

**TUGAS ELEKTRODINAMIKA**  
**LKM 2**

**Dosen Pengampu**  
**Dr. I Wayan Distrik, M.Si**



**Oleh:**  
**IRMANSYAH KAROROR**  
**(2123025010)**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KEGURUAN IPA**  
**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN**  
**UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**2022**

## A. Konsep Medan Magnet

### 1. Medan magnet oleh muatan bergerak

Arus listrik dapat dipandang sebagai partikel bermuatan yang bergerak, sehingga partikel bermuatan yang bergerak di dalam suatu daerah medan magnetik akan mengalami gaya Lorentz. Besarnya gaya yang dialami partikel bermuatan tersebut dinyatakan oleh:

$$\begin{aligned} F &= qv \times B \\ &= qvB \sin \theta \end{aligned}$$

Arah gaya yang dialami partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnetik adalah sesuai dengan kaidah tangan kanan kedua, dengan arah ibu jari menunjukkan kecepatan partikel ( $v$ ). Hal yang perlu diperhatikan adalah; Jika partikel bermuatan positif (misal proton), maka arah gaya Lorentz searah dengan gaya  $F$  yang diperoleh dari kaidah tangan kanan kedua. Tetapi jika partikel bermuatan negatif (misal elektron), maka arah gaya Lorentz berlawanan arah dengan gaya  $F$  yang diperoleh dari kaidah tangan kanan kedua.

Bentuk lintasan partikel bermuatan dalam suatu medan magnet tergantung pada arah gerak partikel tersebut saat memasuki medan magnetik.

- Jika partikel bermuatan bergerak sejajar terhadap medan magnet, maka lintasan partikel adalah berupa garis lurus. Hal ini terjadi karena partikel tidak mengalami gaya ( $F = 0$ ) akibat  $\theta = 0^\circ$  sehingga  $\sin \theta = 0$
- Jika partikel bermuatan bergerak tegak lurus terhadap medan magnet, maka lintasan partikel adalah berupa lingkaran dengan jari-jari lintasannya diberikan oleh:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

- Jika partikel bermuatan bergerak dengan membentuk sudut terhadap medan magnet, maka lintasan partikel adalah berupa heliks

### 2. Konsep medan magnet

Persamaan berikut:

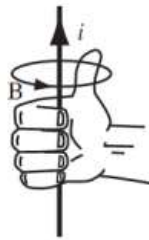
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times \hat{r}}{r^2} = k \frac{qv \times \hat{r}}{r^2}$$

Persamaan diatas berkaitan dengan konsep medan magnet yang ketika muatan ( $q$ ) bergerak dengan kecepatan ( $v$ ) maka menghasilkan medan magnet yang disimbolkan dengan ( $B$ ).  $\hat{r}$  merupakan vektor satuan yang mengarah dari muatan  $q$  ketitik medan  $P$ , dan  $k$  merupakan konstanta kesebandingan yang disebut permeabilitas ruang bebas.

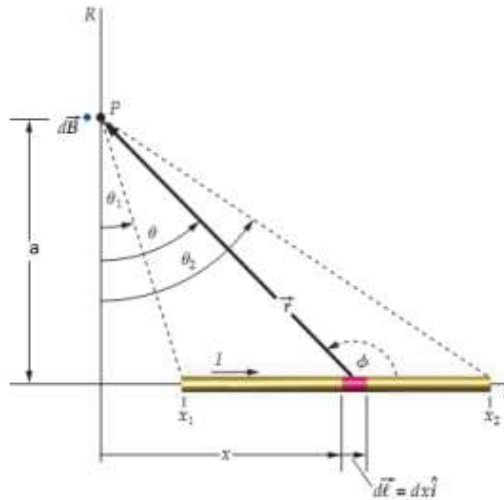
### 3. Medan magnet oleh arus listrik

#### Percobaan Oersted

Jika diatas suatu kompas dibentangkan sebuah kawat secara sejajar, maka jika kawat tersebut dialiri arus listrik, maka jarum kompas akan menyimpang. Hal ini menunjukkan adanya medan magnetik di sekitar arus listrik. Arah garis-garis medan magnetik yang terdapat di sekitar kawat berarus sesuai dengan kaidah tangan kanan atau aturan sekrup putar kanan. Kaidah Tangan Kanan pertama yaitu Arah ibu jari menunjukkan arah arus listrik dan arah lipatan jari-jari yang lainnya menunjukkan arah putaran garis-garis medan magnetik.



### 4. Medan magnet pada kawat lurus panjang



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

dengan

$B$ ; induksi magnetik ( $Wb/m^2$  atau T)

$\mu_0$ ; permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$ )

$I$ ; kuat arus yang melalui penghantar (A)

$a$  ; jarak titik ke penghantar (m)

Untuk mendapat konsep rumus diatas. kita melihat pada gambar bahwa  $dL$ ,  $r$ , maupun  $\sin \theta$  merupakan sebuah variabel. Jarak tegak lurus titik P ke kawat disimbolkan sebagai  $a$  dan proyeksi vector  $r$  sepanjang kawat adalah  $L$ , sehingga berlaku pythagoras

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

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

Sehingga,

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

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

Faktor dari kawat yang memiliki panjang tak berhingga maka salah satu ujung berada pada posisi  $-\infty$  dan ujung lain akan berada pada posisi  $+\infty$  sehingga medan magnet yang dihasilkan menjadi

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

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

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

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

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

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

## 5. Hukum bio savart

Hukum Biot-Savart dapat digunakan untuk menentukan besarnya medan magnet di sekitar arus listrik. Hal ini dapat diilustrasikan seperti gambar di atas. Misalnya terdapat sebuah kawat konduktor yang dialiri arus  $I$  kemudian terdapat elemen kecil kawat sengan panjang  $dL$ . Elemen kawat tersebut dapat dinyatakan dalam notasi vektor  $d\vec{L}$ . Selanjutnya dimisalkan ingin menentukan medan magnet pada posisi  $P$  dengan vector posisi  $\vec{r}$  terhadap elemen kawat. Kuat medan magnet di titik  $P$  yang dihasilkan oleh elemen  $d\vec{L}$  oleh hukum Biot-Savart adalah;

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

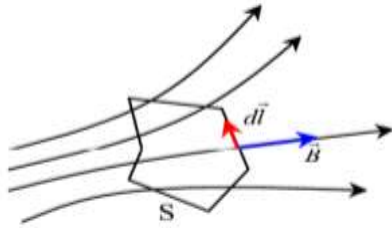
Kekuatan dan arah dari medan magnetik di sekitar arus listrik dinyatakan dengan besaran induksi magnetik ( $B$ ). Besarnya induksi magnetik pada suatu titik di sekitar penghantar berarus diberikan oleh:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

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

## 6. Hukum ampere

Misalkan di suatu ruang terdapat medan magnet  $\mathbf{B}$ . Di dalam ruang tersebut kita buat sebuah lintasan tertutup  $S$  yang sembarang



Integral perkalian titik  $\mathbf{B}$  dan  $d\mathbf{l}$  dalam lintasan tertutup  $S$  memenuhi :

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I \quad \text{HUKUM AMPERE}$$

$\sum I$  = Jumlah arus total yang dilingkupi lintasan  $S$

$\oint$  = Integral harus dikerjakan pada lintasan tertutup

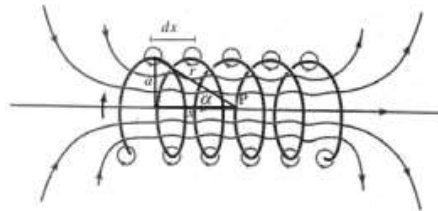
Aplikasi hukum Ampere:

a. Kawat lurus panjang

(sudah dijelaskan pada konsep di atas)

b. Selenoida

Induksi magnetik di pusat selenoida;



$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

Induksi magnetik di ujung selenoida;

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2L}$$

dengan

$B$ ; induksi magnetik ( $\text{Wb}/\text{m}^2$  atau T)

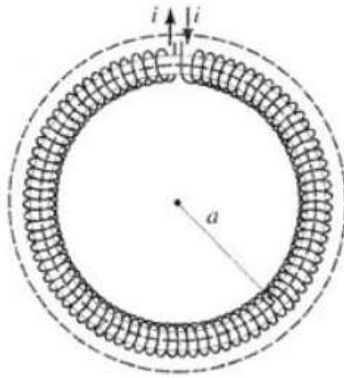
$\mu_0$ ; permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$ )

$I$ ; kuat arus yang melalui penghantar (A)

$L$ ; panjang selenoida (m)  $N$ ; banyak lilitan selenoida

c. Toroida

Induksi magnetik di sumbu toroida;



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

dengan

$B$ ; induksi magnetik ( $Wb/m^2$  atau T)

$\mu_0$ ; permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$ )

$I$ ; kuat arus yang melalui penghantar (A)

$a$  ; jari-jari toroida (m)  $N$  ; banyak lilitan toroida

7. Konsep medan magnet

Persamaan:

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 I_c$$

Jumlah lilitan per satuan panjang yang dimiliki toroid dimisalkan sebagai  $n$  dan arus yang mengalir adalah  $I$ . Untuk menentukan kuat medan magnet di dalam rongga toroid maka diperlukan untuk membuat lintasan Ampere berbentuk lingkaran yang melalui rongga toroid seperti gambar di atas. Jika 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  $\theta$  antara  $\vec{B}$  dan  $d\vec{l}$  adalah nol sehingga

$$\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos \theta = B dl \cos 0^\circ = B dl$$

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

$$= B \oint dl$$

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

Selanjutnya, jumlah arus yang dilingkupi lintasan ini adalah  $\Sigma I = NI = 2\pi R n I$

Sehingga, diperoleh

$$B (2\pi R) = \mu_0 (2\pi R n I)$$

#### 8. Medan magnet oleh kawat melingkar

Lingkaran atau cincin adalah bentuk geometri lain yang memungkinkan untuk menentukan medan magnet menggunakan hukum Biot Savart. Misalkan sebuah cincin dengan jari-jari  $a$  dialiri arus  $I$  dan ingin menentukan kuat medan magnet sepanjang sumbu cincin pada jarak  $b$  dari pusat cincin. Besarnya medan magnet di titik  $P$  yang dihasilkan oleh elemen cincin sepanjang  $dL$  adalah

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{dL \sin \theta}{r^2}$$

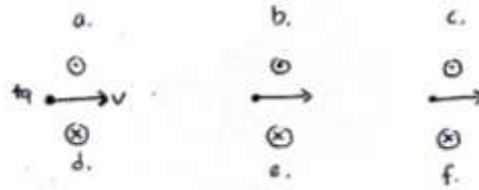
$dL$  selalu tegak lurus  $r$  sehingga  $\theta = 90^\circ$  atau  $\sin \theta = 1$ . Dengan demikian persamaan menjadi

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{dL}{r^2}$$

## B. Konsep Medan Magnet oleh Muatan Bergerak

- 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).

Jawab:



- Jika muatan yang bergerak adalah  $+q$  dengan kecepatan  $v$ , dan  $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$  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

Jawab:

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

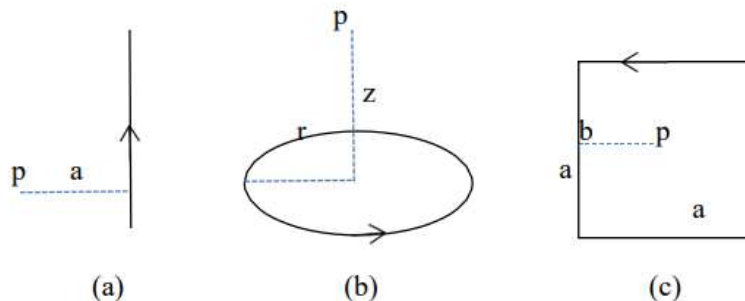
$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{B} = \vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Substitusi}$$

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

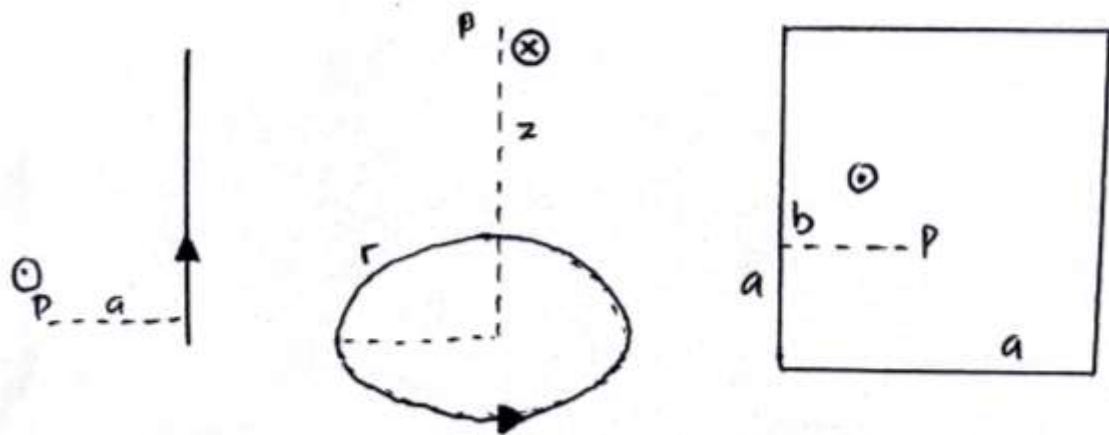
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \theta}{r^2} \hat{\phi}$$

- 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.

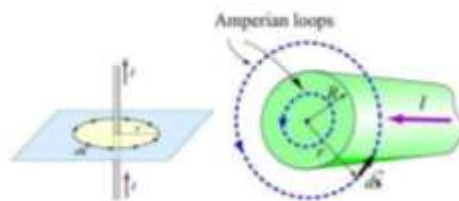




Jawab:



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



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

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

Pada titik vektor  $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos 0^\circ$   
 $= B dl$

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

dimana  $\oint dl = 2\pi a$

dikorekasi lingkup lintasan Ampere hanya satu kawat, sehingga

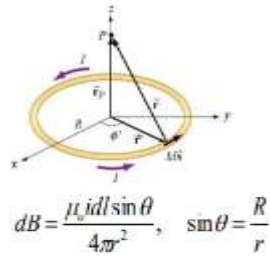
$$\sum I = 1$$

Jadi  $B \cdot (2\pi a) = \mu_0 I$

atau

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

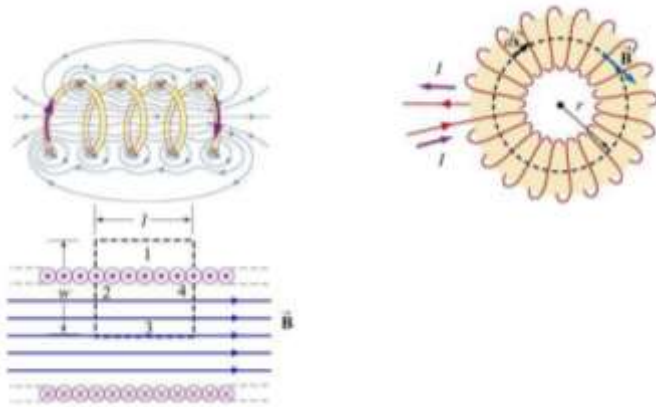
- b) Formulasikan medan magnet pada titik p sejauh z di atas kawat melingkar , gunakan hukum Biot Savart.



$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R}{r^3} \oint dl$$

- 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.

Jalur 1:

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

Jalur 2:

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

Jalur 3:

vector  $\vec{B}$  dan  $d\vec{l}$  selalu sejajar sehingga sudut  $\theta$  antara  $\vec{B}$  dan  $d\vec{l}$  nol, sehingga  $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot dl \cos \theta = B dl \cos 0^\circ = B dl$

Apakah di luar solenoida terdapat medan magnet? Kenapa?

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, karena terdapat gejala saling menghapus atau saling meniadakan antara medan magnet yang berasal dari berbagai bagian di dalam tiap lilitan solenoida.

Apakah di dalam solenoida medan magnetnya seragam?

Iya, seragam. Medan magnet yang seragam atau sama kuat, yang mana dihasilkan pada pusat solenoid, sedangkan medan magnet yang terbentuk diluar solenoid lebih lemah dan divergen.

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

Jawab:

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 I_c$$

Jumlah lilitan per satuan panjang yang dimiliki toroid dimisalkan sebagai  $n$  dan arus yang mengalir adalah  $I$ . Untuk menentukan kuat medan magnet di dalam rongga toroid maka diperlukan untuk membuat lintasan Ampere berbentuk lingkaran yang melalui rongga toroid seperti gambar di atas. Jika jari-jari toroid adalah  $R$  maka keliling toroid adalah

$$K = 2\pi R$$

Sepanjang lintasan Ampere, vektor  $B \rightarrow$  dan  $dl \rightarrow$  selalu sejajar sehingga sudut  $\theta$  antara  $B \rightarrow$  dan  $dl \rightarrow$  adalah nol sehingga

$$B \rightarrow \cdot dl \rightarrow = B \, dl \cos \theta = B \, dl \cos 0^\circ = B \, dl$$

Maka  $\oint B \rightarrow \cdot dl \rightarrow = \oint_s B \, dl$

$$= B \oint_s dl$$

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

Selanjutnya, jumlah arus yang dilingkupi lintasan ini adalah  $\Sigma I = NI = 2\pi R n I$

Sehingga, diperoleh

$$B (2\pi R) = \mu_0 (2\pi R n I)$$

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?

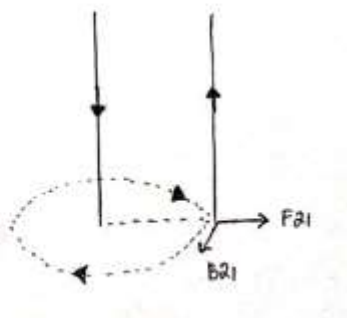
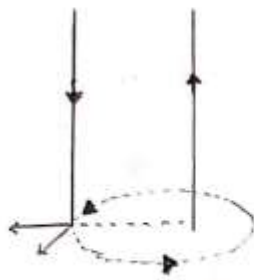
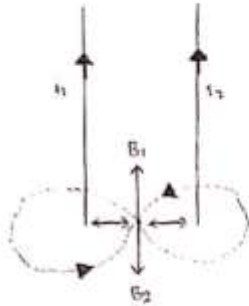
Jawab:

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.

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



Jawab:



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

Jawab:

pada dua kawat sejajar yang dialiri arus listrik searah maka arah medan magnet yang ditimbulkan berlawanan arah antara satu dengan yang lainnya. Adapun jika pada 2 kawat sejajar yang dialiri arus listrik berlawanan arah maka medan magnet yang ditimbulkan memiliki arah yang sama