

Sumber-Sumber Medan Magnetik

Fisika Dasar II
TIP, TP, UGM 2009
Ikhsan Setiawan, M.Si.
ikhsan_s@ugm.ac.id

Hukum Biot-Savart

Pada 1819, Oersted menemukan bahwa arah arus kompas menyimpang ketika berada dekat dengan kawat berarus.

Kemudian, Biot dan Savart melakukan eksperimen kuantitatif tentang gaya yang dikerahkan oleh kawat berarus pada magnet yang berada di dekatnya.

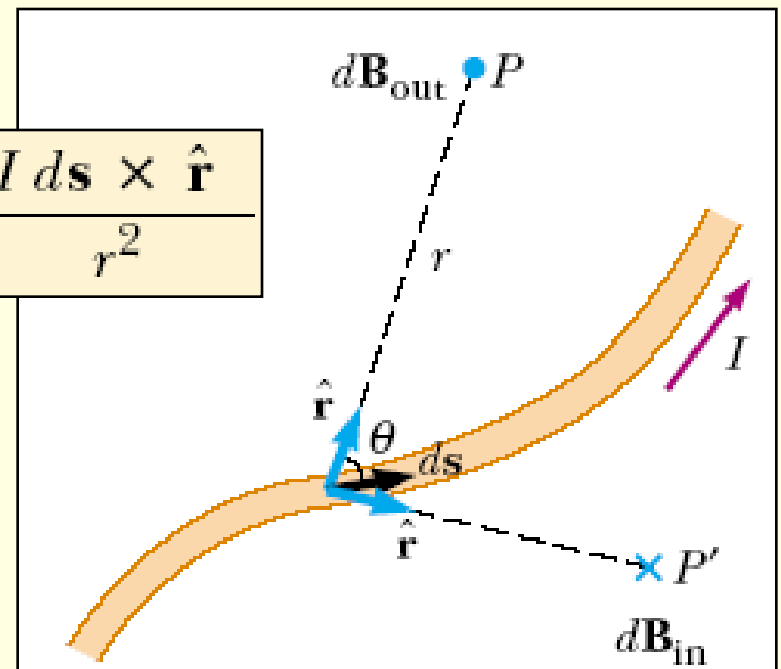
Medan magnet yang dihasilkan oleh elemen arus $I ds$:

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

dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ adalah permeabilitas ruang hampa.

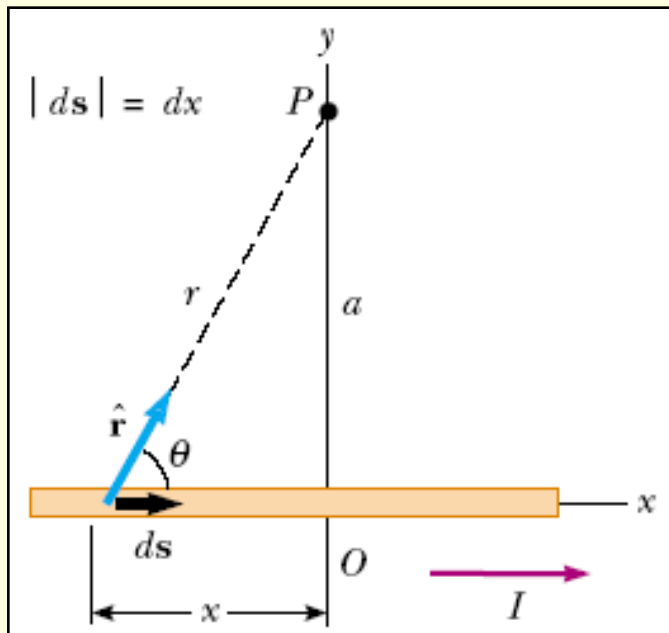
Medan magnet total:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

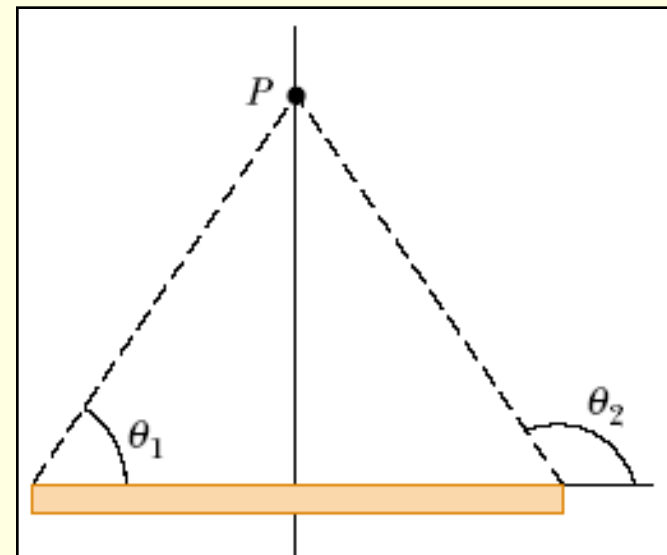


Beberapa Penerapan Hukum Biot-Savart untuk Menghitung Medan Magnetik

■ Medan Magnetik dari Kawat Lurus Berarus



$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sin \theta d\theta$$



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

Berapa penerapan Hukum Biot-Savart untuk Menghitung Medan Magnetik (lanjutan)

Untuk kawat lurus berarus
dan panjang tak hingga:

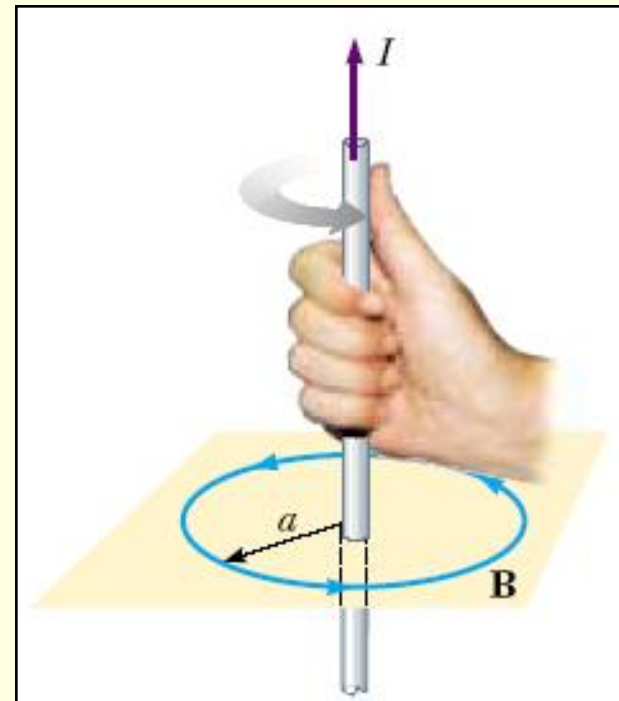
$$\theta_1 = 0 \text{ dan}$$

$$\theta_2 = \pi,$$

sehingga diperoleh:

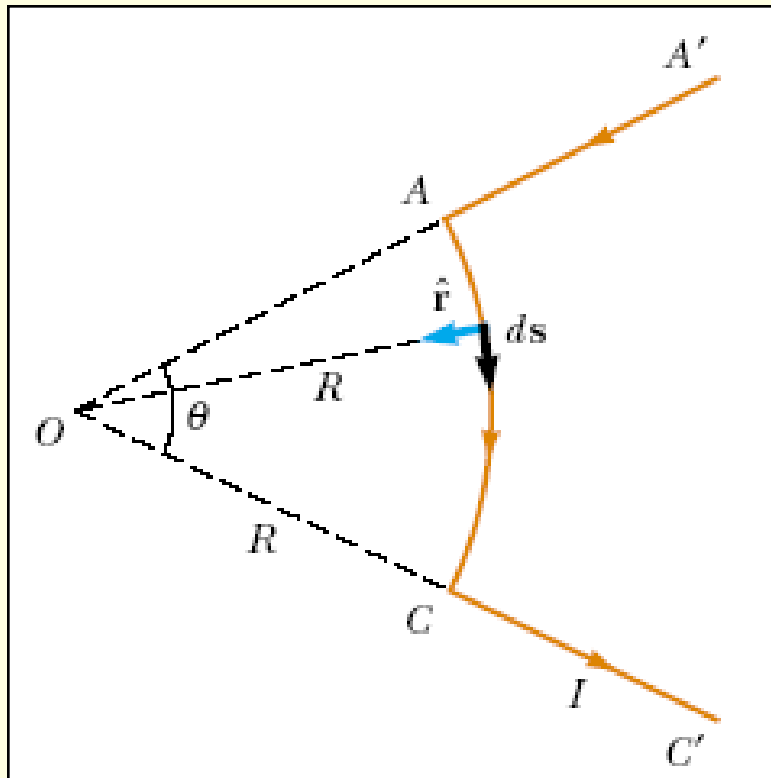
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Arah medan magnetik dari kawat lurus berarus ini dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan:



Berapa penerapan Hukum Biot-Savart untuk Menghitung Medan Magnetik (lanjutan)

Medan magnetik dari segmen busur lingkaran



Medan magnetik di O (pusat busur lingkaran):

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

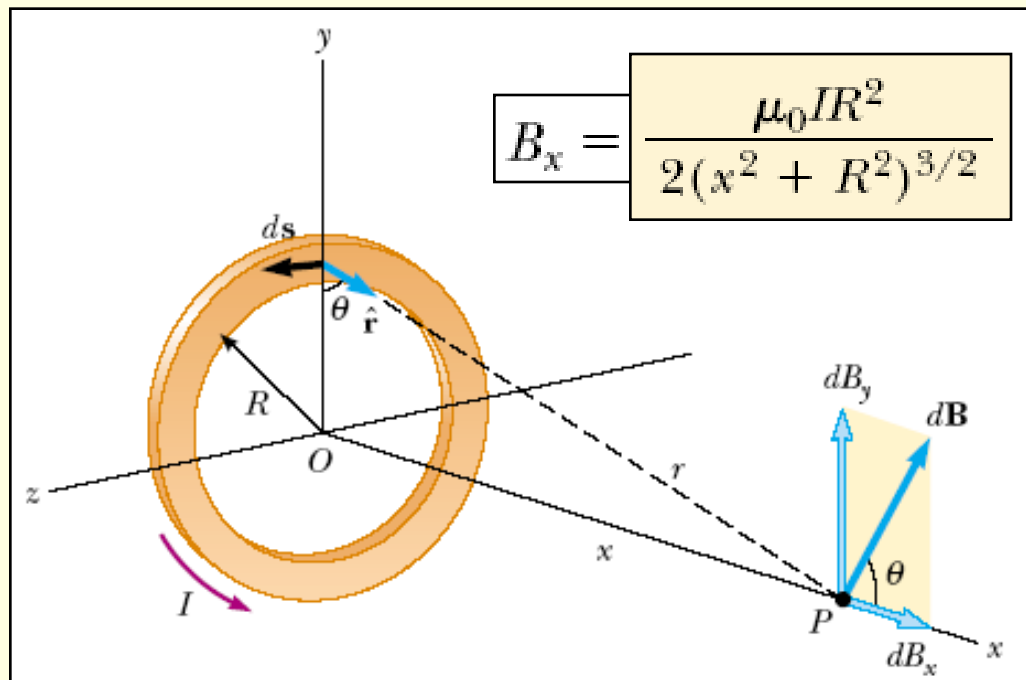
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int ds = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} s = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \theta$$

Untuk lingkaran penuh: $\theta = 2\pi$, sehingga diperoleh

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

Berapa penerapan Hukum Biot-Savart untuk Menghitung Medan Magnetik (lanjutan)

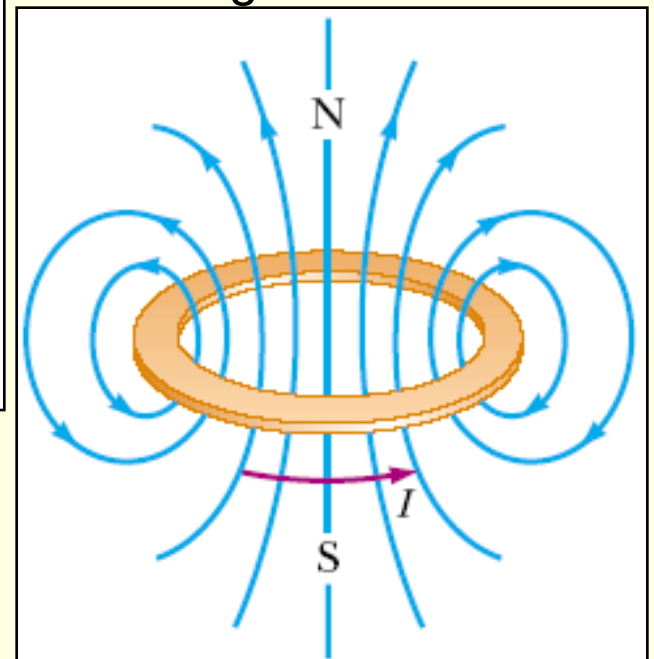
■ Medan Magnetik di Sumbu Cincin Tipis Berarus



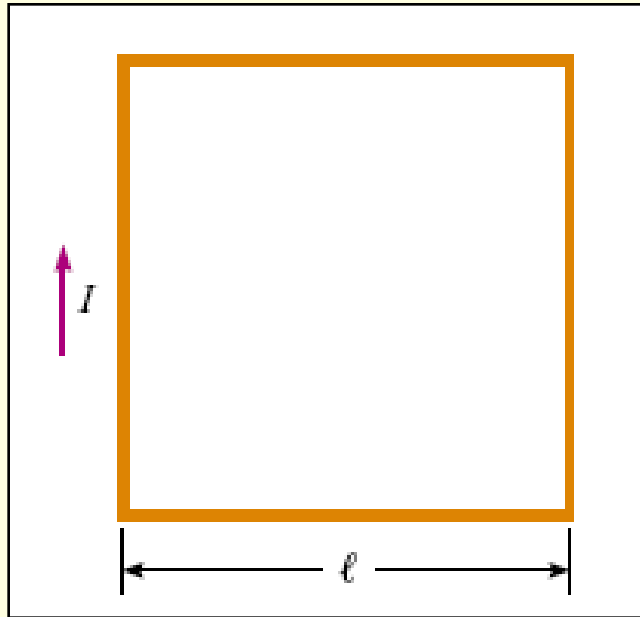
Di pusat cincin ($x = 0$):

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

Garis-garis medan $\mathbf{B}$:

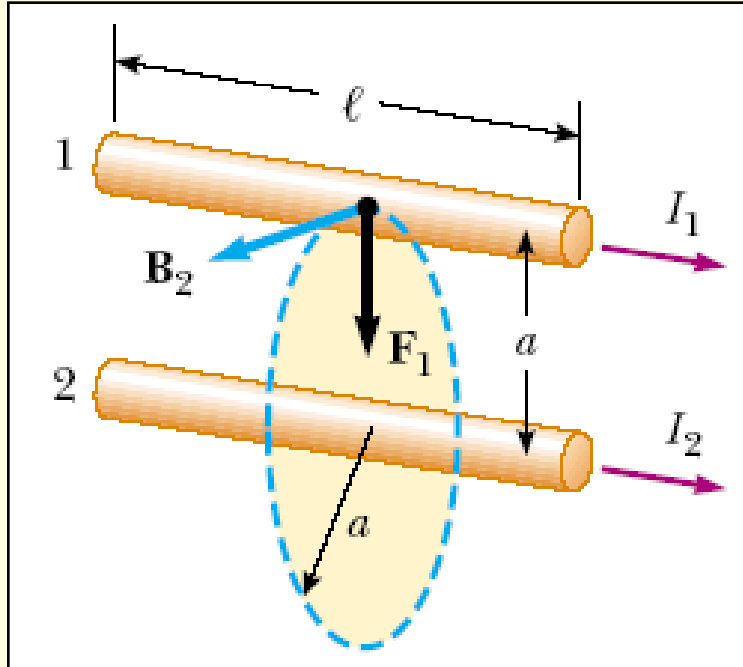


Contoh 1



- (a) Sebuah konduktor berbentuk bujur sangkar dengan panjang sisi $l = 0,4 \text{ m}$ dialiri arus $I = 10 \text{ A}$ (lihat gambar). Tentukan besar dan arah medan magnetik di pusat bujur sangkar.
- (b) Dari soal (a), tentukan medan magnetik tersebut jika bujur sangkar tersebut dibentuk menjadi lingkaran.

Gaya Magnetik antara Dua Kawat Lurus Sejajar Berarus



Konduktor 2 yang berarus I_2 , menghasilkan medan magnetik di lokasi konduktor 1:

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

Gaya magnetik pada konduktor 1 yang berarus I_1 (akibat pengaruh B_2):

$$F_1 = I_1 l B_2 \sin 90^\circ$$

$$F_1 = I_1 l B_2 = I_1 l \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} \right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l$$

Gaya magnetik per satuan panjang:

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

Bila kedua arus searah :

$\Rightarrow$ konduktor tarik menarik

Bila kedua arus berlawanan arah :

$\Rightarrow$ konduktor tolak menolak

Gaya Magnetik antara Dua Kawat Lurus Sejajar Berarus (lanjutan)

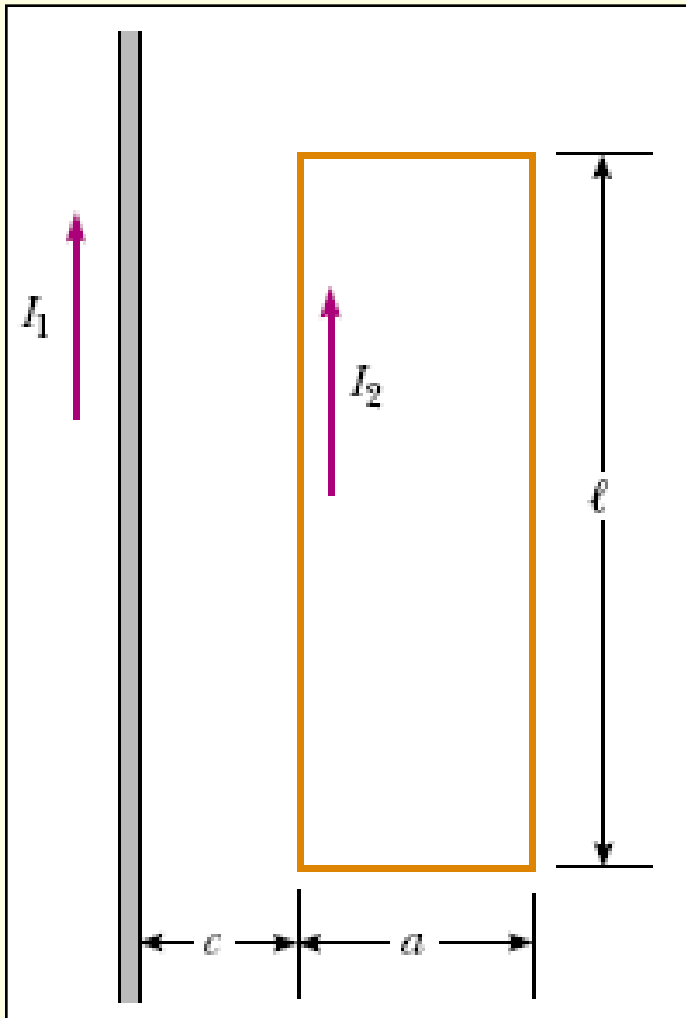
Gaya magnetik antara dua kawat lurus sejajar digunakan untuk mendefinisikan **1 ampere** sbb:

Apabila gaya per satuan panjang antara dua kawat panjang lurus sejajar yang berjarak 1 m dan berarus sama besar adalah 2×10^{-7} N/m, maka besar arus yang mengalir pada masing-masing kawat adalah 1 ampere (1 A).

Satuan muatan, **coulomb**, didefinisikan dengan menggunakan ampere sbb:

Apabila suatu konduktor dialiri arus sebesar 1 A, maka muatan yang mengalir melewati penampang konduktor dalam 1 s adalah sebesar 1 coulomb (1 C)

Contoh 2



Pada gambar di samping:

$$I_1 = 5 \text{ A}, \quad I_2 = 10 \text{ A},$$

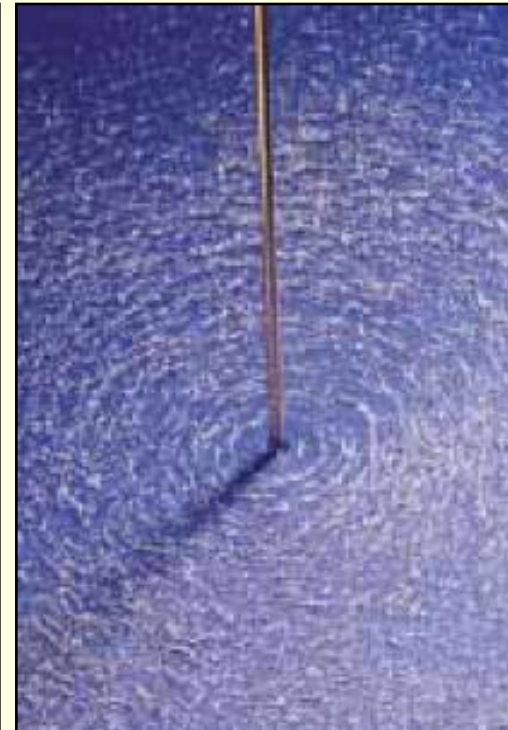
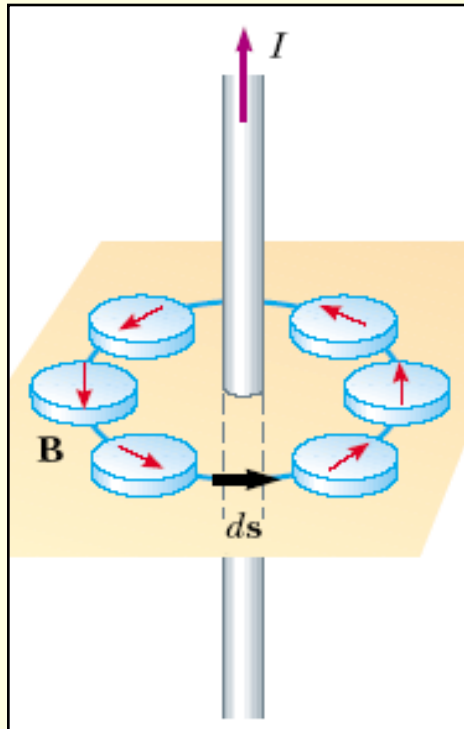
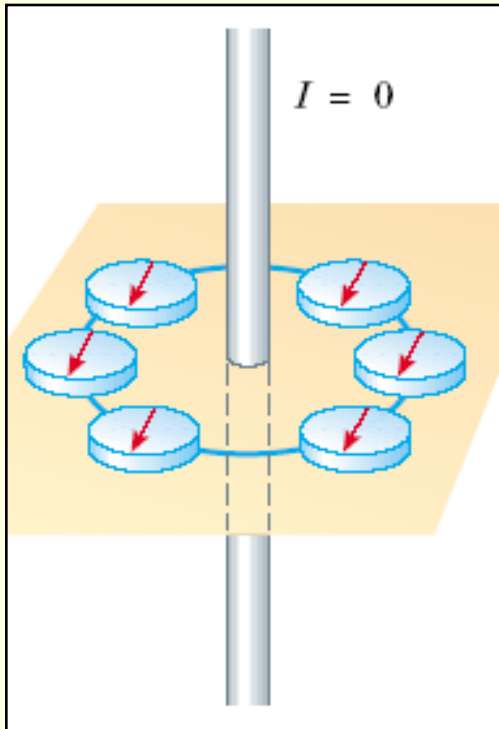
$$c = 0,1 \text{ m}, \quad a = 0,15 \text{ cm}, \quad l = 0,45 \text{ m}$$

Kedua kawat terletak sebidang.

Tentukan besar dan arah gaya magnetik total yang bekerja pada kawat persegi.

Hukum Ampere

Penemuan Oersted (1819):

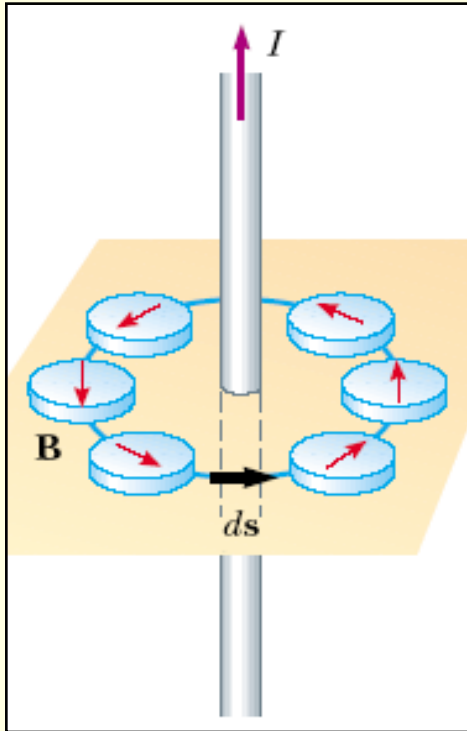


Arah jarum kompas $\rightarrow$ arah medan **B**.

Besar **B** sama di titik dengan jarak yang sama dari kawat.

Besar **B** sebanding dengan arus, berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari kawat.

Hukum Ampere (lanjutan)



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

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = ?$$

Di sini:

- $\mathbf{B}$ sejajar (searah) $d\mathbf{s}$, sehingga: $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B ds$.
- B konstan, dapat dikeluarkan dari tanda integral.
- Integral tertutup ds = keliling lingkaran.

Jadi: Hukum Ampere:

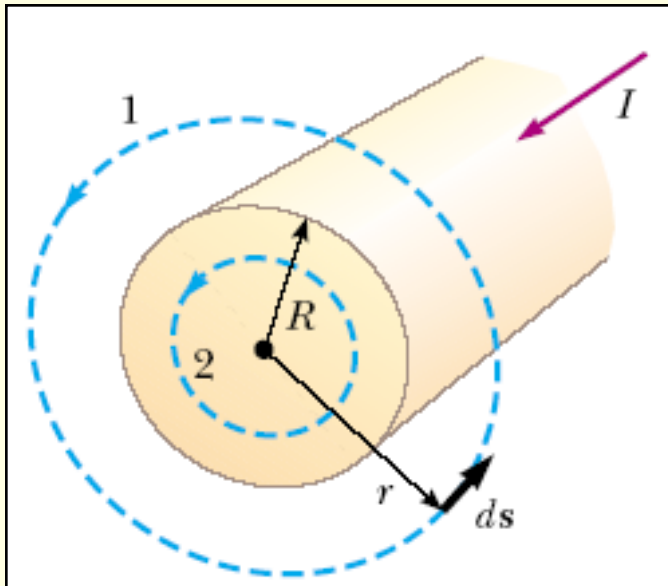
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \oint ds = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r) = \mu_0 I$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I$$

yaitu: integral garis $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ mengelilingi sembarang lintasan tertutup sama dengan $\mu_0 I$, dengan I adalah arus total yang menembus permukaan yang dibatasi oleh lintasan tertutup tersebut.

Contoh Hasil Penerapan Hukum Ampere

Medan Magnetik dari Kawat Lurus Berarus Panjang Tak Hingga



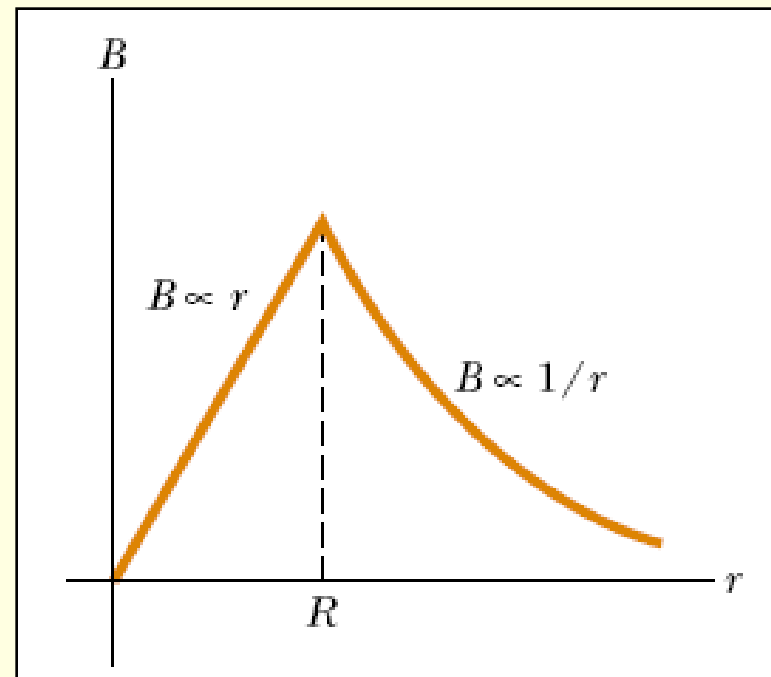
Di dalam kawat:

$$B = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} \right) r \quad (\text{untuk } r < R)$$

Di luar kawat:

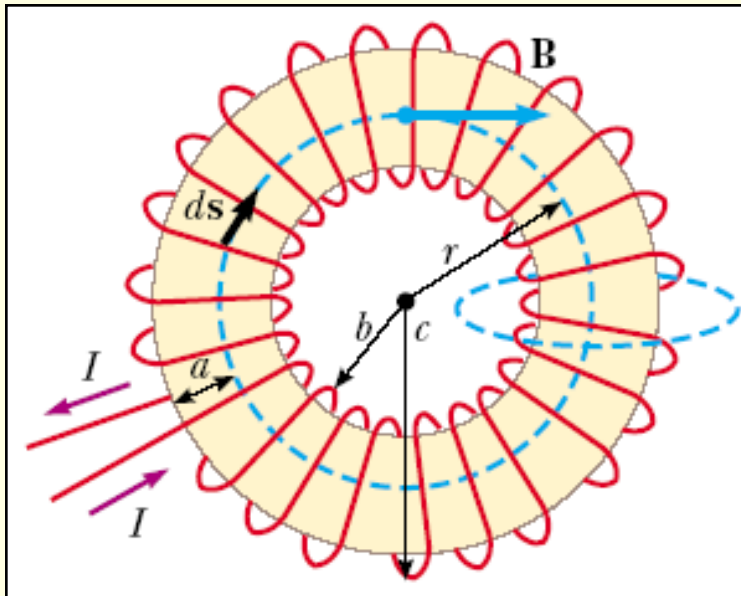
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{untuk } r \geq R)$$



Contoh Hasil Penerapan Hukum Ampere (lanjutan...)

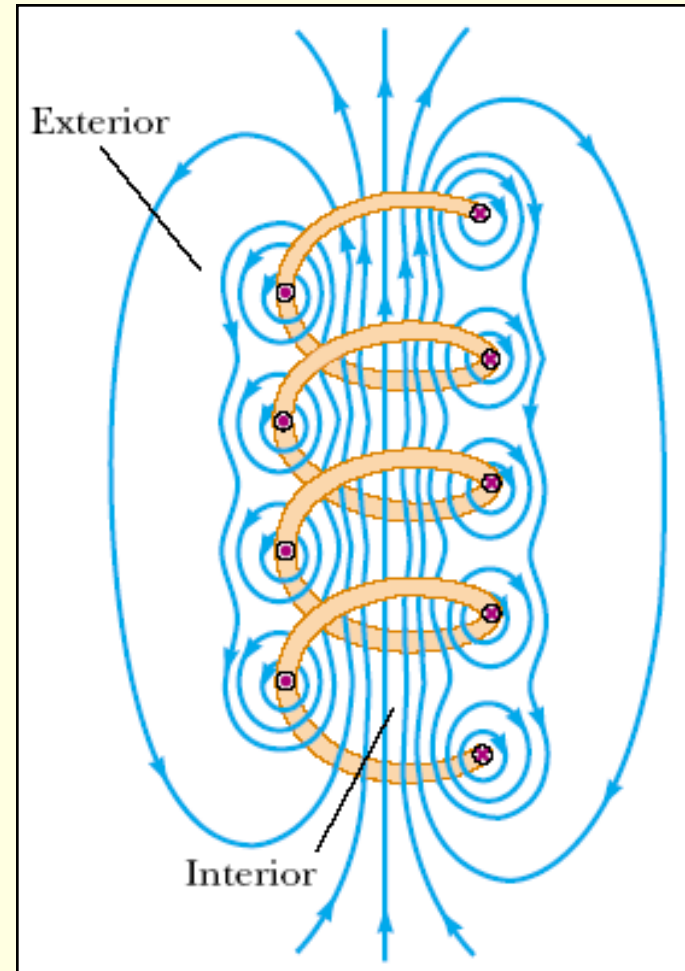
Medan Magnetik dari Toroid



$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 NI$$

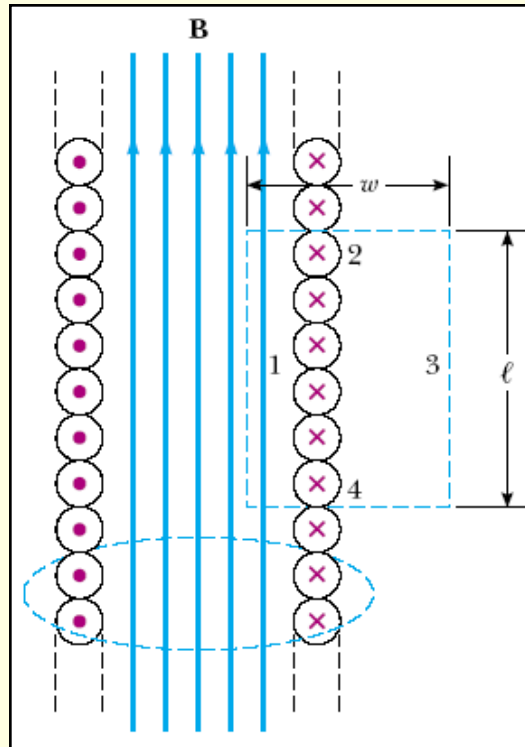
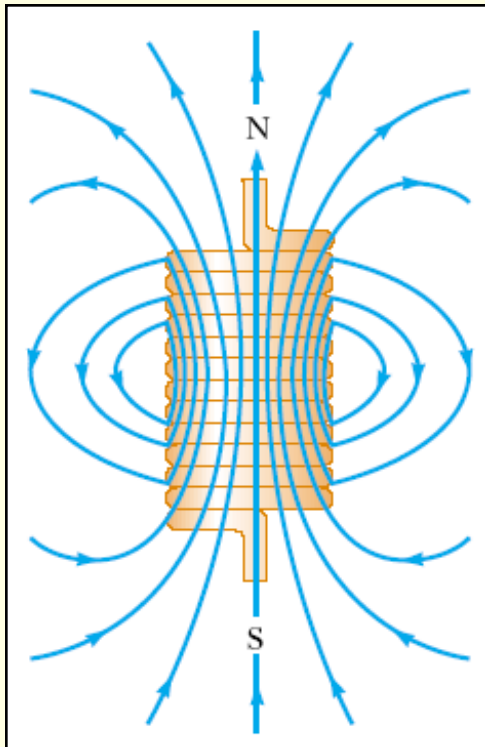
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Medan Magnetik dari Solenoid



Contoh Hasil Penerapan Hukum Ampere (lanjutan...)

Medan Magnetik dari Solenoid (lanjutan...)



$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \int_{\text{path 1}} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \int_{\text{path 1}} ds = B\ell$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B\ell = \mu_0 NI$$

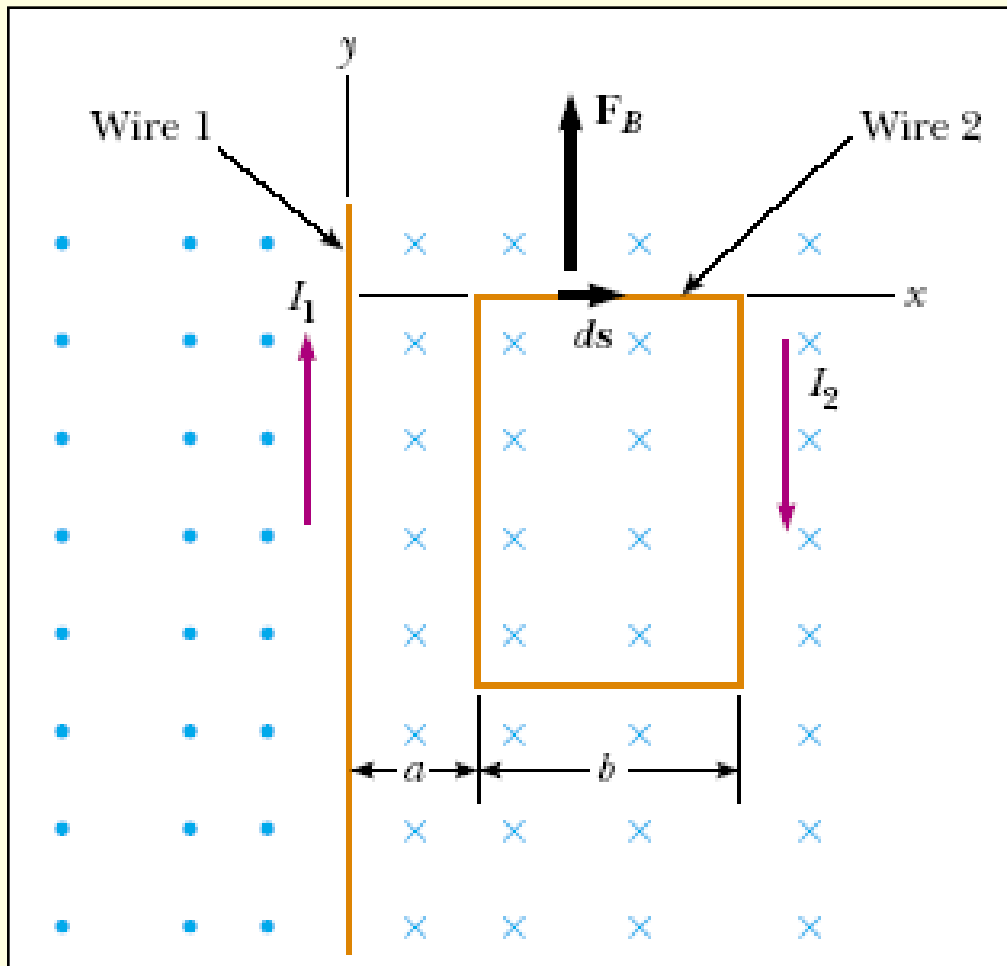
$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 nI$$

$$n = N/\ell$$

N = cacah total lilitan solenoid

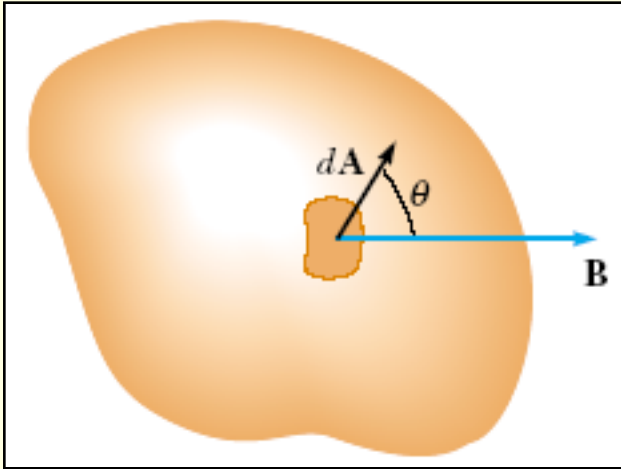
$n = N/\ell$ =cacah lilitan per satuan panjang solenoid

Contoh 3



Untuk gambar di samping, tentukanlah gaya magnetik total $\mathbf{F}_B$ pada kawat 2 bagian atas.

Fluks Magnetik



dA adalah vektor elemen luasan.

Fluks magnetik yang melewati elemen luasan ini adalah:

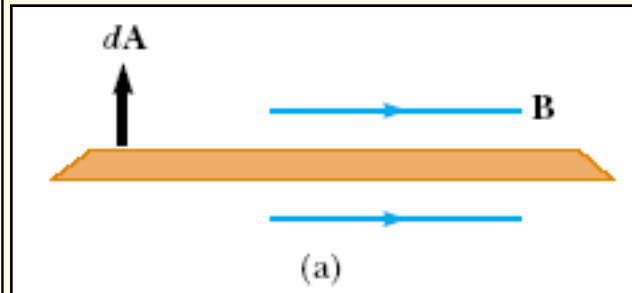
$$d\Phi_B = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

Fluks magnetik total yang melewati seluruh permukaan:

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

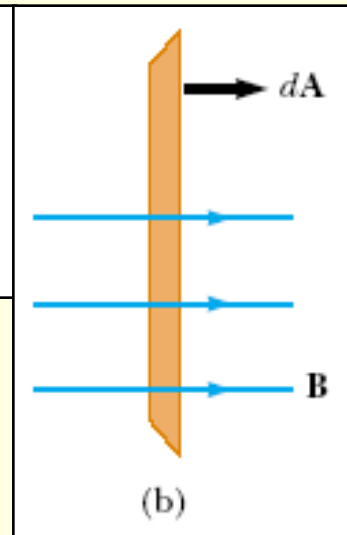
Kasus khusus untuk permukaan (bidang) datar dimana $\mathbf{B}$ membentuk sudut θ dengan $d\mathbf{A}$:

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

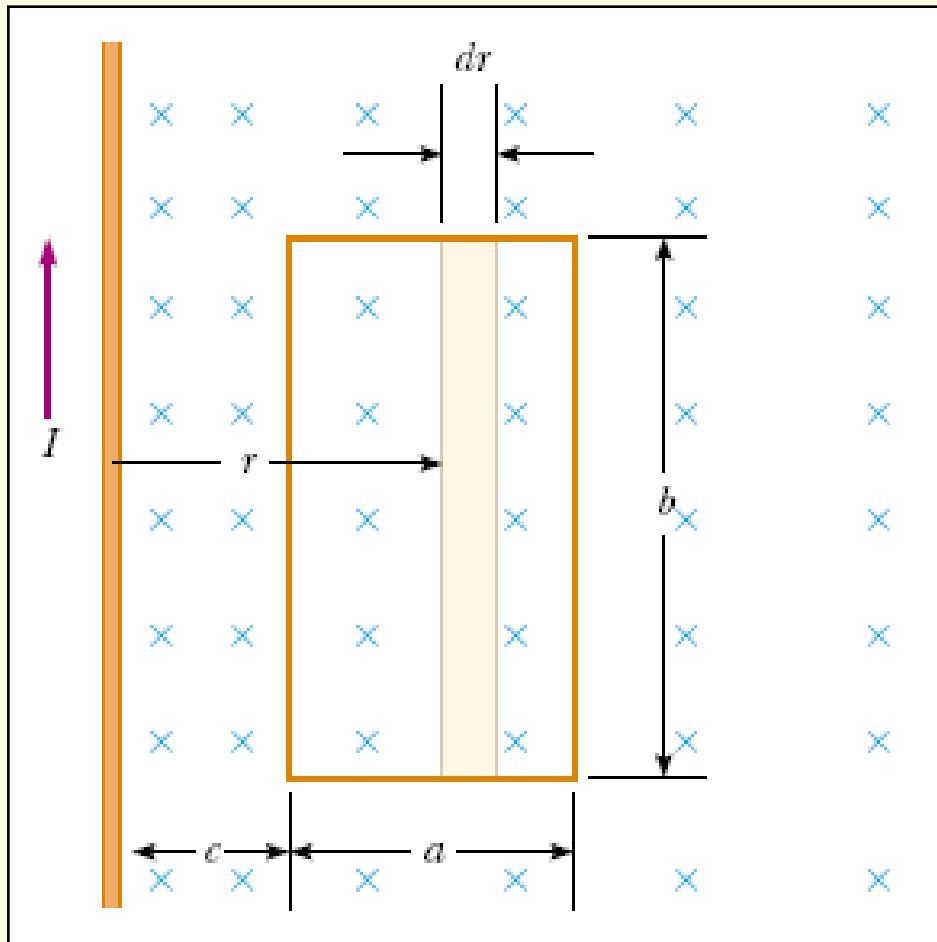


$$(a) \theta = 90^\circ \Rightarrow \Phi_B = 0$$

$$(b) \theta = 0^\circ \Rightarrow \Phi_B = BA$$



Contoh 4



Untuk gambar di samping, tentukanlah fluks magnetik yang melalui luasan persegi panjang di sebelah kanan kawat panjang berarus I .