung sinar katoda (arus = elektron yg bergerak) oleh medan magnet homogen  $B = 4,5 \times 10^{-3} \text{ T}$  dibentuk menjadi lingkaran berjari-jari  $2 \text{ cm}$ . Berapakah laju electron itu ?

- Gambar di samping menunjukkan berkas partikel bermuatan  $q$  yang memasuki medan listrik homogen dan berarah ke bawah. Besarnya  $E = 80 \text{ kV/m}$ . Tegak lurus  $E$  dengan arah masuk kertas gambar terdapat pula medan magnet  $B = 0,4 \text{ T}$ . Dengan

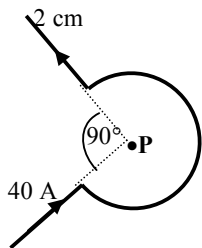


memilih kecepatan partikel dengan tepat, dapat diperoleh bahwa partikel itu tidak mengalami pembelokan apapun. Berapakah kecepatan itu ? (Alat ini dinamakan velocity selector)

- Sebuah proton ( $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ ) dengan laju  $8 \times 10^6 \text{ m/s}$  memasuki medan magnet  $B = 0,15 \text{ T}$  (dengan arah  $+x$ ) dengan sudut  $30^\circ$ . Lintasan seperti apa yang ditempuh proton itu ?



6. Medan magnet pada gambar di samping sebesar 0,8 T berarah keluar kertas gambar. Di dalam medan magnet, kawat sepanjang 5 cm diketahui dialiri arus 30 A. Hitunglah besar dan arah gaya yang dialami kawat sepanjang 5 cm tersebut.
7. Hitunglah medan magnetik dari suatu kawat berarus 15 A sejauh 5 cm dari kawat tersebut
8. Sebuah kumparan terdiri dari 40 lilitan berdiameter 32 cm. Berapakah arus yang harus mengalir padanya agar pada titik pusat kumparan timbul medan magnet  $3 \times 10^{-4}$  T ?
9. Suatu solenoida memiliki 2000 lilitan, panjangnya 60 cm dan lilitannya berdiameter 2 cm, jika dialiri arus 5 A, berapakah medan magnet dalam solenoida tersebut.
10. Menurut model Bohr, pada atom H, elektron mengelilingi inti dengan jari-jari  $5,3 \times 10^{-11}$  m dengan laju  $2,2 \times 10^6$  m/s. Gerak electron ini menyebabkan medan magnet di sekitarnya. Berapakah medan magnet yang ditimbulkannya
11. Solenoida dengan panjang 20 cm dan jari-jari 2 cm serta lilitan sebanyak 250 lilitan mengalirkan arus sebesar 5 Ampere. Hitunglah medan magnet B pada titik :
  - a. pusat solenoida
  - b. 5 cm dari salah satu ujungnya
  - c. Pada ujung solenoida
12. Dua kawat lurus panjang dipasang sejajar berjarak 10 cm satu sama lain kawat A dialiri arus 6 A dan kawat B dialiri 4 A. Tentukan gaya yang dialami kawat B sepanjang 1 m jika arah arus



- a. Searah
  - b. Berlawanan arah
13. Gambar di samping menunjukkan sebarang kawat berbentuk  $\frac{3}{4}$  lingkaran yang dihubungkan dengan kawat lurus di kedua ujungnya. Kawat tersebut dialiri arus sebesar 40 A. Hitung kuat medan di P
14. Sebuah Toroida dengan jari-jari bagian dalam 2 cm dan jari-jari bagian luar 2,5 cm memiliki jumlah lilitan 500 lilitan serta menyalurkan arus 2 Ampere, hitunglah medan magnet pada pusat Toroida