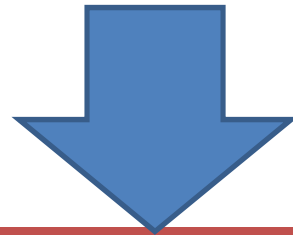


Review

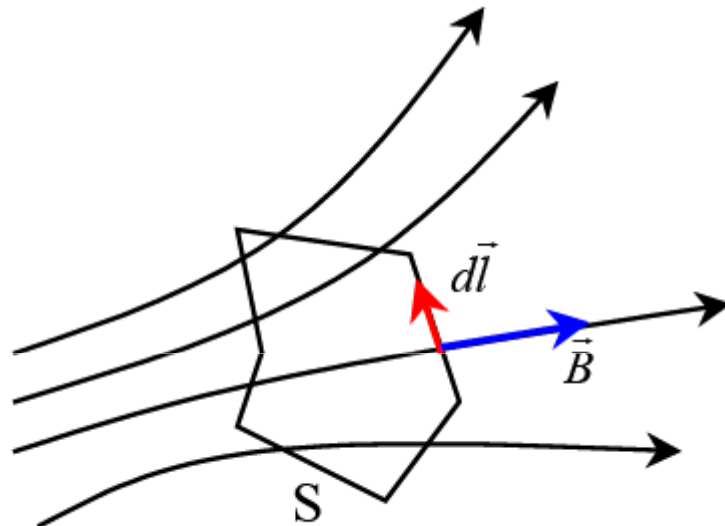
- Hukum Biot-Savart merupakan hukum yang umum yang digunakan untuk menghitung kuat medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik. Apapun bentuk konduktor yang dialiri arus, dan berapa pun arus yang mengalir, maka kuat medan magnet di sekitar arus tersebut selalu memenuhi hukum Biot-Savart.
- Namun, kita tidak selalu mudah menentukan kuat medan magnet di sekitar arus dengan menggunakan hukum Biot-Savart. Untuk bentuk kawat yang rumit, maka integral pada hukum Biot-Savart tidak selalu dapat diselesaikan

Adakah Metode alternatif untuk menentukan kuat medan magnet di sekitar arus listrik???



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 :

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

HUKUM AMPERE

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

\oint = Integral harus dikerjakan pada lintasan tertutup

Aplikasi Hukum Ampere

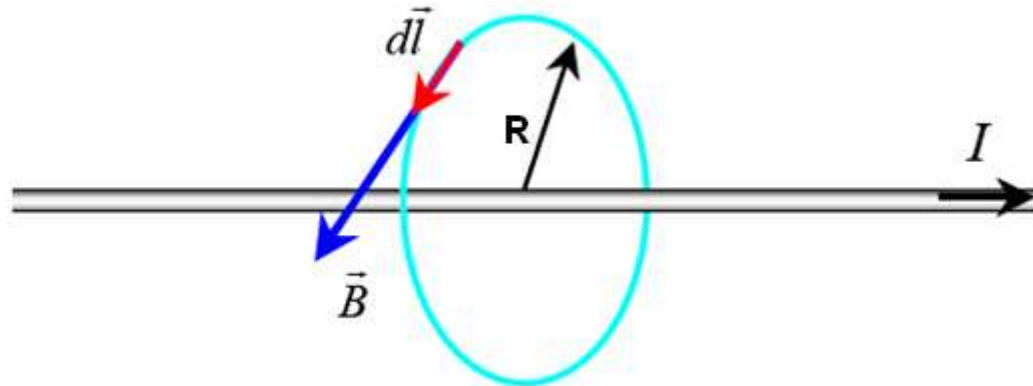
1. Kawat lurus panjang
2. Selenoida
3. Toroida

Caranya:

1. Pilih lintasan tertutup sedemikian rupa sehingga :
 - Kuat medan magnet pada berbagai titik di lintasan konstan
 - Vektor medan magnet & vektor elemen lintasan selalu membentuk sudut konstan untuk semua elemen lintasan
2. Hitung arus yang dilingkupi lintasan Ampere S
3. Gunakan hukum Ampere untuk mencari B

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

B di sekitar Kawat lurus panjang



Lintasan : Lingkaran yang sumbunya berimpit dengan kawat

Aturan Tangan Kanan:

- B menyinggung lingkaran
- Elemen vektor **dl** menyinggung lintasan

$$\vec{B} // d\vec{l}$$

Sudut θ antara B & dl = nol

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

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

B tiap titik di lintasan konstan

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

$$= B \times \text{keliling lingkaran}$$

$$= B \times 2\pi R$$

Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere : $\sum I = I$

Yang dilingkupi lintasan Ampere hanya satu kawat yang dialiri arus I

Maka :

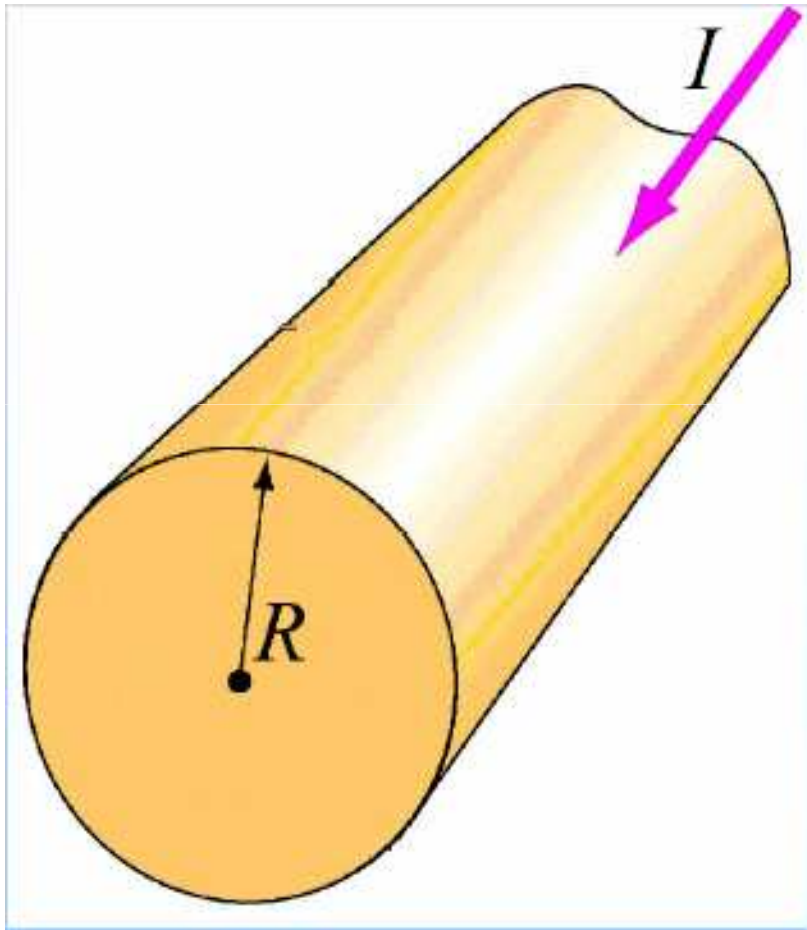
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$$
$$B \times 2\pi R = \mu_0 I$$

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

Kuat medan magnet di sekitar kawat lurus panjang berarus

Hasilnya sama dengan Hukum Biot-Savart

Contoh: Kawat tak Berhingga

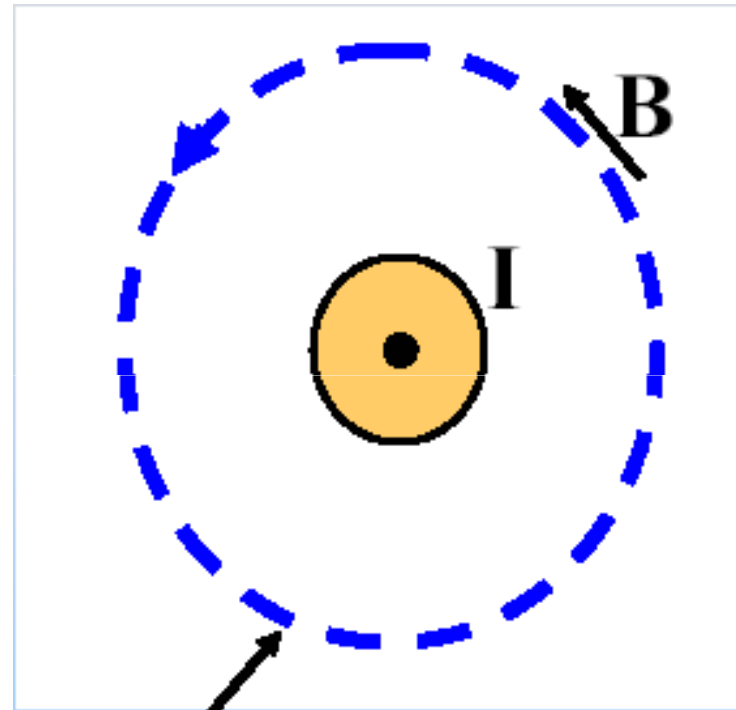
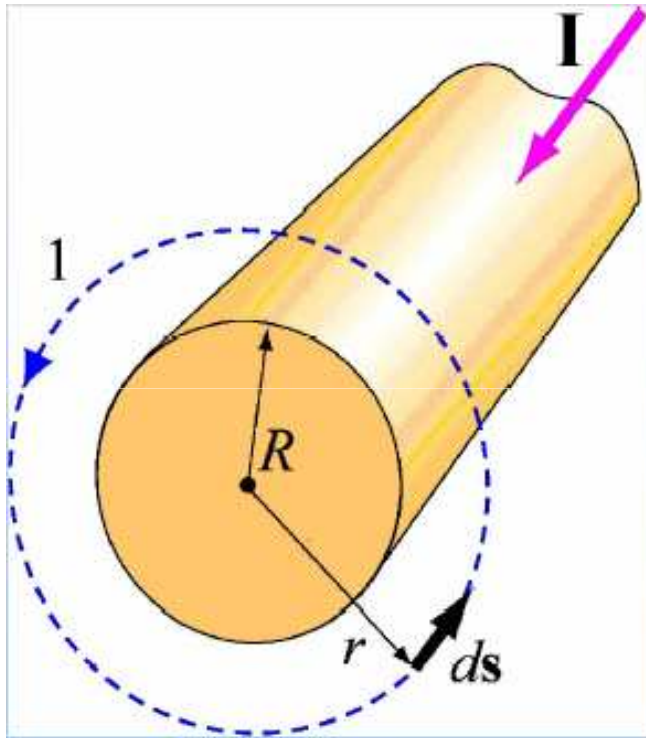


Sebuah konduktor silinder memiliki radius R dan rapat arus uniform dengan arus total I

Cari B di daerah:

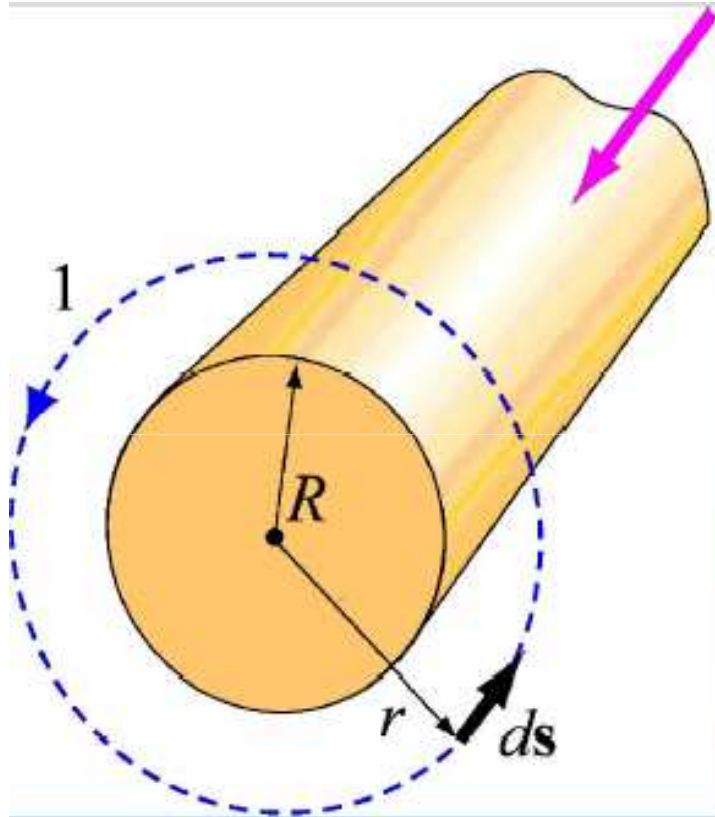
- (1) Luar kawat ($r \geq R$)
- (2) Dalam kawat ($r < R$)

Contoh Hukum Ampere: Kawat Taktingga



Lintasan Ampere:
 B konstan & sejajar
 I terlingkupi

Contoh: Kawat Radius R



Daerah 1: $r \geq R$

Simetri Silinder \rightarrow

Lintasan Ampere lingkaran

Medan B berlawanan

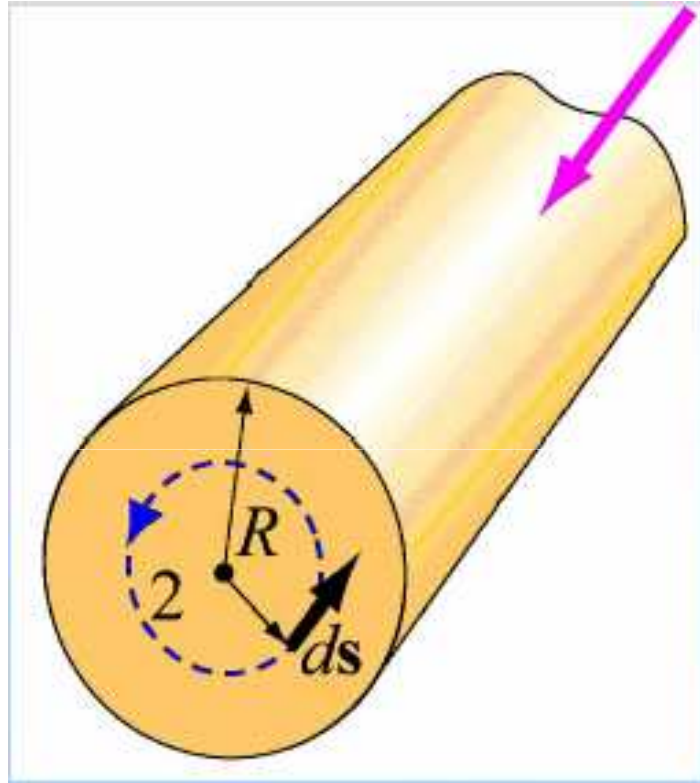
jarum jam

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = B \oint d\vec{\mathbf{s}} = B(2\pi r)$$
$$= \mu_0 I_{enc} = \mu_0 I$$

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

Berlawanan arah jarum jam

Contoh: Kawat Radius R



Daerah 2: $r < R$

$$\begin{aligned}\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} &= B \oint d\vec{\mathbf{s}} = B(2\pi r) \\ &= \mu_0 I_{enc} = \mu_0 I \left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2} \right)\end{aligned}$$

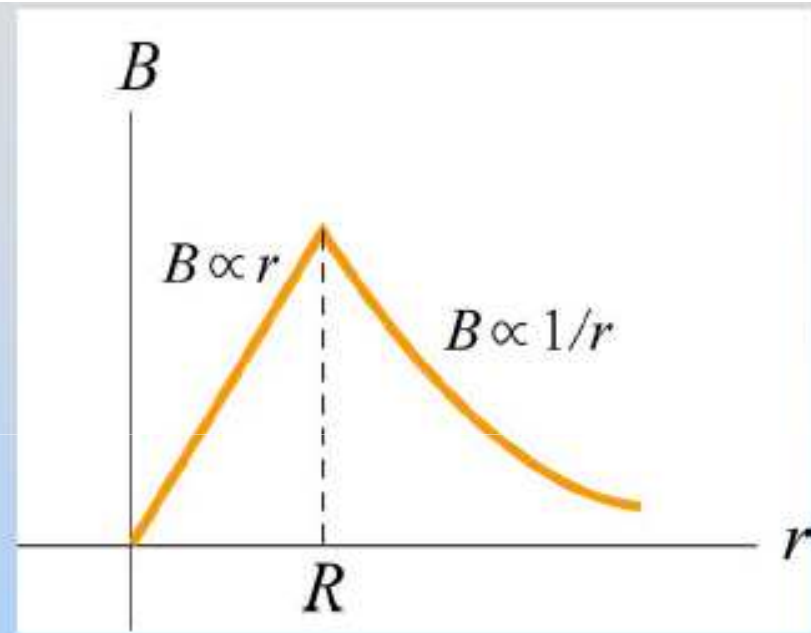
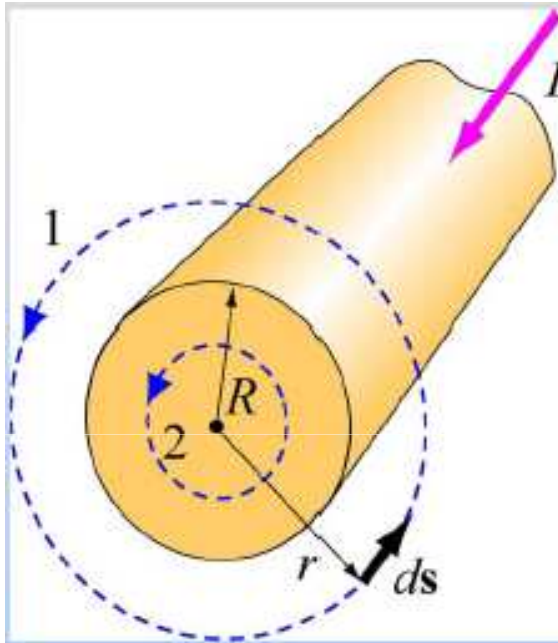
$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$$

Berlawanan arah jarum jam

Dapat juga:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi R^2}; I_{enc} = JA_{enc} = \frac{I}{\pi R^2} (\pi r^2)$$

Contoh: Kawat Radius R



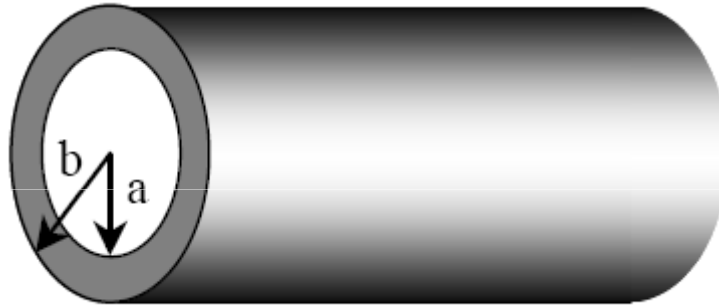
$$B_{in} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$$

$$B_{out} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

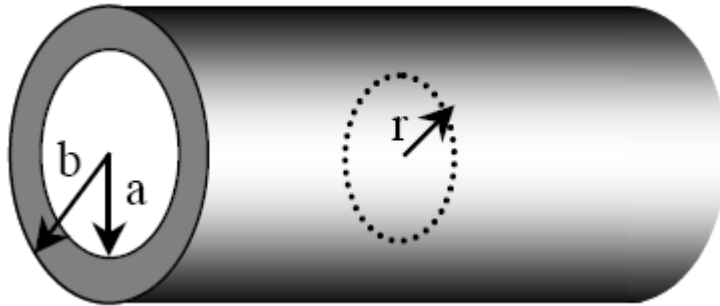
Contoh:

Sebuah silinder berongga tembaga memiliki jari-jari dalam a dan jari-jari luar b . silinder tersebut dialiri arus I . Tentukan kuat medan magnet B :

- $0 < r < a$
- $a < r < b$
- $r > b$



Untuk daerah $0 < r < a$



$$\begin{aligned}\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} &= B \oint_S dl \\ &= B \times \text{keliling lingkaran} \\ &= B \times 2\pi r\end{aligned}$$

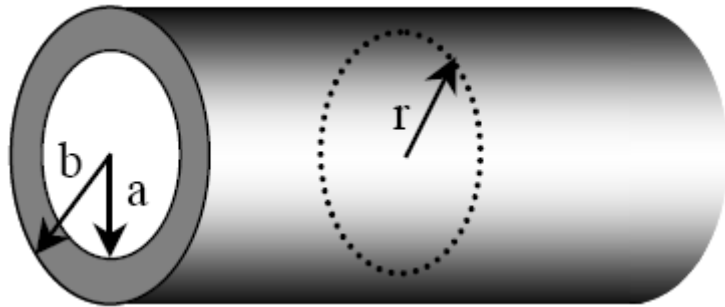
Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere : $\sum I = 0$ Tidak ada arus I yang dilingkupi lintasan (rongga)

Maka : $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \sum I$

$$B \times 2\pi r = \mu_o 0$$

$$B = 0$$

Untuk daerah $a < r < b$



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

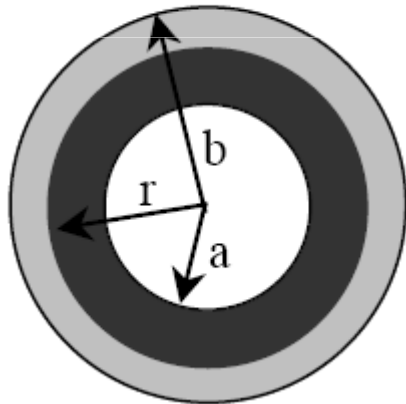
$$= B \times \text{keliling lingkaran}$$

$$= B \times 2\pi r$$

Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere :

Cari rapat arus

$$J = \frac{I}{A}$$



Luas penampang silinder:

$$A_0 = \pi b^2$$

Luas penampang rongga:

$$A' = \pi a^2$$

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi(b^2 - a^2)}$$

Luas penampang silinder yang dialiri arus :

$$A = A_0 - A' = \pi(b^2 - a^2)$$

Luas penampang yang dilingkupi Lintasan Ampere

$$A_2 = \pi(r^2 - a^2)$$

Arus yang mengalir pada penampang yang dilingkupi lintasan Ampere :

$$\sum I = JA_2$$

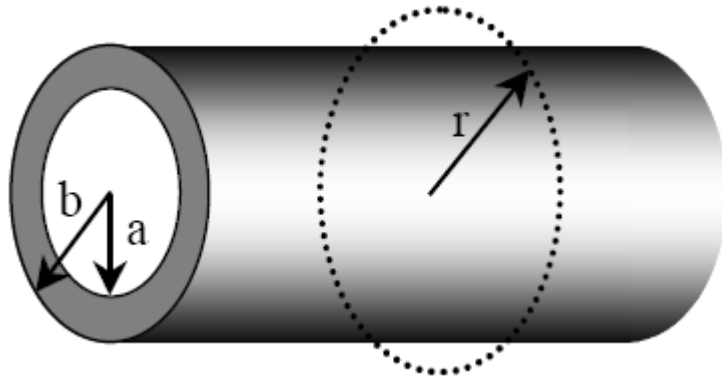
$$\sum I = \frac{I}{\pi(b^2 - a^2)} \pi(r^2 - a^2) = \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} I$$

Maka : $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$

$$B \times 2\pi R = \mu_0 \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} I$$

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} \right) \frac{I}{r}$$

Untuk daerah $r > b$



$$\begin{aligned}\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} &= B \oint_S dl \\ &= B \times \text{keliling lingkaran} \\ &= B \times 2\pi r\end{aligned}$$

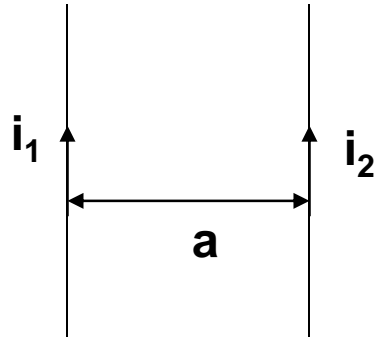
Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere : $\sum I = I$ Semua arus I yang dilingkupi lintasan Ampere

Maka : $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$

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

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

Gaya Lorentz pada Kawat Sejajar



Medan magnet di kawat 1 akibat kawat ke-2

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

Gaya magnet pada kawat 2 disebabkan oleh medan B_2 (semua yang)

$$|F_B| = I_1 l_1 |B_2|$$

$$|F_B| = \frac{I_1 l_1 \mu_0 I_2}{2\pi a} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_1$$

Gaya pada kawat 1 yang disebabkan oleh kawat 2

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_1$$

Gaya pada kawat 2 yang disebabkan oleh kawat 1

$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_2$$

Gaya / satuan panjang

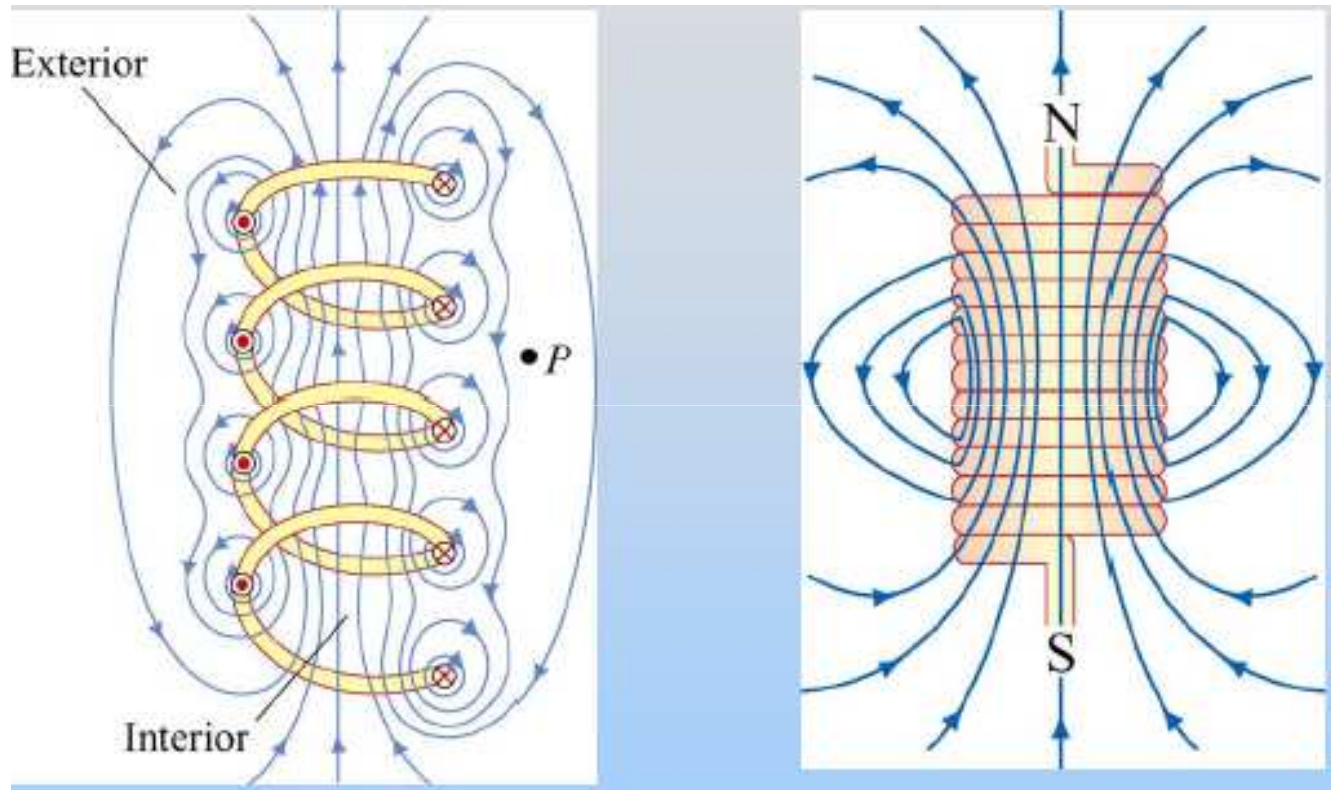
$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{a} l$$

Kawat yg arah arusnya **searah** akan **tarik-menarik**.
 Kawat yang arusnya **berlawanan arah** akan **tolak-menolak**

Medan Magnet dari Solenoid

- ✓ Solenoida merupakan kawat digulung dengan sumbu yang sama
- ✓ Tiap lilitan kawat pada solenoida akan menghasilkan arah medan magnet yang seragam, sehingga didapatkan medan magnet yang kuat ditengah-tengah solenoida
- ✓ Perubahan arah arus listrik yang mengalir didalam solenoida akan memberikan perubahan arah medan magnetik

Medan Magnet dari Solenoid

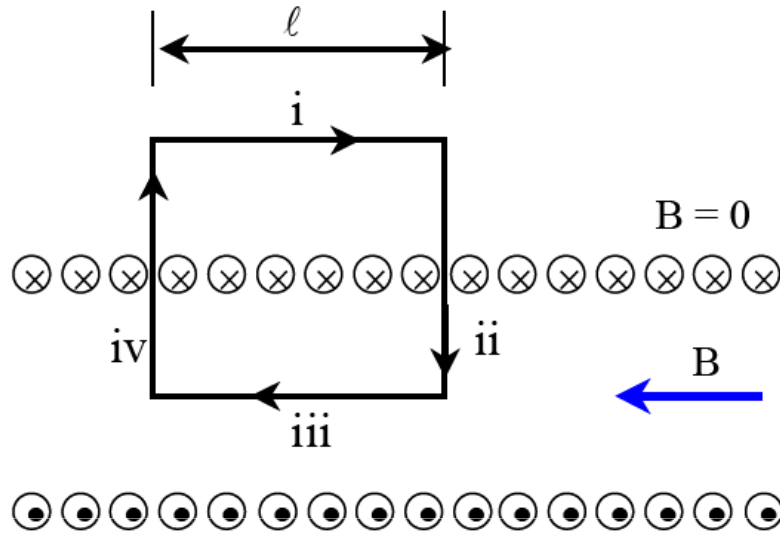


Gulungan renggang

Gulungan rapat

Untuk solenoid ideal, B uniform di dalam & nol di luar

Jika selenioda dibelah

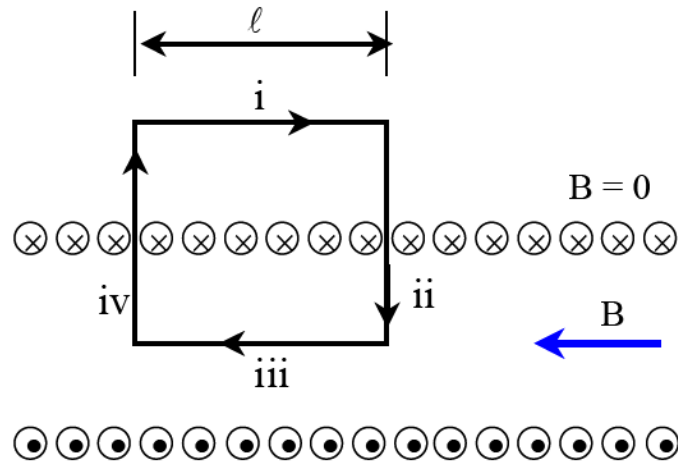


Lintasan Ampere pada selenoida
Berupa segi empat

Integral pada lintasan tertutup dapat dipecah menjadi jumlah integral pada tiap-tiap sisi-sisi segi empat

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_i \vec{B} \cdot d\vec{l} + \oint_{ii} \vec{B} \cdot d\vec{l} + \oint_{iii} \vec{B} \cdot d\vec{l} + \oint_{iv} \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

Jika selenioda dibelah



Lintasan i : $B = \text{nol}$ (berada di luar selenioda)

$$\oint_i \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$$

Lintasan ii: Potongan yang ada di luar $B = \text{nol}$
Potongan yang ada di dalam B tegak lurus lintasan

$$\oint_{ii} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{\text{pot. luar}} \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_{\text{pot. dalam}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 + \int_{\text{pot. dalam}} B dl \cos 90 = 0$$

Lintasan iii : B sejajar lintasan

$$\oint_{iii} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{iii} B dl \cos 0 = B \int_{iii} dl = Bl$$

Lintasan iv: Potongan yang ada di luar $B = \text{nol}$
Potongan yang ada di dalam B tegak lurus lintasan

$$\oint_{iv} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{\text{pot. luar}} \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_{\text{pot. dalam}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 + \int_{\text{pot. dalam}} B dl \cos 90 = 0$$

Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere : $\sum I = n l I$

$n =$ lilitan per satuan panjang

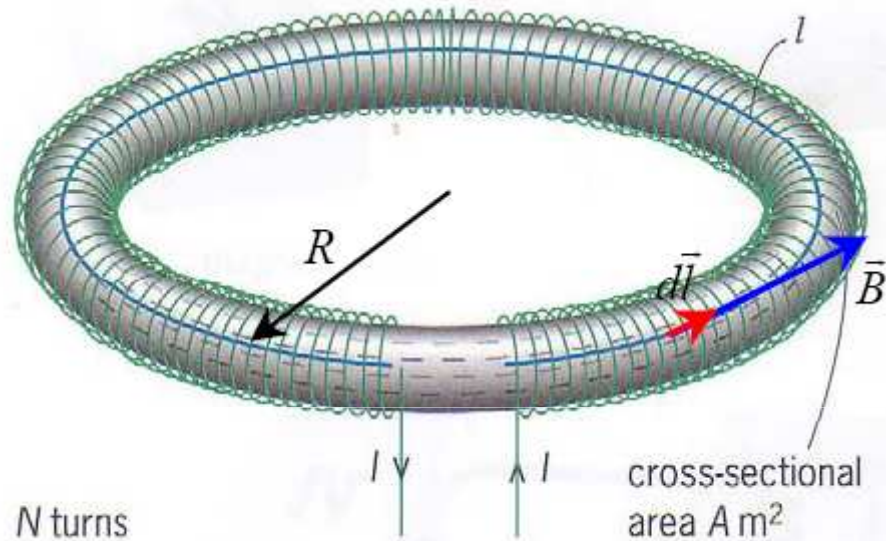
Maka :

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \sum I$$
$$B l = \mu_o (n l I)$$

$$B = \mu_o I n$$

Kuat medan magnet dari selenoida

Medan Magnet dari Toroida

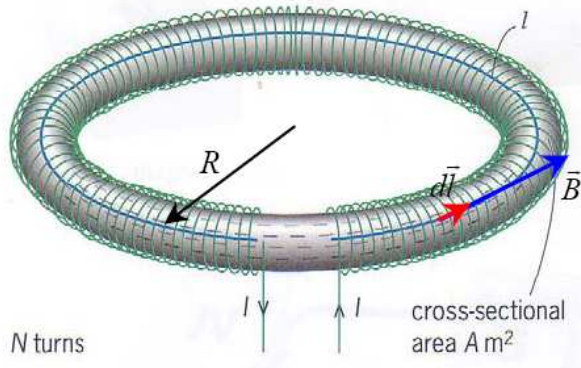


Jari-jari toroida = R

Keliling toroida = $2\pi R$

Jumlah lilitan toroida (N) = $2\pi R n$

***Lintasan Ampere* berbentuk lingkaran yang melalui rongga toroid**



$$\vec{B} // d\vec{l} \quad \text{Sudut } \theta = \text{ nol}$$

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

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

$$= B \times \text{keliling lingkaran}$$

$$= B \times 2\pi R$$

Jumlah arus yang dilingkupi lintasan Ampere : $\sum I = 2\pi R n I$

Maka :

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \sum I$$

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

$$B = \mu_o I n$$

Kuat medan magnet dari selenoida

Problem

Halliday Resnick
No. 20 hal 330

