

MATA KULIAH : FISIKA DASAR II  
KODE MK : EL-122  
Dosen : Dr. Budi Mulyanti, MSi

### **Pertemuan ke-8**

#### **CAKUPAN MATERI**

1. MAGNET
2. FLUKS MAGNETIK
3. GAYA MAGNET PADA SEBUAH ARUS
4. MUATAN SIRKULASI
5. EFEK HALL

#### **SUMBER-SUMBER:**

1. Frederick Bueche & David L. Wallach, Technical Physics, 1994, New York, John Wiley & Sons, Inc
2. Tipler, Fisika Untuk sains dan Teknik (terjemah oleh Bambang Soegijono), Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991
3. Gancoli Douglas C, Fisika 2 (terjemah), 2001, Penerbit Erlangga, Edisi 5.
4. Sears & Zemansky, Fisika Untuk Universitas 3 (Optika & Fisika Modern), 1991, Jakarta-New York, Yayasan Dana Buku Indonesia
5. Frederick J. Bueche, Seri Buku Schaum Fisika, 1989, Jakarta, Penerbit Erlangga
6. Halliday & Resnick, Fisika 2, 1990, Jakarta, Penerbit Erlangga
7. Sutrisno, Seri Fisika Dasar (Fisika Modern), 1989, Bandung, Penerbit ITB

## **KEMAGNETAN**

### **4.1 MAGNET**

Tahun 1820 Oersted menyatakan: arus dalam kawat dapat menghasilkan efek –efek magnetik yaitu mengubah orientasi jarum kompas.

Medan magnet di definisikan sebagai ruang disekitar magnet atau konduktor yang mengangkut arus. Vektor medan magnet  $\vec{B}$  secara kuantitatif dinyatakan dengan induksi magnet. Induksi magnet dinyatakan dengan garis – garis induksi.

- Garis singgung, garis induksi di setiap titik adalah arah  $\vec{B}$  tersebut.
- Banyaknya garis persatuan luas penampang yang tegak lurus garis – garis tersebut sebanding dengan besar  $\vec{B}$ .

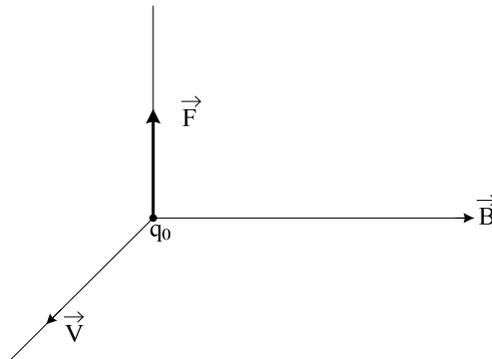
$\vec{B}$  besar  $\rightarrow$  garis – garis induksi berdekatan

$\vec{B}$  kecil  $\rightarrow$  garis – garis induksi berjauhan

### Definisi $\vec{B}$

$\vec{B}$  dapat didefinisikan melalui efek medan magnet tersebut terhadap benda, misalnya muatan yang bergerak kerana ada medan magnet. Muatan uji  $+q_0$  ditembakkan melalui titik P (dijadikan titik asal koordinat cartesian 3-dimensi) dengan kecepatan  $\vec{v}$ . Maka ada gaya (yang bersifat membelokan muatan uji) yang tegak lurus  $\vec{v}$ . Gaya tersebut bekerja terhadap muatan uji, hanya jika ada medan magnet.

Jika arah  $\vec{v}$  diubah (namun tetap melalui P) maka arah F berubah, walaupun masih tegak lurus  $\vec{v}$ . Untuk dua arah  $\vec{v}$  tertentu (dua arah yang berlawanan) diperoleh harga  $F = 0$ ; misal adalah arah  $\vec{B}$ .



Setelah arah  $\vec{B}$  diperoleh arahkan  $\vec{v}$  supaya muatan uji  $q_0$  bergerak dalam arah tegak lurus  $\vec{B}$ , dalam hal ini diperoleh  $F_{maks}$ .

Besar  $\vec{B}$  didefinisikan sebagai :

$$B = \frac{F_{maks}}{q_0 v} = \frac{F_{\perp}}{q_0 v}; F_{\perp} \text{ yaitu } \vec{v} \perp \vec{B}$$

Secara umum :

Jika muatan uji pos  $q_0$  ditambahkan dengan kecepatan  $\vec{v}$  melalui sebuah titik P dan jika gaya  $\vec{F}$  bekerja terhadap muatan yang bergerak tersebut, maka di titik P tersebut ada medan magnet  $\vec{B}$ , yang memenuhi hubungan :

$$\vec{F} = q_0 \vec{v} \times \vec{B} \text{ atau } F = q_0 v B \sin \theta$$

$\vec{v}$ ,  $\vec{F}$  dan  $q_0$  adalah kuantitas – kuantitas yang diukur.  $\theta$  sudut antara  $\vec{v}$  dan  $\vec{B}$ .

- Jika  $\vec{v} = 0$  (muatan diam)  $\rightarrow$  gaya magnet  $\vec{F} = 0$
- Jika  $\vec{v} \parallel \vec{B} \rightarrow \vec{F} = 0$
- Jika  $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow F_{maks} \text{ yaitu } |F| = q_0 v B$

Analog dengan medan listrik :

Jika muatan uji  $q_0$  ditempatkan di titik P dan jika sebuah gaya listrik  $\vec{F}$  bekerja pada muatan uji tersebut, maka ada gaya listrik  $\vec{E}$  yang memenuhi hubungan :

$$\vec{F} = q_0 \vec{E} ; q_0 \text{ dan } \vec{F} \text{ adalah kuantitas yang diukur.}$$

$$\text{Satuan } \vec{B} : \frac{[\text{newton}]}{[\text{coulomb}][\text{ms}^{-1}]} = \frac{[\text{newton}]}{[\text{amp}][\text{m}]} = \text{tesla } (T) = \frac{\text{weber}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ tesla} = 1 \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} = 10^4 \text{ gauss}$$

Hukum Lorentz : jika sebuah partikel bermuatan bergerak melalui titik dimana ada medan listrik dan medan magnet :  $\vec{F} = q_0 \vec{E} + q_0 \vec{v} \times \vec{B}$

Hukum lorentz sebagai penghargaan kepada H.A Lorentz yang telah berjasa dalam penemuan konsep – konsep medan listrik dan medan magnet.

Contoh :

Sebuah medan magnet uniform yang mengarah horizontal dari selatan ke utara besarnya 1,5 T. Jika sebuah proton yang energinya 5,0 Mev bergerak dalam arah vertikal ke bawah melalui medan ini. Berapa gaya yang bekerja pada proton tersebut.

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

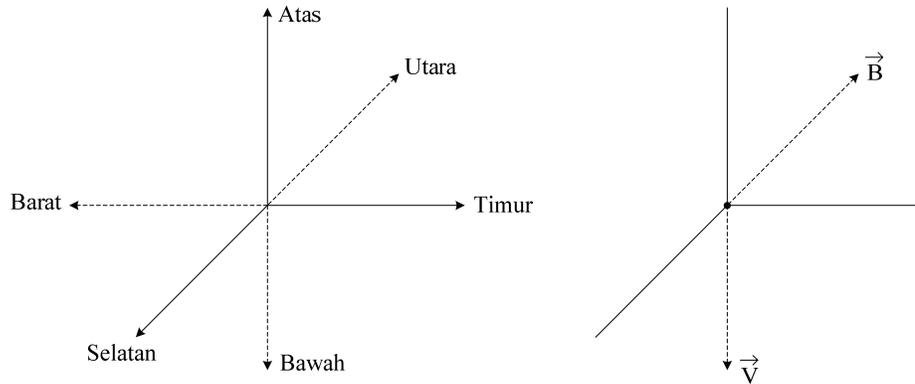
$$v = \sqrt{\frac{2E}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \times 5 \times 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19}}{1,7 \times 10^{-27}}}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$v_p = 3,1 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

$$m_p = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$q_p = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$



Dari rumus

$$\vec{F} = q_0 \vec{v} \times \vec{B}$$

$$|F| = q_0 v B$$

$$|F| = (1,6 \times 10^{-19})(3,1 \times 10^7)(1,5)$$

$$|F| = 7,44 \times 10^{-12} \text{ N arah ke timur}$$

$$-\hat{k} \otimes -\hat{i} = -\hat{k} \times \hat{i} = \hat{j} \text{ arah ke timur}$$

Jika partikel bermuatannya diganti elektron, maka arah gaya berbelok ke barat.

#### 4.2. FLUKS MAGNETIK $\phi_M$

Fluks magnet  $\phi_M$  yang menyebar ke sebuah permukaan di deferensial dengan cara yang sama dengan fluks listrik  $\phi_E$ , yaitu integral permukaan komponen normal  $B$  pada permukaan tersebut .

$$d\phi_M = B_n dA = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\phi_M = \int d\phi_M = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$\phi_M$  = fluks total

Kasus khusus jika  $B \perp A$  dan  $B$  uniform, maka :

$$\phi_M = BA$$

Satuan :

$$\begin{aligned}
 \phi_M &= \frac{[\text{newton}]}{[\text{coulomb}]} \cdot \frac{[\text{m}^2]}{[\text{ms}^{-1}]} \\
 &= \frac{[\text{newton}]}{[\text{coulomb}]} \cdot \frac{[\text{m}]}{[\text{s}^{-1}]} \\
 &= \frac{[\text{newton m}]}{[\text{amp}]} \\
 &= \text{weber}
 \end{aligned}$$

Jadi  $\phi_M$  dalam  $[Wb]$  atau  $[Tesla][m^2]$ , sehingga  $1 \text{ Tesla} = \frac{\text{weber}}{m^2}$

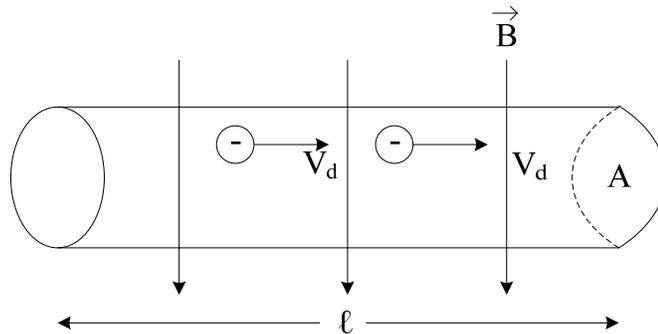
Artinya induksi magnet sama dengan fluks persatuan luas daerah yang tegak lurus medan magnet. Sehingga induksi magnet disebut juga rapat fluks.

Jika jumlah garis persatuan luas (yang tegak lurus arah garis tersebut) sama dengan besar  $B$ , maka satu garis induksi berarti  $q$  Weber.

Fluks total : jumlah garis induksi yang menembus permukaan tersebut.

Induksi (rapat fluks) : jumlah garis persatuan luas.

### 4.3 GAYA MAGNET PADA SEBUAH ARUS



Arus adalah kumpulan muatan yang bergerak

Jika  $n$  adalah banyaknya elektron persatuan volume, konduktor telah dibahas:

$$j = nq_e v_d$$

$$v_d = \frac{j}{nq_e}$$

Elektron yang bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}_d \perp \vec{B}$  akan memperoleh gaya magnet :

$$F = q_e v_d B = q_e \frac{j}{nq_e} B$$

$$F = j \frac{B}{n} \leftarrow \text{gaya untuk satu elektron}$$

Karena dalam konduktor tersebut ada  $n \cdot \text{vol} = nA\ell$  elektron, maka :

$$F = A \ell n \frac{jB}{n} = i \ell B$$

Ini hanya berlaku bila  $\vec{\ell} \perp \vec{B}$

Secara umum :

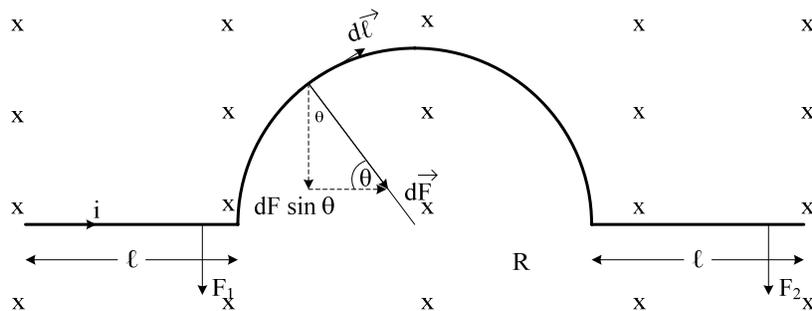
$$\vec{F} = i \vec{\ell} \times \vec{B}$$

Atau

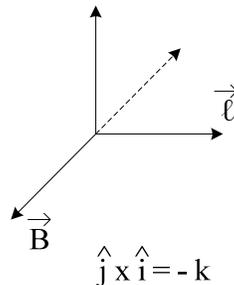
$$d\vec{F} = i d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

Contoh :

Kawat dibengkokkan mengangkut arus  $i$  dan ditempatkan dalam medan magnet uniform  $\vec{B}$  yang keluar bidang gambar. Hitung gaya yang bekerja pada kawat ?



Gaya pada bagian lurus  $F_1 = F_3 = i \ell B$  arah ke bawah



Gaya pada bagian yang bengkok

$$F_2 = \int_0^\pi dF \sin \theta$$

$$F_2 = \int_0^\pi i B R \sin \theta d\theta$$

$$F_2 = i B R [-\cos \theta]_0^\pi$$

$$F_2 = i B R [ -(-1) - (-1) ]$$

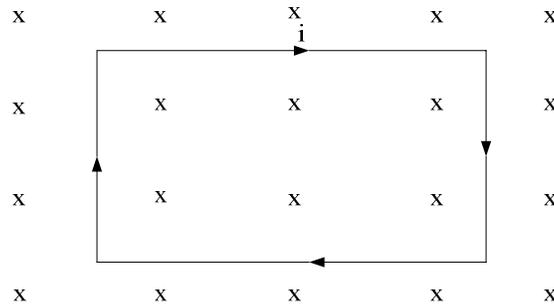
$$F_2 = 2iBR$$

Jadi, gaya resultan  $F_1 + F_2 + F_3 = 2iB\ell + 2iBR$

$$F_R = 2iB(\ell + R)$$

Sama dengan gaya pada kawat lurus dengan panjang  $2(\ell + R)$

### Momen Torsi (Torka) Pada Sebuah Loop Arus



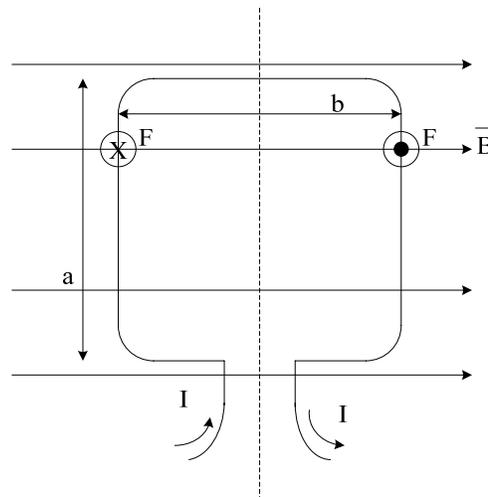
Momen torsi cenderung merotasi kumparan di sekitar sumbu vertikalnya. Misalkan sebuah loop kawat segiempat siku-siku yang panjangnya  $a$  dan lebar  $b$  membentuk koil dan ditempatkan dalam sebuah medan magnet uniform  $\vec{B}$ .

Besarnya momen torsi  $\tau'$

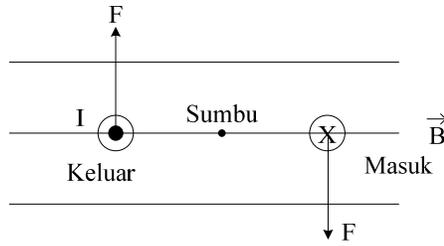
$$\tau' = i ab B \sin \theta$$

Momen torsi ini bekerja pada tiap-tiap lilitan koil, maka jika ada  $N$  lilitan momen torsi pada seluruh koil adalah  $\tau = \tau'N = Ni ab B \sin \theta$ ;  $A = ab$  =luas koil

$$\tau = Ni AB \sin \theta$$



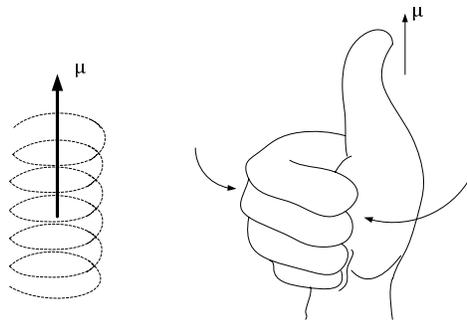
Tapi ternyata persamaan ini tidak hanya untuk loop berbentuk bidang segiempat siku-siku.



Dengan mendefinisikan :  $\vec{\mu} = Ni\vec{A}$  momen dipol magnet

Maka  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Momen dipol magnet  $\mu$  harus diambil terletak sepanjang sebuah sumbu yang tegak lurus bidang loop. Berlaku aturan tangan kanan.



Gambar. Aturan tangan kanan, ibu jari arah  $\mu$ , jari-jari melengkung mengelilingi loop dalam arah arus.

Untuk mengubah orientasi dipol harus ada usaha luar. Orientasi yang ada dianggap sebagai energi potensial. Bila  $\mu \perp B$  maka usaha nol.

$$U = \int_{90^\circ}^{\theta} \tau d\theta = \mu B \int_{90^\circ}^{\theta} \sin \theta = -\mu B \cos \theta$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Dalam medan listrik  $U = -\vec{P} \cdot \vec{E}$

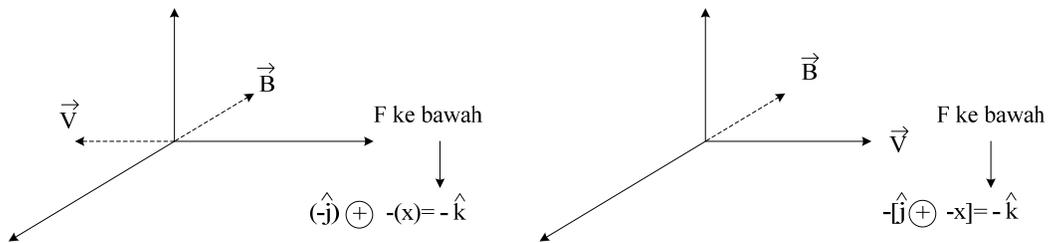
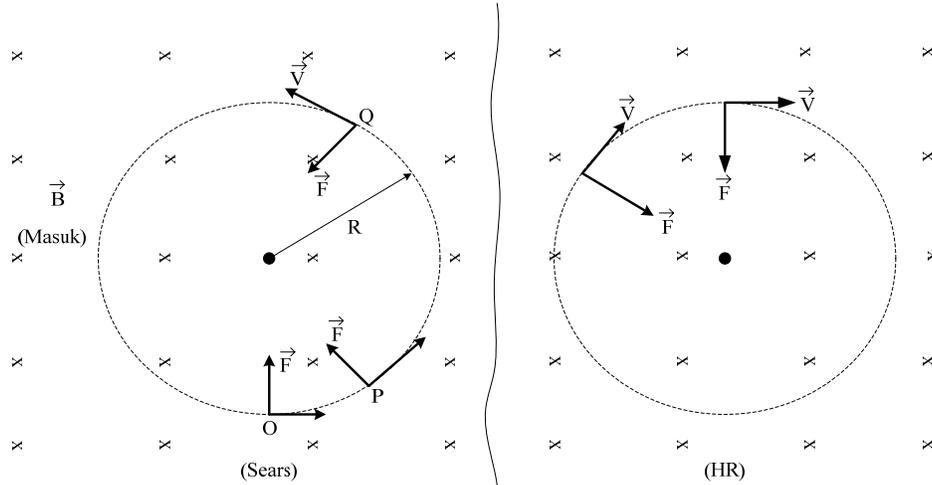
#### 4.4 MUATAN SIRKULASI

##### Orbit Partikel Bermuatan Dalam Medan Magnet

Misalkan :

Partikel bermuatan positif

Partikel bermuatan negatif



Kecepatan  $v$  dalam arah tegak lurus  $\vec{B}$ . Sebuah gaya  $F$  yang besarnya  $qvB$  bekerja terhadap partikel itu di titik tertentu. Karena gaya tegak lurus kecepatan, maka tidak akan mempengaruhi besar kecepatan (percepatan nol) namun mempengaruhi arahnya (seperti gaya sentripetal).

Nampak seperti di titik-titik P, Q arah gaya dan arah kecepatan berubah –ubah (namun besarnya konstan), karena  $q, v$  dan  $B$  konstan. Dengan demikian partikel bergerak karena pengaruh gaya yang besarnya tetap dan arahnya tegak lurus kecepatan partikel, sehingga orbit partikel berbentuk lingkaran, dengan kecepatan tangensial  $v$  konstan. Karena gaya  $F$  gaya sentripetal, maka  $F = m \frac{v^2}{R}$  sehingga :

$$F = m \frac{v^2}{R} = qvB$$

$$R = \frac{mv}{qB} \rightarrow v = \frac{qBR}{m}$$

Jika kecepatan awal tidak tegak lurus medan  $B$ , partikel tidak dalam orbit lingkaran.

$R \sim mv$  (momentum partikel)

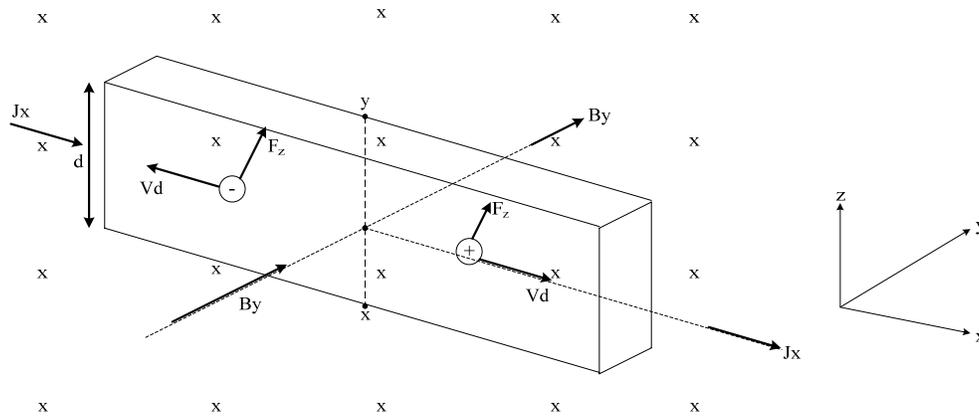
Ingat :

Usaha yang dilakukan oleh gaya magnet terhadap partikel bermuatan selalu  nol, karena gaya ini tegak lurus arah gerak. Satu-satunya efek gaya magnet adalah mengubah arah gerak.

$$\text{Frekuensi} = \frac{\omega}{2\pi}; \text{kecepatan sudut } \omega = \frac{v}{R} = \frac{qBR}{Rm} = \frac{qB}{m}$$

#### 4.5 EFEK HALL

Adanya gaya pada muatan bergerak dalam konduktor yang berada dalam medan magnet. Konduktor berbentuk lempengan pipih.



Muatan-muatan bebas pembawa arus didorong ke atas lempengan oleh gaya magnet  $qvB$  (gaya non-elektrostatik)

$$F_n = qV_d B = qE_n$$

Sehingga  $E_n = v_d B$

$F_n \equiv$  gaya non-elektrostatik

$E_n \equiv$  medan non-elektrostatik

Dalam hal ini karena pembawa muatan adalah elektron, maka akan ada muatan negatif berlebihan menumpuk di pinggir atas lempengan dan meninggalkan muatan positif berlebih di bawah. Ini terjadi sampai medan elektrostatik  $\vec{E}_e = -\vec{E}_n$ ;  $\vec{E}_e =$  medan hall (dalam konduktor). Karena arus transversal akhir  $E_H = 0 \Rightarrow$  konduktor berada pada rangkaian terbuka dalam arah transversal dan beda potensial antara tepi-tepi lempeng dapat diukur dengan potensiometer sama dengan ggl (gaya gerak listrik) Hall dalam lempeng.

Efek Hall dapat menjelaskan proses konduksi. Terbukti untuk logam. Tepi atas lempeng memang bermuatan negatif terhadap tepi bawah, sehingga nyatalah membawa muatan dalam logam adalah elektron.

Medan elektrostatis (medan Hall) dalam arah sama dan berlawanan arah dengan gaya magnet. Seperti dapat ditulis sebagai  $E_z \equiv E_H$

$$E_H = E_z = E_n = vB_y *$$

Sedangkan rapat arus

$$J_x = nqv$$

$$\rightarrow v = \frac{J_x}{nq}$$

Masukkan ke \*

$$E_z = \frac{J_x}{nq} B_y$$

Atau

$$\boxed{nq = \frac{J_x B_y}{E_z}}; nq = \frac{J_x B_y}{E_H}$$

$$\left. \begin{array}{l} J_x = \frac{i_x}{A} \\ B_y \\ E_z \end{array} \right\} \text{Diketahui} \rightarrow \text{diperoleh jumlah partikel elektron pembawa muatan (elektron konduksi) persatuan volume}$$

$$\boxed{E_z \equiv E_H = \frac{V_{xy}}{d}} \text{ diukur dengan potensiometer}$$

**Contoh 1.** muatan sirkulasi

Sebuah elektron dengan energi 10 eV bersirkulasi di dalam sebuah bidang tegak lurus medan magnet uniform sebesar  $1,0 \times 10^{-4}$  T (1 gauss).

a) Berapa jari-jari lintasan (orbit) nya ?

$$V = \sqrt{\frac{2E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19}}{9,11 \times 10^{-31}}} = 1,9 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

$$R = \frac{m_e V}{q_e B} = \frac{(9,11 \times 10^{-31})(1,9 \times 10^6)}{(1,6 \times 10^{-19})(10^{-4})} = 10,81 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$R = 0,108 \text{ cm}$$

b) Berapakah frekuensi cyclotron ?

$$\omega = \frac{V}{R}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{V}{R} = 2,8 \times 10^6 \text{ Hz}$$

c) Berapa perioda perputaran T

$$T = \frac{1}{f} = 3,57 \times 10^{-7} \text{ s}$$

**Contoh 2: Efek Hall**

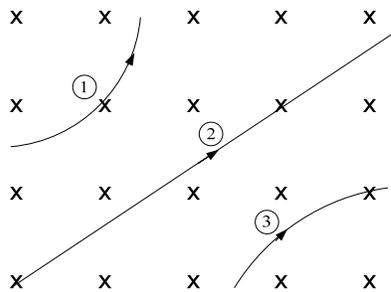
Sebuah pita tembaga yang lebarnya 2,0 cm dan tebalnya 1,0 mm ditempatkan di dalam sebuah medan magnetik dengan  $B = 1,5 T$ . Jika sebuah arus sebesar 500 A dialirkan di dalam pita tersebut, berapakah perbedaan potensial Hall yang muncul melalui pita tersebut?

Jawab:

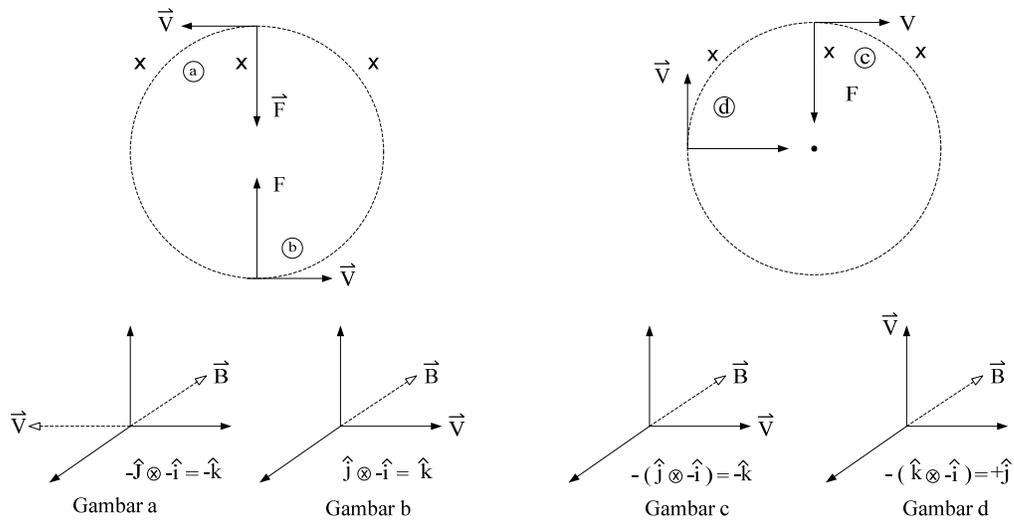
$$|\vec{j}| = \frac{i}{A} = \frac{500}{(2 \times 10^{-2})(1 \times 10^{-3})}$$
$$E_H = \frac{jB}{nq_e}$$
$$\frac{V_{xy}}{d} = \frac{jB}{nq_e} \rightarrow V_{xy} = \frac{jB}{nq_e} d$$
$$n = 8,4 \times 10^{28} / m^3$$

**Soal-soal (Halliday & Resnick):**

1. Partikel – partikel 1, 2, dan 3 mengikuti jalan yang diperlihatkan gambar di bawah ini sewaktu melewati medan magnet. Partikel-partikel apakah itu?



- 1) partikel positif
- 2) partikel netral
- 3) partikel negatif



2. Ion *chlorine* ( $q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) ditembakkan dalam arah sumbu x positif dengan  $v = 3 \times 10^{-19} \text{ m/s}$  ke dalam medan magnet *uniform* ( $B = 0,035 \text{ T}$ ) yang arahnya keluar  $\perp$  bidang  $x - y$ .

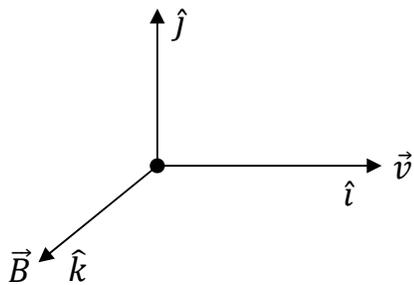
- Hitung gaya yang dialami ion *chlorine* tersebut!
- Jika ion tersebut membentuk lintasan lingkaran. Lingkaran tersebut berada di atas / bawah sumbu x.

**Jawab**

$$q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$v = 3 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$B = 0,035 \text{ T}$$



- $|F| = q v B$   
 $|F| = (-1,6 \times 10^{-19})(3 \times 10^4)(0,035)$   
 $|F| = 1,68 \times 10^{-16} \text{ N}$

b.  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$

(-)  $\hat{i} \otimes \hat{k}$

$\vec{F} = +\hat{j} \rightarrow$  arah ke atas.

Berarti lingkaran berada diatas sumbu x.