

# Medan Magnetik

**Fisika Dasar II**  
**TIP, TP, UGM 2009**  
**Ikhsan Setiawan, M.Si.**  
***ikhsan\_s@ugm.ac.id***

**Pencetak sidik jari magnetik.**



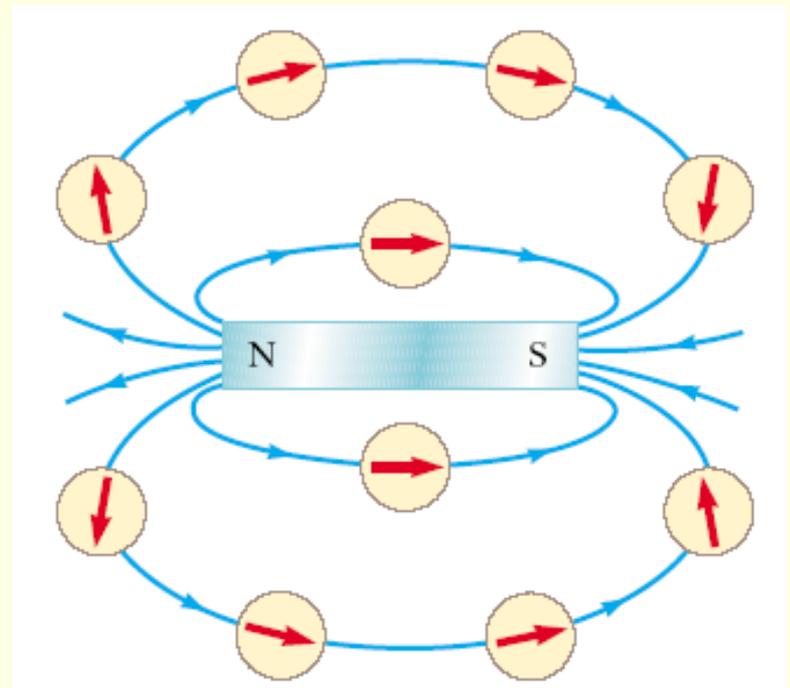
# Medan Magnetik

---

- Medan dan Gaya Magnetik
- Gaya Magnetik pada Konduktor Berarus
- Torque pada Simpul Berarus di dalam Medan Magnetik Homogen
- Gerak Partikel Bermuatan di dalam Medan Magnetik Homogen
- Gaya Lorentz

# Medan dan Gaya Magnetik

- Simbol medan magnetik : **B**
- Pada dasarnya, medan magnetik dihasilkan oleh muatan yang bergerak.
- Secara umum, penghasil medan magnetik disebut **magnet**.
- Tiap magnet memiliki dua kutub: Utara (N = north) dan Selatan (S = south).
- Arah medan **B** di suatu titik sesuai dengan arah jarum kompas di titik tersebut.
- Pola medan **B** dapat digambarkan dengan garis-garis medan magnetik, arah garis dari N ke S.



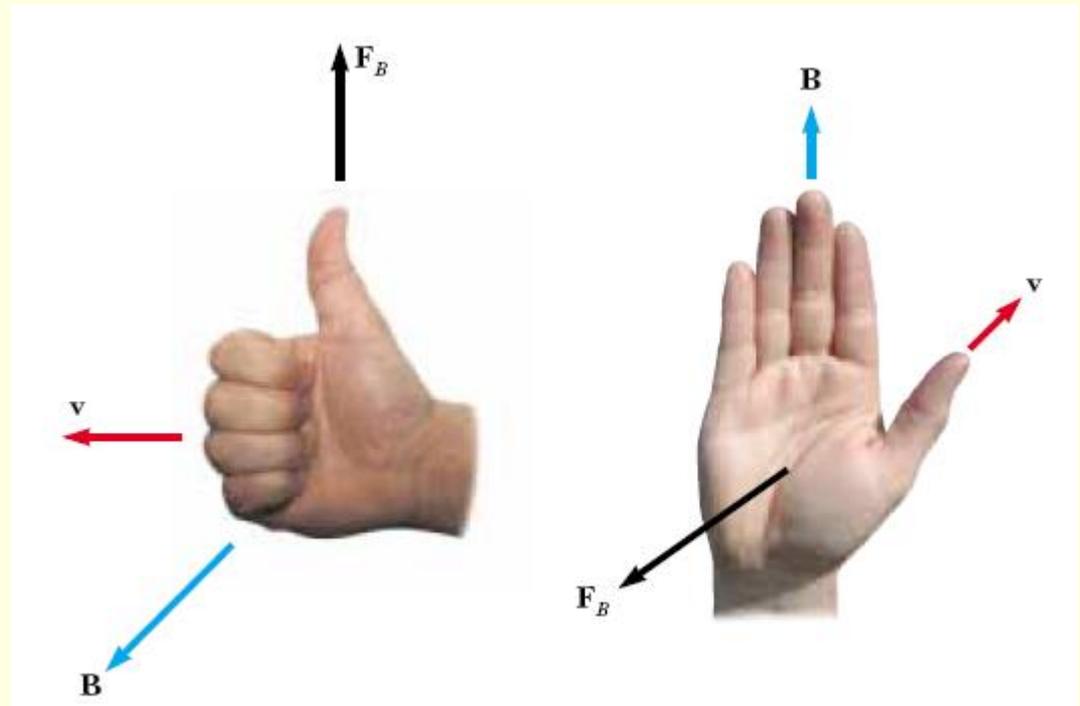
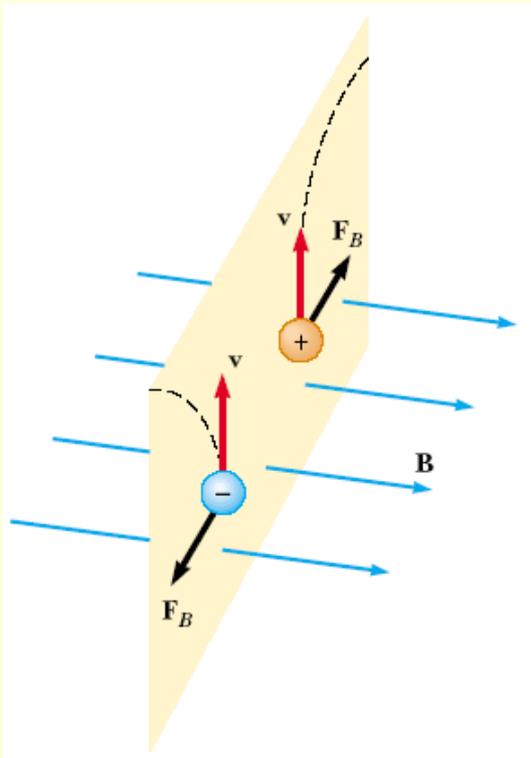
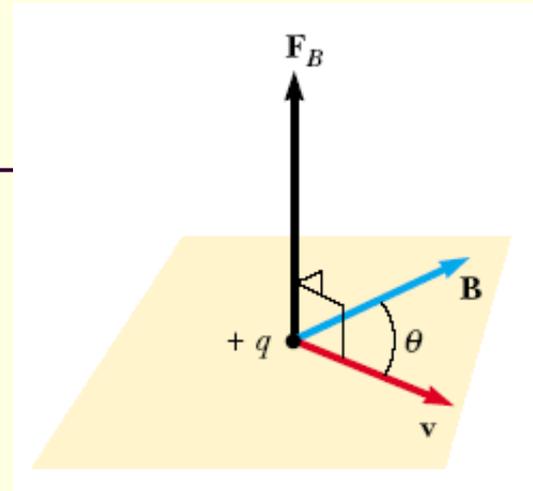
## Medan dan gaya magnetik (lanjutan)

- Medan magnetik  $\mathbf{B}$  di suatu titik dapat didefinisikan dari gaya magnetik  $\mathbf{F}_B$  yang bekerja pada partikel uji yang bermuatan  $q$  dan bergerak melalui titik tersebut dengan kecepatan  $\mathbf{v}$ .
- Hasil-hasil eksperimen:
  - Besar  $\mathbf{F}_B$  sebanding dengan besar muatan  $q$  dan kecepatan  $v$  dari partikel tersebut.
  - Arah  $\mathbf{F}_B$  bergantung pada arah kecepatan  $\mathbf{v}$  partikel dan arah medan magnetik  $\mathbf{B}$ .
  - Apabila partikel bergerak sejajar dengan medan  $\mathbf{B}$ , maka gaya magnetik yang bekerja pada bernilai nol.
  - Apabila  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$  tidak sejajar, maka  $\mathbf{F}_B$  tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$ .
  - Untuk muatan positif dan muatan negatif yang bergerak dengan  $\mathbf{v}$  yang sama di dalam  $\mathbf{B}$ , arah  $\mathbf{F}_B$  pada muatan positif berlawanan arah dengan arah  $\mathbf{F}_B$  pada muatan negatif.
  - Jika  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$  membentuk sudut  $\theta$ , maka besar gaya magnetik sebanding dengan  $\sin \theta$ .

## Medan dan gaya magnetik (lanjutan)

- Hasil-hasil eksperimen tersebut dapat dirangkum oleh persamaan:

$$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



## Medan dan gaya magnetik (lanjutan)

- Besar gaya magnetik pada partikel bermuatan:

$$F_B = |q| v B \sin \theta$$

dengan  $\theta$  adalah sudut kecil antara  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$ .

- $F_B = 0$  apabila  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$  searah ( $\theta = 0^\circ$ ) atau berlawanan arah ( $\theta = 180^\circ$ )
- $F_B$  maksimum apabila  $\mathbf{v}$  dan  $\mathbf{B}$  saling tegak lurus ( $\theta = 90^\circ$ )

## Medan dan gaya magnetik (lanjutan)

- Beberapa perbedaan penting antara gaya listrik dan gaya magnetik:
  - Gaya listrik bekerja sepanjang arah medan listrik; gaya magnetik bekerja sepanjang arah tegak lurus medan magnetik.
  - Gaya listrik bekerja pada muatan yang diam ataupun bergerak; gaya magnetik bekerja pada muatan yang bergerak.
  - Gaya listrik melakukan kerja dalam memindahkan muatan; gaya magnetik yang berkaitan dengan medan magnetik konstan tidak melakukan kerja pada muatan yang berpindah karena gaya magnetik tegak lurus terhadap pergeseran muatan.

## Medan dan gaya magnetik (lanjutan)

- Satuan medan magnetik dalam SI adalah newton per coulomb-meter per sekon yang disebut sebagai tesla (T):

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m/s}}$$

dan karena C/s adalah ampere (A) maka  $1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$

- Satuan medan magnetik non-SI yang sering digunakan adalah:

gauss (G)

dengan konversi:  $1 \text{ T} = 10^4 \text{ gauss}$ .

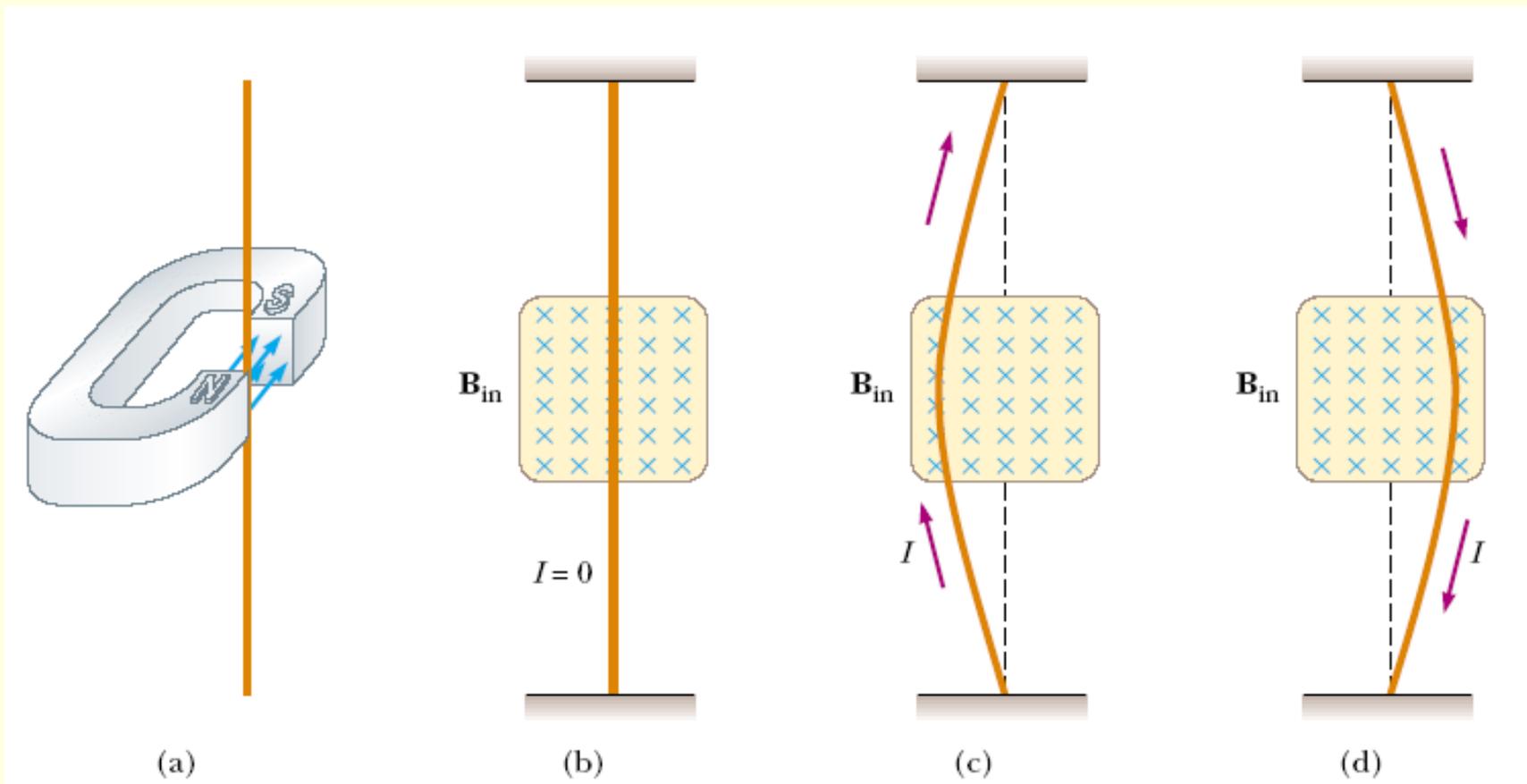
# Contoh 1

---

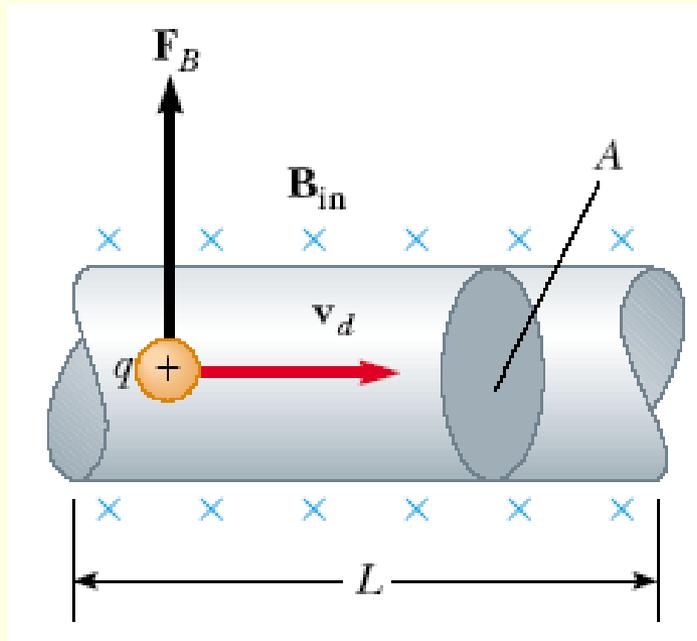
Sebuah elektron dalam tabung televisi bergerak ke bagian depan tabung dengan laju  $8 \times 10^6$  m/s sepanjang sumbu  $x$ . Terdapat kumparan berarus yang melingkupi leher tabung dan menghasilkan medan magnetik sebesar 0,025 T dengan arah  $60^\circ$  terhadap sumbu  $x$  dan terletak pada bidang  $xy$ . Tentukanlah besar dan arah gaya magnetik yang bekerja pada elektron tersebut (tentukan vektor gaya magnetik tersebut).

# Gaya Magnetik pada Konduktor Berarus

Demonstrasi gaya magnetik pada sebuah kawat berarus:



## Gaya Magnetik pada Konduktor Berarus (lanjutan)



Pada gambar di samping, gaya magnetik pada muatan  $q$  yang bergerak dengan kecepatan hanyut  $\mathbf{v}_d$  adalah  $q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$ .

Banyaknya muatan di dalam segment kawat adalah  $N = nAL$ ,

dengan  $n =$  rapat muatan volume.

Gaya magnetik total pada kawat adalah:

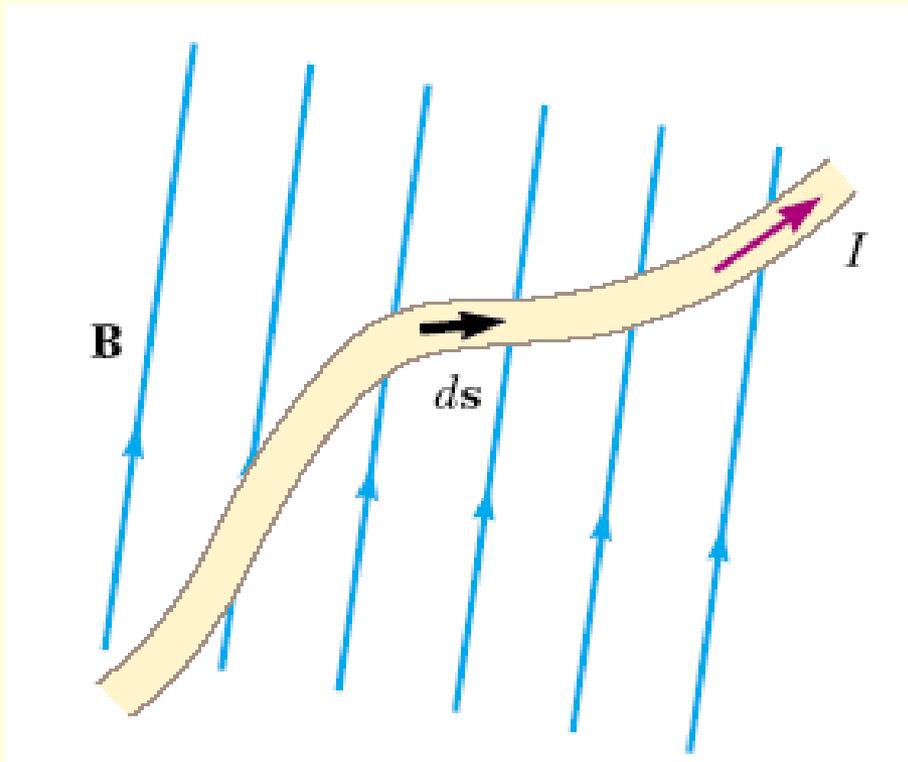
$$\mathbf{F}_B = N (q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}) = nAL (q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}).$$

Karena  $nevA$  adalah arus  $i$ , maka dapat ditulis:

$$\mathbf{F}_B = i \mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

dengan  $\mathbf{L}$  adalah vektor dalam arah arus  $i$  dan memiliki nilai sebesar panjang segmen  $L$ .

## Gaya Magnetik pada Konduktor Berarus (lanjutan)



Untuk kawat berbentuk sembarang di dalam  $\mathbf{B}$  homogen (gambar di samping):

$$d\mathbf{F}_B = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$$

dengan  $d\mathbf{s}$  adalah vektor elemen panjang kawat.

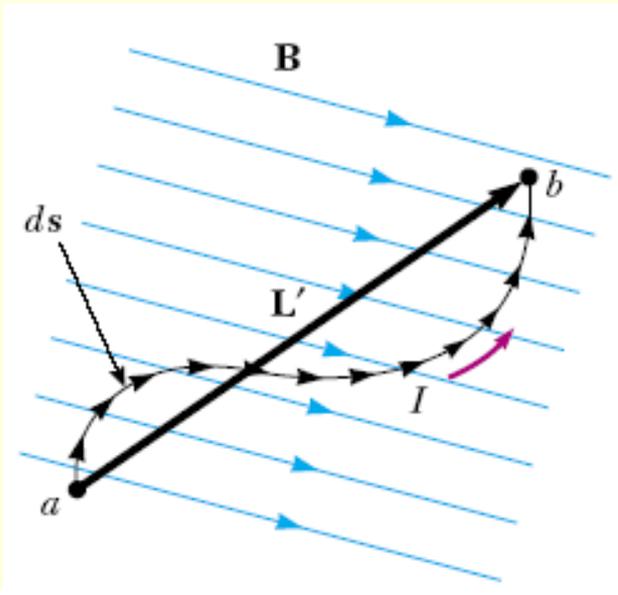
Gaya total:

$$\mathbf{F}_B = I \int_a^b d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$$

Ada 2 kasus ... ..

## Gaya Magnetik pada Konduktor Berarus (lanjutan)

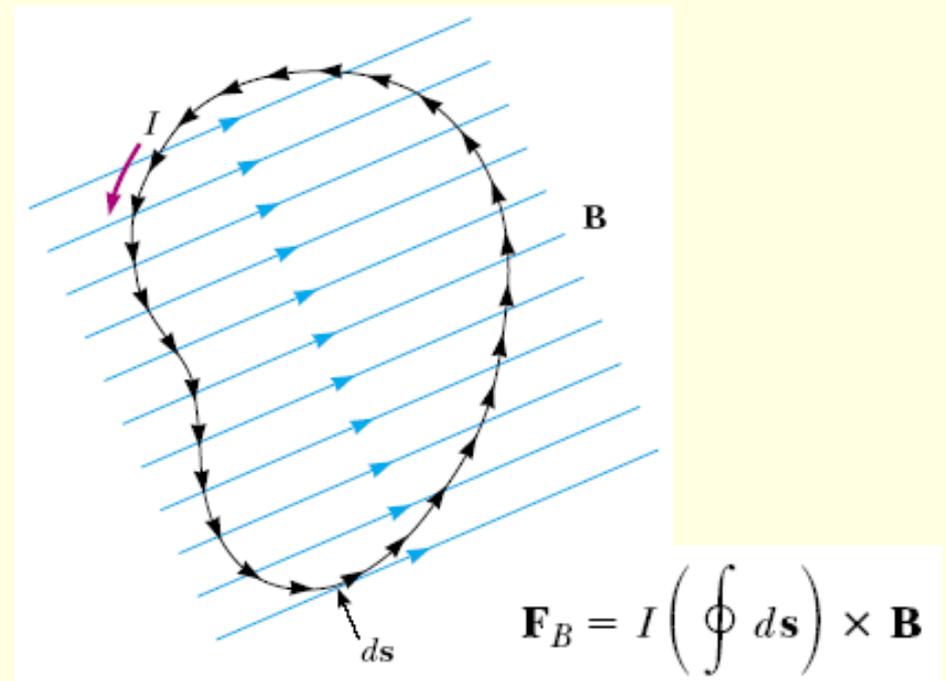
**Kasus 1:** Kawat berarus berupa kurva terbuka di dalam medan  $\mathbf{B}$  homogen



$$\mathbf{F}_B = I \left( \int_a^b ds \right) \times \mathbf{B}$$

$$\Rightarrow \boxed{\mathbf{F}_B = I \mathbf{L}' \times \mathbf{B}}$$

**Kasus 2:** Kawat berarus berupa kurva tertutup di dalam medan  $\mathbf{B}$  homogen

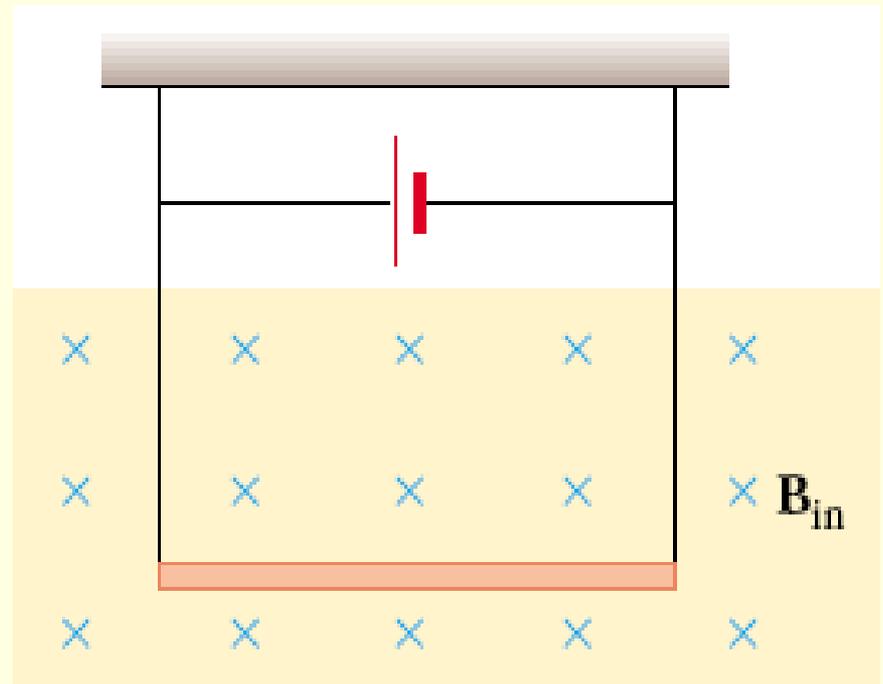


$$\mathbf{F}_B = I \left( \oint ds \right) \times \mathbf{B}$$

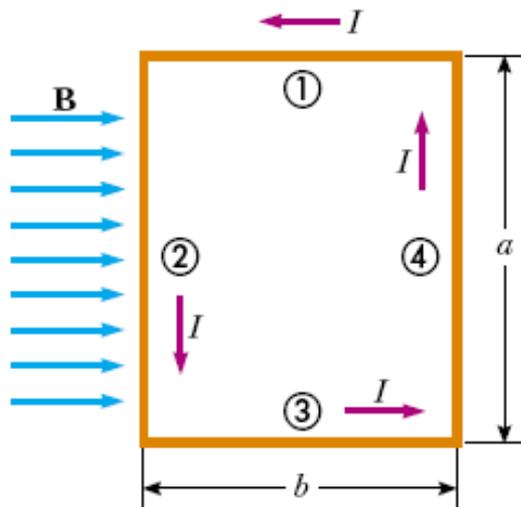
Karena  $\oint ds = 0$  maka  $\boxed{\mathbf{F}_B = 0}$

# Contoh 2

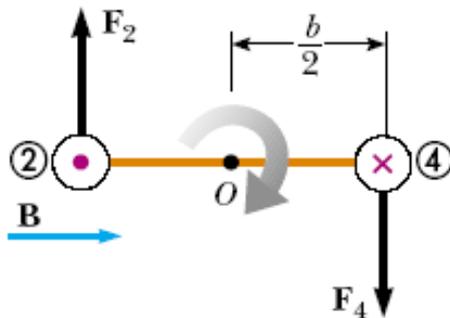
Sebuah batang konduktor digantung dengan dua utas kawat di dalam medan magnetik homogen 3,6 T, seperti pada gambar di samping. Batang konduktor tersebut memiliki massa per satuan panjang sebesar 0,04 kg/m. Tentukan besar dan arah arus yang harus mengalir dalam batang konduktor agar tegangan kedua kawat bernilai nol.



# Torka pada Simpal Berarus dalam Medan Magnetik Homogen



(a)



(b)

Tinjau: Simpal kawat persegi empat dengan luas  $ab$  berarus  $I$  berada dalam medan  $\mathbf{B}$  yang sejajar dengan bidang simpal (lihat gambar).

Pada sisi 1 dan 3:  $F_1 = F_3 = 0$ .

Pada sisi 2 dan 4:  $F_2 = F_4 = aBI$ .

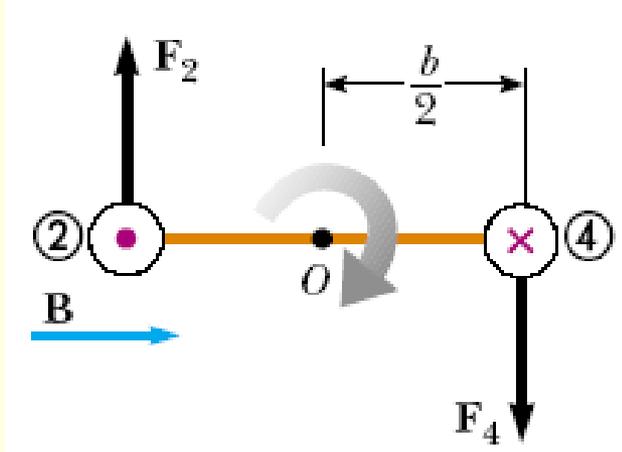
Pada gambar (a):

Arah  $F_2$  keluar bidang gambar.

Arah  $F_4$  masuk bidang gambar.

Gambar (b): simpal dilihat dari sisi 3.

## Torka pada Simpal Berarus ... (lanjutan)



$\mathbf{F}_2$  dan  $\mathbf{F}_4$ :

- Sama besar
- Berlawanan arah
- Tidak segaris
- Menghasilkan torka yang merotasikan simpal searah putaran jarum jam.

Besar torka maksimumnya adalah

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} \\ &= (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} \\ &= IabB\end{aligned}$$

Karena  $ab = A$  (luas simpal), maka:

$$\tau_{\max} = IAB$$

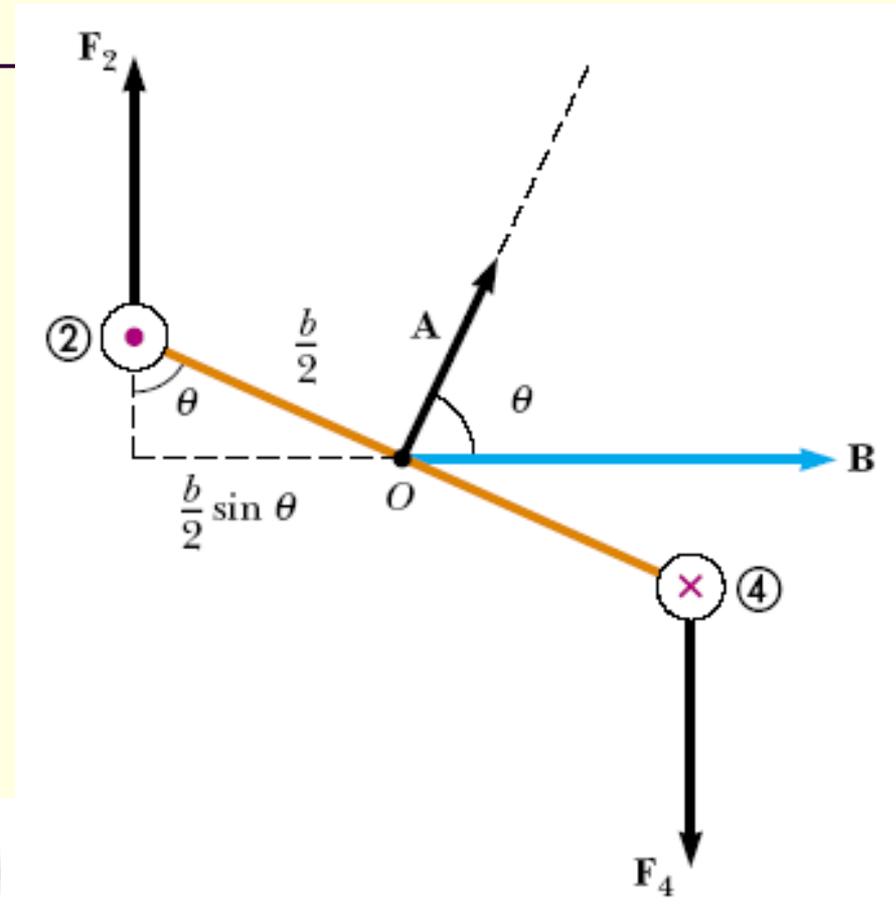
Torka maksimum terjadi hanya pada saat bidang simpal sejajar dengan medan  $\mathbf{B}$ .

## Torka pada Simpal Berarus ... (lanjutan)

Gaya  $F_1$  dan gaya  $F_3$  saling berlawanan dan melewati titik yang sama, sehingga saling meniadakan dan tidak menimbulkan torka.

Gaya  $F_2$  dan  $F_4$  menimbulkan torka, dan torka totalnya terhadap O adalah

$$\begin{aligned}\tau &= F_2 \frac{b}{2} \sin \theta + F_4 \frac{b}{2} \sin \theta \\ &= I_a B \left( \frac{b}{2} \sin \theta \right) + I_a B \left( \frac{b}{2} \sin \theta \right) \\ &= I_a b B \sin \theta \\ &= IAB \sin \theta\end{aligned} \quad \Rightarrow$$



$$\boldsymbol{\tau} = I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

## Torka pada Simpal Berarus ... (lanjutan)

Perkalian  $I\mathbf{A}$  didefinisikan sebagai **momen dipol magnetik**  $\boldsymbol{\mu}$  (sering juga disebut momen magnetik):

$$\boldsymbol{\mu} = I\mathbf{A}$$

sehingga torka dapat ditulis sebagai:

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$$

Jika simpal koil terdiri dari  $N$  koil, maka:

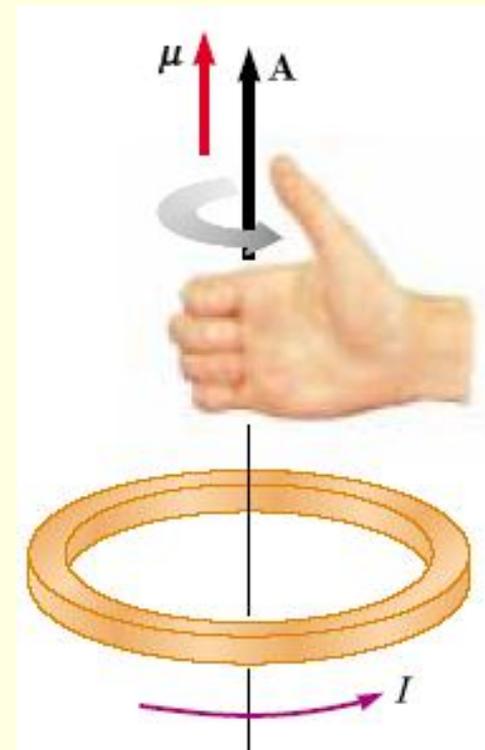
$$\boldsymbol{\tau} = N\boldsymbol{\mu}_{\text{loop}} \times \mathbf{B} = \boldsymbol{\mu}_{\text{coil}} \times \mathbf{B}$$

Energi potensial dipol magnetik di dalam medan magnetik  $\mathbf{B}$ :

$$U = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}$$

Cara menentukan arah vektor  $\mathbf{A}$ :

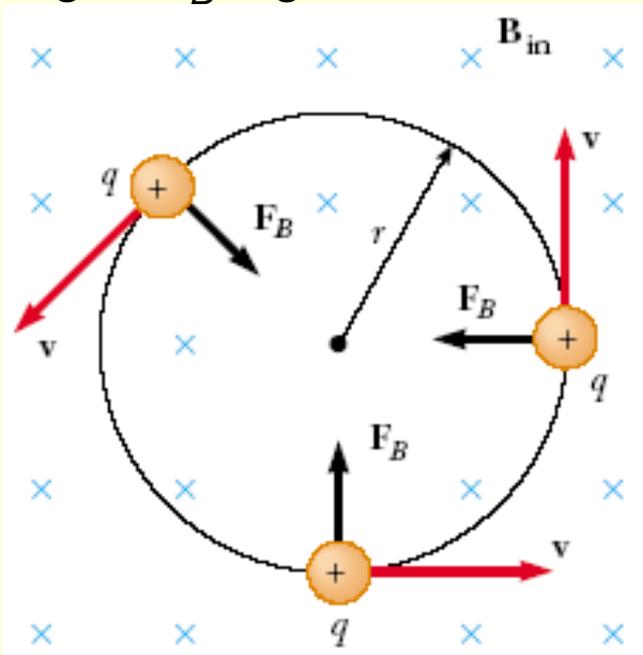
Aturan Tangan Kanan



# Gerak Partikel Bermuatan di dalam Medan Magnetik Homogen

Tinjau: partikel bermuatan positif bergerak di dalam medan  $\mathbf{B}$  dengan kecepatan  $\mathbf{v}$  yang tegak lurus  $\mathbf{B}$ .

Ingat:  $\mathbf{F}_B$  tegak lurus  $\mathbf{v}$ .



Berlaku:

$$\sum F = ma_c$$

$$F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

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

Kecepatan sudut partikel:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

(frekuensi siklotron).

Periode:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

# Contoh 3

---

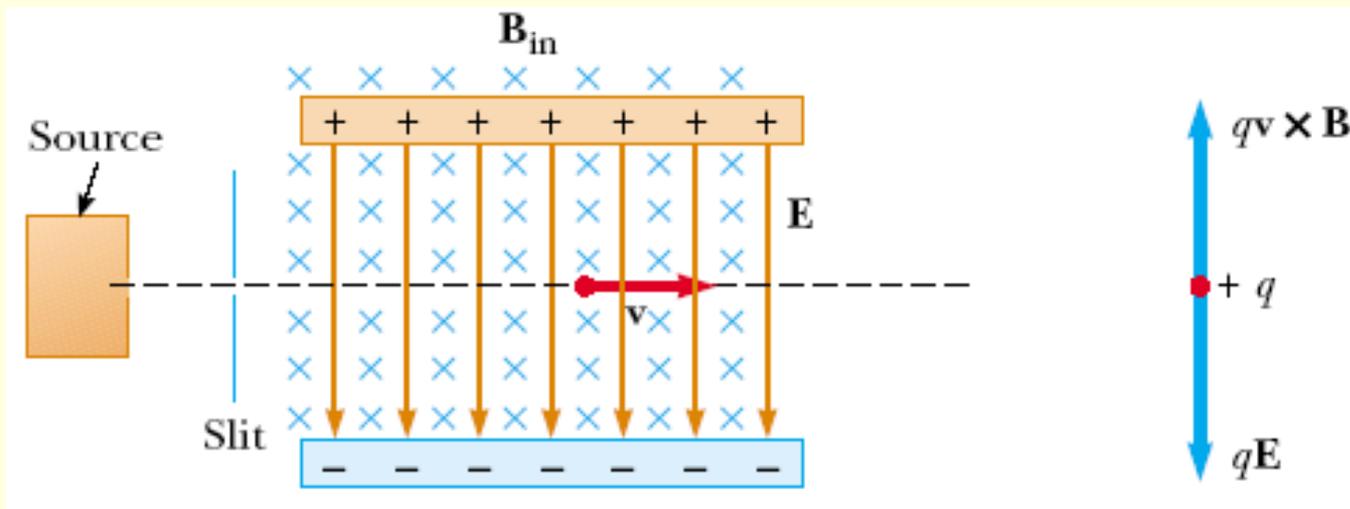
Sebuah ion positif dengan massa  $3,2 \times 10^{-26}$  kg, setelah dari keadaan diam dipercepat melalui beda potensial 833 V memasuki secara tegak lurus medan magnetik homogen sebesar 0,92 T. Tentukan jejari lintasan ion ini di dalam medan magnetik tersebut.

# Gaya Lorentz

Jika partikel bermuatan  $q$  bergerak dengan kecepatan  $\mathbf{v}$  di dalam medan listrik  $\mathbf{E}$  dan medan magnetik  $\mathbf{B}$ , maka partikel tersebut akan mengalami gaya total yang disebut sebagai **gaya Lorentz**:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Contoh Aplikasi: *Velocity Selector*



$$v = \frac{E}{B}$$

## Contoh aplikasi: Spektrometer Massa

