



## REPUBLIK INDONESIA KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka pelindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan

: EC00201822796, 2 Agustus 2018

**Pencipta** 

Nama

Alamat

Kewarganegaraan

Pemegang Hak Cipta

Nama

**Alamat** 

Kewarganegaraan

Jenis Ciptaan

Judul Ciptaan

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia

Jangka waktu pelindungan

Nomor pencatatan

Joko Siswanto, S.Pd., M.Pd, Prof. Dr. Endang Susantini,

M.Pd, , dkk

 Universitas PGRI Semarang Jl. Dr. Cipto-Lontar No. 1 (Sidodadi Timur), Semarang, Jawa Tengah, 50125

: Indonesia

Joko Siswanto, S.Pd., M.Pd , Prof. Dr. Endang Susantini,

M.Pd,,dkk

: Universitas PGRI Semarang Jl. Dr. Cipto-Lontar No. 1 (Sidodadi Timur), Semarang, Jawa Tengah, 50125

: Indonesia

Buku

Fisika Dasar, Seri: Listrik Arus Searah Dan Kemagnetan

2 Agustus 2018, di Semarang

Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

000113342

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS. NIP. 196611181994031001

## LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat					
1	Joko Siswanto, S.Pd., M.Pd	Universitas PGRI Semarang Jl. Dr. Cipto-Lontar No. 1 (Sidodadi Timur)					
2	Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd	Universitas Negeri Surabaya Jl. Raya Kampus Unesa, Lidah Wetan, Lakarsantri					
3	Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.	Universitas Negeri Surabaya Jl. Raya Kampus Unesa, Lidah Wetan, Lakarsantri					

## LAMPIRAN PEMEGANG

No	Nama	Alamat					
1	Joko Siswanto, S.Pd., M.Pd	Universitas PGRI Semarang Jl. Dr. Cipto-Lontar No. 1 (Sidodadi Timur)					
2	Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd	Universitas Negeri Surabaya Jl. Raya Kampus Unesa, Lidah Wetan, Lakarsantri					
3	Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.	Universitas Negeri Surabaya Jl. Raya Kampus Unesa, Lidah Wetan, Lakarsantri					





# Fisika Dasar

Seri:

Listrik Arus Searah dan Kemagnetan

Joko Siswanto Endang Susantini Budi Jatmiko

# FISIKA DASAR

Seri:

Listrik Arus Searah dan Kemagnetan

Joko Siswanto Endang Susantini Budi Jatmiko



## Fisika Dasar, Seri: Listrik Arus Searah dan Kemagnetan

Penulis: Joko Siswanto, Endang Susantini, dan Budi Jatmiko

**ISBN: 978-602-5784-14-9** xii: 89/18,2 x 25,7 cm



#### Penerbit:

**UPGRIS Press** 

Jl. Dr. Cipto-Lontar No. 1 Gedung Balairung Lantai 2

Universitas PGRI Semarang, Indonesia

**Mobile** : 0822-2067-9623/0812-2688-8223

Email : upgrispress@gmail.com

Cetak, Mei 2018

## Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa seijin tertulis dari penerbit.

Joko Siswanto, Endang Susantini, Budi Jatmiko

Fisika Dasar, Seri: Listrik Arus Searah dan Kemagnetan

Semarang, UPGRIS Press, 2018

## PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT dengan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Buku Fisika Dasar, seri: Listrik Arus Searah dan Kemagetan. Buku ini ditulis untuk mendukung model pembelajaran *Investigation-Based Multiple Representation (IBMR)*, untuk meningkatkan kemampuan representasi dan pemecahan masalah fisika. Buku ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi dalam pembelajaran fisika dasar di perguruan tinggi sebagai upaya pengembangan kecakapan abad 21, serta tidak menutup kemungkinan sebagai salah satu alternatif referensi pengembangan bahan ajar di sekolah menengah.

Buku ini secara khusus membahas listrik arus searah dan kemagnetan. Adapun materinya terdiri atas: rangkaian arus searah, medan dan gaya magnet, serta dilengkapi dengan materi gaya gerak listrik induksi. Sesuai dengan tujuan penulisan buku ini, maka mater-materi tersebut dikengkapi dengan belajar representasi dan pemecahan masalah fisika.

Kami mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah membantu sehingga buku ini dapat diselesaikan. Semoga buku ini memberikan banyak manfaat bagi pembaca serta mendukung pendidikan fisika yang berkualitas.

Penulis

# DAFTAR ISI

PENGANTAR	111
DAFTAR ISI	V
BAB 1. ARUS LISTRIK DAN RANGKAIAN LISTRIK	1
A. Arus Listrik	1
B. Arus Listrik Pada Percabangan	5
C. Sumber Potensial (Tegangan) Listrik	6
D. Hukum Ohm: Hambatan Listrik	6
E. Konduktivitas Listrik	12
F. Rangkaian Resistor	14
G. Energi dan Daya dalam Rangkaian Listrik	25
BAB 2. MEDAN DAN GAYA MAGNET	33
A. Magnet dan Medan Magnet	33
B. Gaya Lorentz	37
C. Hukum Biot Savart	44
BAB 3. GAYA GERAK LISTRIK INDUKSI	59
A. Gaya Gerak Listrik Induksi	59
B. Hukum Faraday dan Hukum Lenz	64
C. Induktansi Diri	71
DAFTAR PUSTAKA	79
I AMPIRAN	

BAB 1

# ARUS LISTRIK DAN RANGKAIAN LISTRIK ARUS SEARAH

Dapatkah Anda menyalakan lampu pijar dengan menempelkan penggaris ke lampu pijar? Tentu tidak dapat, karena lampu tersebut dapat menyala memerlukan aliran elektron secara terus menerus, dan tidak terputus.

Listrik sudah tidak menjadi hal yang asing bagi masyarakat, bahkan menjadi kebutuhan vital dalam kehidupan sehari-hari. Selain untuk penerangan, listrik juga diperlukan sebagai sumber tenaga untuk menghidupkan peralatan elektronik maupun otomotif.

Banyak sekali peralatan-peralatan di sekitar kita menggunakan sumber listrik. Apabila kita buka peralatan-peralatan tersebut, maka akan terdapat rangkian listrik di dalamnya. Sumber listrik akan mengalirkan arus listrik. Arus listrik ada yang searah dan bolak-balik. Pada Bab 1 ini, kita akan mempelajari tentang arus listrik rangkaian listrik arus searah.

#### A. ARUS LISTRIK

Arus listrik adalah aliran muatan listrik atau muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan adalah satuan terkecil dari atom atau sub bagian dari atom. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang memepengaruhinya. Selama muatan tersebut terus bergerak maka akan muncul arus listrik, tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Arah arus listrik dari dari potensial yang tinggi ke potensial rendah dan berlawanan arah dengan aliran elektron.

Perhatikan Gambar 1.1.!



Gambar 1.1. Penghantar yang menghubungkan dua benda berbeda potensial

Dua buah benda bermuatan masing-masing A dan B dihubungkandengan sebuah penghantar. Bila potensial A lebih tinggi dari pada potensial B, maka arus akan mengalir dari A ke B. Arus ini mengalir dalam waktu yang sangat singkat. Setelah potensial A sama dengan potensial В maka arus berhenti mengalir.

Supaya arus listrik tetap mengalir dari A ke B, maka muatan positif yang telah sampai di B harus

konsep atau proses fisika							
<b>Apa itu multi representasi?</b> Multi representasi adalah penyajian konsep atau proses fisika dalam beberapa format, yaitu format verbal, gambar/diagram, grafik, dan matematika.							
Fungsi masing-masing format:							
Format	Fungsi						
Verbal	memberikan definisi dari suatu konsep						
Matematis	untuk menyelesaikan persoalan kuantitatif berdasarkan representasi kualitatif.						
Gambar/diagram	membantu menvisualisasikan konsep yang masih bersifat abstrak.						
Grafik	merepresentasikan penjelasan yang panjang dari suatu konsep.						
Contoh: Konsep Arus							
Format Representasi							
Verbal	Muatan yang mengalir tiap satuan waktu dalam sebuah penghantar						
Matematis	I = q/t						
Gambar/diagram							
Grafik	ik e 1 (A) 1 (A) 1 (B) 1						
	3						

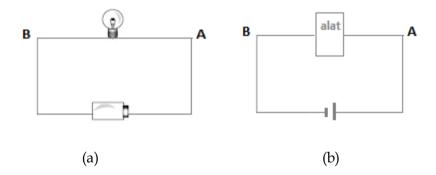
dipindahkan kembali ke A. Dengan demikian maka potensial A selalu lebih tinggi daripada B. Jadi dapat disimpulkan bahwa supaya arus listrik dapat mengalir dalam kawat penghantar, maka antara kedua ujung kawat tersebut harus ada beda potensial.

Kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar ialah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap detik melalui suatu penghantar. Simbol kuat arus adalah *I.* Jadi, kuat arus listrik dirumuskan:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{1.1}$$

Dimana  $\Delta Q$  adalah jumlah muatan yang melewati konduktor pada suatu lokasi selama jangka waktu  $\Delta t$ . Satuan kuat arus listrik ialah Ampere (A) yang diambil dari nama seorang ilmuwan Perancis yaitu: Andrey Marie Ampere (1775 – 1836). Berarti 1 A = 1 Coulomb/detik atau 1 C/det.

Pada rangkaian tunggal, seperti pada Gambar 1.2, arus pada setiap saat sama pada satu titik. Artinya berlaku kekekalan muatan listrik (muatan tidak hilang).

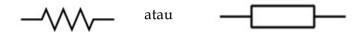


Gambar 1.2 (a) Rangkaian listrik sederhana, (b) Gambar skematis

Kuat arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial. Titik yang memiliki potensial tinggi melepaskan muatan ke titik yang memiliki potensial rendah. Kuat arus yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial antara dua titik atau  $I \propto V$ , yang dapat ditulis:

$$I = \frac{1}{R}V \tag{1.2}$$

dengan V adalah beda potensial antara dua titik dengan satuan Volt (V), dan R adalah hambatan atau tahanan listrik dengan satuan Ohm ( $\Omega$ ). Hambatan listrik direpresentasikan (disajikan) seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 1.3 Representasi gambar hambatan atau resistor

#### Contoh soal 1.1:

Jika kuat arus dalam sepotong kawat penghantar adalah 2 ampere, berapakah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penampang kawat penghantar tersebut selama 5 menit ?

## Penyelesaian

Diketahui:

I = 2 ampere

t = 5 menit

Ditanya: ΔQ .....?

Mengubah t dari satuan menit ke detik. Selanjutnya menghitung muatan yang mengalir tiap detik dengan persmaan arus listrik.

1 menit = 60 detik

t = 5 menit = 300 detik

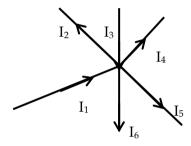
 $I = \Delta Q / \Delta t$ 

 $2 = \Delta Q / 300$ 

 $\Delta Q = 2.300 = 600 \text{ C}$ 

#### B. ARUS LISTRIK PADA PERCABANGAN

Pada rangkaian listrik yang terdapat percabangan, terdapat arus yang mengalir masuk dan arus yang mengalir ke kuar percabangan. Hal tersebut memenuhi aturan jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar. Ungkapan tersebut dikenal dengan Hukum kekekalan muatan, dikenal juga sebagai hukum I Kirchoff.



Gambar 1.4 Arus masuk dan keluar percabangan

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5 + I_6 \tag{1.3}$$

#### Contoh soal 1.2:

Percabangan arus listrik atas 4 cabang, yaitu 2 cabang arus masuk adalah  $I_1$  dan  $I_2$ , dan 2 cabang arus keluar adalah  $I_3$  dan  $I_4$ . Jika diketahui besarnya  $I_1$  = 6 A,  $I_2$  = 3 A, dan  $I_3$  = 7 A, tentukan berapa besar nilai dari  $I_4$ ?

## Penyelesaian

Diketahui:

 $I_1 = 6A$ 

 $I_2 = 3 A$ 

 $I_3 = 7 A$ 

Ditanya: I<sub>4</sub> .....?

Hukum I Kirchoff adalah  $\Sigma$  I<sub>masuk</sub> =  $\Sigma$  I<sub>keluar</sub>

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$
  
 $6 + 3 = 7 + I_4$   
 $9 = 7 + I4$   
 $I_4 = 9-7 = 2A$ 

## C. SUMBER POTENSIAL (TEGANGAN) LISTRIK

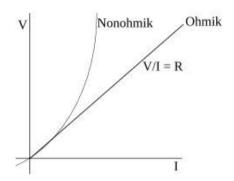
Pada Gambar 1.2 telah disajikan rangkaian listrik sederhana, sebuah lampu yang dihubungkan dengan sumber potensial listrik (sumber tegangan) berupa baterei. Selain baterei, sumber tegangan juga dapat dihasilkan oleh aki, sel surya dan lain-lain. Perbedaan potensial pada titik yang berbeda (Gambar 1.2) dapat terjadi apabila pada rangkaian dipasang sumber potensial listrik yang dikenal juga dengan istilah ggl (gaya gerak listrik). Arus listrik akan mengalir dari dari titik yang memiliki potensial tinggi (kutub positif) ke potensial rendah (kutub negatif). Sumber potensial listrik (sumber tegangan) direpresentasikan (disajikan) pada Gambar 1.5.

Gambar 1.5 Representasi gambar sumber tegangan

#### D. HUKUM OHM: HAMBATAN LISTRIK

Pada Gambar 1.2, apabila kita menghubungkan baterei 3 V, aliran arus akan dua kali lipat jika dihubungkan dengan baterei 1,5 V. Kuat arus listrik dipengaruhi oleh besarnya sumber tegangan dan hambatan pada kawat. Elektron-elektron diperlambat karena adangan interaksi dengan atom-atom

kawat penghantar. Semakin tinggi nilai hambatan, maka semakin kecil arus listriknya. Hal ini dapat didefinisikan bahwa kuat arus listrik berbanding terbalik dengan nilai hambatan. Dapat dituliskan I = V/R atau V = I.R. Persamaan tersebut dikenal sebagai "hukum Ohm". George Simon Ohm (1789-1854) merumuskan hubungan antara kuat arus listrik (I), hambatan (R) dan beda potensial (V) Banyak fisikawan yang menyatakan bahwa hukum Ohm bukan merupakan hukum dasar, melainkan deskripsi mengenai kelas bahan tertentu. Namun, sebagian besar tidak mempermasalahkan penggunaannya selema memperhatikan batasannya. Ketika tidak mengikuti hukum Ohm, maka dikatakan bahan *nonohmik*.



Gambar 1.6 Grafik mengikuti hukum ohm dan nonohmik

Setiap material atau bahan memiliki nilai tahanan listrik atau hambatan listrik. Material yang memiliki hambatan listrik begitu besar (contoh : batu, karet, platik) apabila dihubungkan dengan beda potensial akan menyebabkan tidak ada arus yang mengalir. Material tersebut disebut sebagai isolator. Material yang dapat dialiri arus listrik, disebut konduktor. Contoh konduktor adalah besi.

Ketika "mengalir" dalam suatu kawat konduktor, elektron berhadapan/mengalami rintangan dari molekul-molekul dan ion-ion dalam konduktor tersebut sehingga mengalami aliran arus listrik mengalami semacam hambatan. Seberapa besar hambatan ini dinyatakan dengan

resistansi (hambatan) yang disimbolkan dengan R. Satuan dari hambatan dalam SI adalah Ohm ( $\Omega$ ). Besarnya resistansi suatu bahan atau konduktor dengan luas penampang A dan panjang l serta hambatan jenis (resistivitas)  $\rho$  adalah :

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{1.4}$$

dengan R adalah hambatan atau resistansi dengan satuan Ohm  $(\Omega)$ ,  $\rho$  adalah hambatan jenis atau Resistivitas dengan satuan Ohm. Meter  $(\Omega m)$ , l adalah panjang kawat dengan satuan meter (m) dan A adalah luas penampang kawat  $(m^2)$ . Hambatan listrik yang dimiliki bahan memiliki sifat-sifat sebagai berikut: 1) semakin besar apabila bahan semakin panjang; 2) semakin kecil apabila ukuran bahan (luas penampang) semakin besar. Setiap bahan atau material memiliki nilai hambatan jenis masing-masing. Tabel 1.1 menyajikan nilai hambatan bahan yang diukur pada suhu  $20^{\circ}$  C.

Tabel 1.1. Hambatan jenis dan koefsien suhu bahan pada suhu kamar ( $\alpha$ ) = 20°

Bahan	ρ (Ωm)	α(1/K)
Alumunium	2,8 x 10 <sup>-8</sup>	3,9 x 10 <sup>-3</sup>
Besi	10 x 10 <sup>-8</sup>	5,0 x 10 <sup>-3</sup>
Belerang	1 x 10 <sup>15</sup>	
Kaca	1010-1014	
Kayu	108-1014	
Karet	1013-1016	
Karbon	3,5 x10 <sup>3</sup>	-0,5 x 10 <sup>-3</sup>
Perak	1,6 x 10 <sup>-8</sup>	3,8 x 10 <sup>-3</sup>
Tembaga	1,7 x 10 <sup>-7</sup>	3,9 x 10 <sup>-3</sup>
Timah	22 x 10 <sup>-8</sup>	4,3 x 10 <sup>-3</sup>

Resistansi juga merupakan fungsi dari temperatur (dipengaruhi temperatur) dengan rumusan sebagai berikut :

$$R(T) = R_0[1 + \alpha (T - T_0)] \tag{1.5}$$

dengan T: suhu akhir, To: suhu awal, R: nilai hambatan pada suhu T, Ro: nilai hambatan pada suhu awal To, dan  $\alpha$ : koefisien suhu.

Resistansi suatu bahan akan meningkat dengan naiknya temperatur, dalam hal ini yang terjadi adalah kenaikan temperatur membuat elektron bergerak lebih aktif dan lebih banyak tumbukan yang terjadi sehingga arus listrik menjadi terhambat.

Sebuah komponen rangkaian yang dibuat memiliki nilai hambatan spesifik di antara ujung-ujungnya disebut resistor. Besarnya nilai tahanan resistor biasanya ditunjukan oleh cincin-cincin warna yang terdapat pada badan resistor tersebut, pada umumnya sebuah resistor memiliki 4 cincin warna. Gambar resistor dipasaran ditunjukkan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.7. Cincin warna resistor

Warna-warna tersebut adalah kode-kode yang manunjukan besaran-besaran tertentu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.2.



#### **EKEPERIMEN FISIKA**

#### Tujuan:

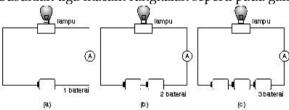
Menyelidiki hubungan antara tegangan (V) dan kuat arus (I)

## Alat dan bahan:

- 3 buah baterai masing-masing 1,5 V
- 3 buah lampu pijar kecil
- kawat nikrom secukupnya
- ampere meter

## Petunjuk Teknis:

1. Susunlah tiga macam rangkaian seperti pada gambar di bawah ini!



2. Catatlah hasil yang ditunjukkan ampere meter pada setiap percobaan (a), (b) dan (c).

Jumlah Baterai	Tegangan (V)	Kuat Arus (I)	Tegangan/kuat arus V/I	
(1)	1,5	***********		
(2)	3	11111111111111	73111111111111	
(3)	4,5			

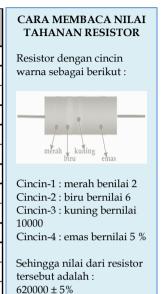
3. Buat grafik V - I



4. Buat kesimpulan, dan faktor yang mempengaruhi hasil percobaan

Tabel 1.2. Kode Warna Resistor

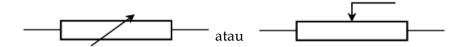
Warna	Cincin ke-1	Cincin ke-2	Cincin ke-3	Cincin ke -4	
	(digit pertama)	digit pertama) (digit kedua)		(toleransi)	
Hitam	0	0	1		
Coklat	1	1	10	1 %	
Merah	2	2	100	2 %	
Jingga	3	3	1000		
Kuning	4	4	10000		
Hijau	5	5	100000		
Biru	6	6	1000000		
Ungu	7	7	-		
Abu-abu	8	8	-		
Putih	9	9	-		
Emas	-	-	0,1	5 %	
Perak	-	-	0,01	10 %	
kosong	-	-	-	20 %	



Dalam peralatan elektronika ada yang dikenal dengan potensiometer. Potensiometer adalah hambatan listrik yang nilainya dapat diubah-ubah. Pada potensiometer biasanya diberikan knob untuk memutar sehingga nilai hambatan akan berubah sesuai yang diinginkan. Beberapa contoh potensiometer disajikan pada Gambar 1.8 dan potesnsiometer direpresentasikan seperti pada Gambar 1.9.



Gambar 1.8. Jenis-jenis potensiometer

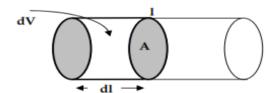


Gambar 1.9. Representantasi gambar potensiometer

Nilai hambatan tertentu tidak dapat dijumpai di pasaran. Oleh sebab itu, potensiometer akan sangat membantu kita untuk mendapatkan nilai hambatan tersebut. Potensiometer juga dapat dipasang secara seri dan paralel, sehingga tujuan kita untuk mendapatkan hambatan yang kita inginkan dapat terpenuhi.

#### E. KONDUKTIVITAS LISTRIK

Sekarang perhatikan sebuah kawat konduktor dengan panjang *l* dan luas penampang A.



Gambar 1.10. Kawat konduktor dengan elemen volume dV

Telah didefinisikan bahwa arus adalah banyaknya elektron yang melalui sebuah konduktor tiap waktu (atau satu detik). Kita hitung kuat arus yang mengalir pada panampang dengan volume dV seperti pada Gambar 1.10. Karena berbentuk silinder volume dari dV adalah :

$$dV = A.dl (1.6)$$

Kecepatan terminal elektron dalam konduktor (berdasarkan hasil pengukuran) berbanding lurus dengan kuat medan di dalam bahan, sehigga ditulis:

$$v = \mu E \tag{1.7}$$

Apabila kerapatan elektron (jumlah elektron tiap satuan volume) adalah n, maka jumlah elektron dalam elemen volumen adalah:

$$dN = ndV = nA.dl (1.8)$$

karena satu elektron memiliki muatan e, maka jumlah muatan elektron dalam elemen volum adalah:

$$dQ = edN = neA.dl (1.9)$$

arus listrik yang mengalis dalam kawat adalah:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{deA.dl}{dt} = neA\frac{dl}{dt} = neAv = neA\mu E$$
 (1.10)

sehingga kerapatan arus dalam kawat merupakan arus tiap satuan penampang, dapat dituliskan:

$$J = \frac{I}{A} = ne\mu \ E = \sigma E \tag{1.11}$$

 $\sigma$  disebut konduktivitas listrik, yang besarnya  $ne\mu$ . Konduktivitas listrik menunjukkan kemampuan bahan dalam menghantarkan listrik. Semakin besar nilai konduktivitas, semakin mudah bahan tersebut untuk menghantarkan listrik. Satuan konduktivitas listrik adalah Siemens/meter (S/m)

Jika konduktivitas bahan semakin besar, bagaimana dengan nilai resistivitasnya? Hubungan antara konduktivitas dengan resistivitas, sebagai berikut:

Dari persamaan 1.10 didapatkan:

$$I = neA\mu \frac{El}{l} \tag{1.12}$$

dimana l adalah panjang kawat. Dengan asumsi kuat medan listrik pada kawat adalah konstan, maka EL adalah beda potensial antara dua ujung kawat, dan dapat ditulis:

$$I = neA\mu \frac{V}{I} \tag{1.13}$$

Apabila menggunakan hukum Ohm, I = V/R maka didapatkan:

$$R = \frac{1}{neu} \frac{L}{A} \tag{1.14}$$

Sehingga 
$$\rho = \frac{1}{ne\mu} = \frac{1}{\sigma}$$
 (1.15)

Artinya konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas.

#### F. RANGKAIAN RESISTOR

Di dalam suatu rangkaian listrik sering terdapat lebih dari satu resistor. Resistor-resistor tersebut tersusun secara seri atau secara paralel atau gabungan antara seri dan paralel.

Rangkaian resistor yang disusun secara seri disajikan pada Gambar 1.11. Resistor tersusun seri adalah resistor-resistor yang disusun secara berurutan, yang satu di belakang yang lain.

$$A \xrightarrow{R_1} C \xrightarrow{R_2} D \xrightarrow{R_3} B$$

Gambar 1.11. Resistor tersusun seri

Pada Gambar 1.11,  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  tersusun secara seri. Didapat pengganti ketiga penghambat ini menjadi sebuah penghambat saja, misalnya disebut saja Rs, sedemikian rupa sehingga kuat arus I dan beda potensial  $V_{AB}$  tidak berubah besarnya.

Dari gambar di atas dapat dituliskan bahwa:

$$V_{AB} = V_{A} - V_{B} = V_{A} - V_{C} + V_{C} - V_{D} + V_{D} - V_{B}$$

$$= V_{AC} + V_{CD} + V_{DB}$$

$$V_{AB} = V_{A} - V_{B} = V_{AC} + V_{CD} + V_{DB} = I R_{1} + I R_{2} + I R_{3}$$
(1.16)

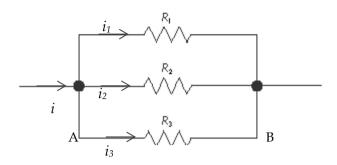
Padahal:  $V_{AB} = I R_S$ 

Dengan demikian:

$$I R_S = I R_1 + I R_2 + I R_3$$
, sehingga:  
 $R_S = R_1 + R_2 + R_3$  (1.17)

R<sub>S</sub> adalah resistor pengganti dari resistor-resistor yang tersusun secara seri tersebut. Jadi, besar resistor pengganti dari resistor-resistor yang tersusun secara seri sama dengan jumlah dari resistor-resistor seri itu sendiri.

Rangkaian resistor yang disusun secara paralel disajikan pada Gambar 1.12. Resistor tersusun paralel adalah resistor-resistor yang disusun secara berdampingan atau sejajar.



Gambar 1.12. Resistor tersusun paralel

 $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  pada Gambar 1.12 tersusun secara paralel. Ketiga hambatan tersebut dapat diganti menjadi satu resistor saja, misalnya disebut  $R_p$ , sedemikian rupa sehingga kuat arus I dan beda potensial  $V_{AB}$  tidak berubah besarnya. Berdasarkan Gambar 1.12, dapat ditulis bahwa:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \tag{1.18}$$

$$\frac{V_{AB}}{R_p} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} + \frac{V_{AB}}{R_3}, \text{ sehingga}:$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \tag{1.19}$$

 $R_p$  adalah resistor pengganti dari resistor-resistor yang tersusun secara paralel. Jadi, resistor-resistor yang disusun secara paralel dapat diganti dengan sebuah resistor yang kebalikan harganya sama dengan jumlah kebalikan harga resistor-resistor yang tersusun secara paralel.



## **EKEPERIMEN FISIKA**

## Tujuan:

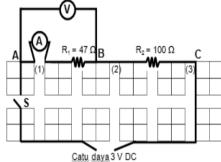
- 1. Memahami susunan dasar rangkaian listrik dan distribusi arus dalam rangkaian
- 2. Menunjukkan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan listrik
- 3. Menentukan hambatan listrik dalam susunan seri dan paralel

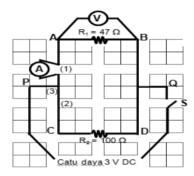
## Alat dan bahan:

- 1. Papan rangkaian
- 2. Jembatan penghubung
- 3. Amperemeter
- 4. Voltmeter
- 5. Potensiometer (Resistor variabel)
- 6. Resistor  $47 \Omega$  dan  $100 \Omega$
- 7. Kabel penghubung
- 8. Saklar
- 9. Catu daya listrik arus searah (DC)

## Langkah kerja:

1. Susunlah alat seperti gambar.





Lakukan percobaan dan masukkan data pada Tabel. Rangkaian seri

No.	$V_1$	$V_2$	$V_{tot}$	$V_1 + V_2$	$\mathbf{i}_1$	$i_2$	$i_{tot}$	$R_1 + R_2$	R <sub>tot</sub>

- Hubungan antara V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, dan V<sub>tot</sub> adalah .....
- Hubungan antara i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>, dan i<sub>tot</sub> adalah .....

Hubungan antara R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, dan R<sub>tot</sub> adalah .....

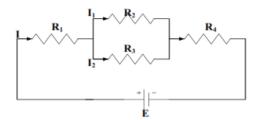
## Rangkaian Paralel

No.	$V_1$	$V_2$	$V_{tot}$	$\mathbf{i}_1$	$i_2$	$i_{ m tot}$	i <sub>1</sub> +i <sub>2</sub>	$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	R <sub>tot</sub>

- 🖆 Hubungan antara V1, V2, dan Vtot adalah .....
- 🗗 Hubungan antara i1, i2, dan itot adalah ......
- Hubungan antara R1, R2, dan Rtot adalah .....

#### Pemecahan Masalah 1.1:

## Perhatikan gambar 1.13 berikut:



Gambar 1.13. Rangkaian listrik

Jika diketahui  $R_1 = R_2 = 2$  ohm,  $R_3 = R_4 = 4$  ohm, hitunglah arus yang mengalir dalam  $R_2$  ( $I_1$ ) dan  $R_3$  ( $I_3$ ), serta E = 22 Volt.

## Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

Pada soal diketahui:  $R_1$ =  $R_2$  = 2 ohm,  $R_3$  =  $R_4$ = 4 ohm, serta E = 22 Volt.

Ditanyakan: arus yang mengalir dalam  $R_2\left(I_1\right)$  dan  $R_3\left(I_2\right)$ .

Pada gambar 1.13, merupakan gabungan dari rangkaian seri dan

## Langkah Pemecahan Masalah Fisika, Ingat dan pahami :

- Memahami masalah:
  Menuliskan besaran yang
  diketahui dalam permasalahan,
  mengidentifikasi masalah yang
  harus dipecahkan, dan menulis
  ulang masalah dengan bentuk
  yang berbeda (mengutip
  masalah, menggambar diagram
  atau grafik tentang masalah
  dengan memanfaatkan multi
  representasi) serta faktorfaktor atau informasi terkait
- masalah

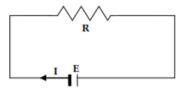
  2. Merencakan pemecahan:
   Mengidentifikasi konsep,
   prinsip, aturan, rumus dan
   hukum fisika yang berkaitan
   dengan masalah, serta
   menentukan persamaan
   matematis yang tepat sesuai
   dengan konsep, prinsip,
   aturan, rumus dan hukum
   fisika untuk memecahkan
   masalahbuatlah sketsa yang
   mendeskripsikan masalah dan
   pilihlah cara yang sesuai untuk
   pemecahan masalah
- Menerapkan pemecahan:
   Menerapkan perencanaan melalui subtitusi nilai besaran yang diketahui ke persamaan matematis
- Mengevaluasi: Memeriksa kesesuaian jawaban dengan masalah dan memeriksa besaran dan satuannya

Selamat Mencoba!

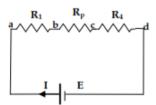
paralel. Kita harus mengingat fungsi rangkaian tersebut, bahwa rangkaian seri untuk membagi beda potensial, rangkaian paralel untuk membagi arus. Kita paralelkan antara  $R_2$  dan  $R_3$  ( $R_p$ ), hasilnya kita serikan dengan  $R_1$  dan  $R_4$  akan dapat kita hitung I total. Selanjutnya dapat kita hitung V pada  $R_1$ ,  $R_p$ , dan  $R_4$ . Selanjutnya kita dapat menghitung I pada  $R_2$  dan  $R_3$ .

## Merencanakan pemecahan masalah:

Langkah pertama, sederhanakan rangkaian hambatan pada Gambar 1.8 menjadi sebuah hambatan ekivalen dengan menggunakan aturan seri dan paralel, yaitu dengan memparalelkan  $R_2$  dengan  $R_3$ , kemudian menserikan hasilnya dengan  $R_1$  dan  $R_4$ . Tujuannya adalah untuk memperoleh arus utama I. Sehingga rangkaian pada Gambar 1.8 ekivalen dengan rangkaian pada di bawah ini:



Langkah kedua, kita hitung tegangan di antara titik a-b, b-c dan c-d juga dengan hukum ohm



Arus yang mengalir pada ketiga hambatan  $R_1$ ,  $R_4$  dan  $R_p$  yang merupakan hasil paralel dari  $R_2$  dan  $R_3$  adalah arus utama I, sehingga tegangan pada  $R_1$ ,  $R_4$  dan  $R_p$  Yakni  $V_{ab}$ ,  $V_{cd}$ , dan  $V_{bc}$ . Jika dijumlahkan maka hasilnya sama dengan tegangan sumber. Arus yang mengalir pada hambatan  $R_2$  dan  $R_3$ , kita hitung dengan tegangan yang ada pada ujung-ujung kedua hambatan tersebut.

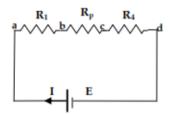
## Menerapkan perencanaan:

Hasil paralel antara  $R_2$  dengan  $R_3$  (kita sebut dengan  $R_p$ ) adalah 4/3 ohm dan jika diserikan dengan  $R_1$  dan  $R_4$  hasilnya adalah R=22/3 ohm.

Arus utama I dapat dihitung menggunakan hukum Ohm:

$$I = V/R = 22/(22/3) = 3 A$$

Berikutnya kita hitung tegangan di antara titik a-b, b-c dan c-d juga dengan hukum ohm:



Arus yang mengalir pada ketiga hambatan  $R_1$ ,  $R_4$  dan  $R_p$  adalah arus utama I, sehingga tegangan pada  $R_1$ ,  $R_4$  dan  $R_p$  Yakni  $V_{ab}$ ,  $V_{cd}$ , dan  $V_{bc}$ , adalah:

$$V_{ab}$$
 = I.R<sub>1</sub> = 3.2 = 6 V  
 $V_{cd}$  = I.R<sub>4</sub> = 3.4 = 12 V  
 $V_{bc}$  = I.R<sub>p</sub> = 3.4/3= 4V

Jika dijumlahkan maka hasilnya sama dengan tegangan sumber sebesar 22 V. Karena kita akan menghitung arus yang mengalir pada hambatan  $R_2$  dan  $R_3$ , maka kita perhatikan tegangan yang ada pada ujung-ujung kedua hambatab tersebut.

Berikutnya kita hitung arus yang melalui hambatan  $R_2$  dan  $R_3$  sebutlah  $I_1$  dan arus I2 yang melalui R3 dengan hukum ohm :

$$I_1 = V_{bc}/R_2 = 4/2 = 2A$$

$$I_2 = V_{bc}/R_3 = 4/4 = 1A$$

Jika kita jumlahkan  $I_1$  dengan  $I_2$ , hasilnya akan sama dengan arus utama I yaitu 3A.

## Mengevaluasi:

Periksa apakah masalah sudah mendapatkan solusi dan bagaimana dengan satuan dari setiap besaran yang digunakan?

Yang ditanyakan arus pada  $R_2$  ( $I_1$ ) dan  $R_3$  ( $I_2$ ), didapatkan  $I_1$ = 2 A dan  $I_2$ = 1 A, jika diperikasa dengan I total = 3 A, maka sudah sesuai.

Jadi I<sub>1</sub> dan I<sub>2</sub> masing-masing adalah 2 A dan 1 A.

Dalam sebuah rangkaian listrik, sejumlah resistor yang disusun secara seri atau paralel dihubungkan dengan sumber tegangan. Contoh beberapa resistor yang dihubungkan dengan sumber tegangan disajikan pada Gambar 1.14.

$$\xrightarrow{I} \underset{A}{\longrightarrow} \underset{R_1}{R_1} \xrightarrow{R_2} \underset{E}{\longrightarrow} \underset{E}{\longrightarrow} \underset{E}{\longrightarrow} \underset{E}{\longrightarrow} \underset{B}{\longrightarrow} \underset{B}$$

Gambar 1.14. Resistor dihubungkan dengan sumber tegangan

Kuat arus yang mengalir pada rangkaian listrik pada Gambar 1.14, dapat dihitung dengan:

$$V_{ab} = \Sigma IR - \Sigma \varepsilon \tag{1.20}$$

Dengan  $V_{ab}$  adalah beda potensial antara ujung-ujung rangkaian,  $\Sigma$  IR adalah jumlah dari perkalian arus dan hambatan sepanjang rangkaian (titik

A dan B), dan  $\Sigma \varepsilon$  adalah jumlah tegangan sepanjang rangkaian (titik A dan B), dan berlaku aturan: I bernilai positif apabila mengalir dari A ke B;  $\varepsilon$  bernilai positif apabila kutub negatif sumber tegangan menghadap titik A dan kutub positif menghadap titik B.

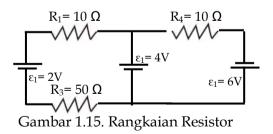
Kemudian, bagaimana jika titik A dan B dihubungkan? Rangkaian akan menjadi tertutup dan  $V_{ab} = 0$  (terjadi loop), sehingga persamaan 1.20 dapat ditulis:

$$0 = \Sigma IR - \Sigma \varepsilon \tag{1.21}$$

Peristiwa ketika titik A dan B terhubung dan lintasan menjadi tertutup (terjadi loop) sehingga  $V_{ab} = 0$ , berlaku "hukum II Kirchoff" atau "hukum loop" didasarkan pada kekekalan energi. Bunyi hukum II Kirchoff: "jumlah perubahan potensial mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus nol".

#### Pemecahan Masalah 1.2:

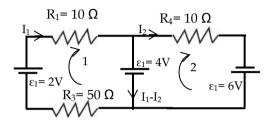
Apabila Anda diberikan rangkaian seperti pada Gambar 1.15. Tentukan besarnya arus listrik yang megalir



## Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

Menggambar ulang rangkaian listrik, menentukan arah arus dan arah loop, menuliskan besaran yang diketahui pada rangkaian. Yang harus dihitung adalah arus pada loop 1 ( $I_1$ ) dan loop 2 ( $I_2$ )



## Merencanakan pemecahan masalah:

Menggunakan hukum II Kirchoff untuk menghitung arus pada loop 1 dan loop 2, dengan persamaan:

 $0 = \Sigma IR - \Sigma \varepsilon$  dengan memperhatikan perjanjian tanda.

## Menerapkan perencanaan:

Loop 1  $\Sigma IR - \Sigma \varepsilon = 0$   $I_1R_1 + I_1R_3 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 0$   $I_1.10 + I_1.50 - (2 - 4) = 0$   $60 I_1 + 2 = 0$  $I_1 = -2/60 A$ 

Loop 2  $\Sigma IR - \Sigma \varepsilon = 0$   $I_2R_2 - (\varepsilon_2 + \varepsilon_3) = 0$   $I_2.40 - (4 + 6) = 0$   $40 I_2 - 10 = 0$  $I_2 = 1/4 A$ 

#### PEMECAHAN MASALAH DENGAN HUKUM KIRCHOFF

- Berilah tanda (+) pada sisi panjang dan (-) pada sisi pendek simbol baterai.
- Berilah tanda arus pada setiap cabang dengan simbol dan tanda panah, arah tanda panah dapat dipilih sembarang (jika arus yang sebenarnya pada arah yang berlawanan, hasil perhitungan akan bertanda minus).
- Gunakan hukum titik cabang (Hukum I Kirchoff) pada setiap titik cabang, dan hukum loop (Hukum II Kirchoff) untuk satu atau lebih loop.
- Dalam menerapkan hukum loop, ikuti setiap loop dalam satu arah saja, perhatikan betul-betul tandanya: a) kuat arus bertanda positif (+) jika searah dengan arah loop yang ditentukan dan bertanda negatif (-) jika berlawanan dengan arah loop yang sudah ditentukan; b) apabila mengikuti arah loop, kutub positif (+) sumber tegangan dijumpai lebih dahulu dari pada kutub negatifnya (-) maka  $\varepsilon$  bertanda negatif, sebaiknya jika kutub negatif dijumpai lebih dahulu maka  $\varepsilon$ bertanda positif..
- 5. Selesaikan persamaan-persamaan secara aljabar untuk mencari yang tidak diketahui. Di akhir perhitungan, periksa jawaban dengan memasukkan ke persamaanpersamaan awal atau bahkan dengan menggunakan persamaan lain yang tidak digunakan sebelumnya (baik hukum titik cabang maupun hukum loop)

(Sumber: Giancoli, 2001)

## Mengevaluasi:

Berdasarkan hasil perhitungan, arus yang mengalir pada loop 1 sebesar 2/60 A dengan arah berlawanan dengan yang ditentukan awal, dan arus pada loop 2 sebesar ¼ A dengan arah sesuai awal yang telah ditentukan.

#### G. ENERGI DAN DAYA DALAM RANGKAIAN LISTRIK

## 1. Energi Listrik

Bila pada ujung-ujung suatu kawat penghantar yang hambatannya R terdapat beda potensial V, maka di dalamnya mengalir arus sebesar I = V/R. Untuk mengalirkan arus ini sumber arus mengeluarkan energi. Sebagian dari energi ini berubah menjadi kalor yang menyebabkan kawat penghantar menjadi panas. Hal ini terjadi karena elektron-elektron bebas dalam kawat atom-atom kawat yang dilaluinya. Berdasar pada hasil percobaan J.P. Joule, besarnya kalor yang timbul ditentukan oleh faktor-faktor:

- a. besarnya hambatan kawat yang dilalui arus
- b. besarnya arus yang mengalir
- c. waktu atau lamanya arus mengalir.

Besarnya energi yang dikeluarkan oleh sumber arus untuk mengalirkan arus listrik adalah :

$$W = V I t (1.22)$$

dimana:

V dalam Volt

I dalam ampere dan

t dalam detik atau sekon

karena 
$$V = I R$$

$$maka W = I^2 R t (1.23)$$

karena 
$$I = V/R$$

$$maka W = \frac{V^2}{R}t (1.24)$$

## 2. Daya Listrik

Daya suatu alat listrik adalah usaha yang dilakukan alat itu tiap detik. Usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan sama dengan energi yang dikeluarkan sumber tegangan tersebut.

Jadi daya suatu alat listrik = usaha yang dilakukan atau

$$P = W / t \tag{1.25}$$

karena W = V . I . t

$$maka : P = Vit / t$$

$$P = V.I \tag{1.26}$$

Atau :  $P = I^2 R t/t$ 

$$P = I^2 R \tag{1.27}$$

atau :  $P = \frac{V^2}{R}t/t$ 

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{1.28}$$

Satuan daya = volt Ampere

Dalam kehidupan sehari-hari satuan daya watt sekon terlalu kecil sehingga lazim digunakan satuan yang lebih besar yaitu : kilo watt jam (KWh).

Sebuah lampu dari 100 watt yang dinyalakan selama 10 jam menggunakan tenaga listrik sebesar 1 kilo watt jam atau 1 KWh. Meteran listrik dirumah tangga sudah ditera menggunakan satuan KWh untuk pemakaian listrik. Petugas tinggal mencatat data tersebut setiap bulannya. Selisih catatan pemakaian energi bulan ini dikurangi catatan pemakaian energi bulan lalu adalah jumlah energi yang digunakan , bila dikali dengan taris listrik per KWh menjadi biaya yang harus dibayarkan pelanggan kepada PLN.

#### Pemecahan Masalah 1.3:

Dalam sebuah rangkaian listrik, resistor 4 ohm dan 2 ohm dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan power suplay 12 volt. Tentukan energi yang dibangkitkan oleh power suplay dalam 1 menit dan energi listrik yang mengubah panas pada resistor dalam 1 menit!

## Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

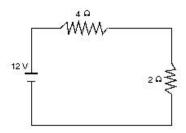
R = 4 ohm dan 2 ohm disusun secara seri

V = 12 volt

Ditanya: Energi (W) oleh power suplay dalam 1 menit dan pada resistor 4 ohm dalam 1 menit?

#### Merencanakan Pemecahan:

Menggambar rangkaian listrik seri yang terhubung dengan sumber tegangan 12 V, mengkonversi satuan waktu (t), menghitung energi (W) oleh power suplay, menghitung arus total untuk dihitung W nya.



1 menit = 60 detik

Hitung energi yang ditanyakan menggunakan persamaan  $W = (V^2/R)t$  atau  $W = I^2.R.t$ 

## Menerapkan perencanaan:

$$W = V^{2}t/(R_{1} + R_{2}). = 12^{2}.60/(4+2)$$

$$= 1440 J$$

$$I = V/(R_{1}+R_{2}) = 12/6 = 2 A$$

$$W_{1} = I^{2} R_{1}T = 2^{2}. 4.60$$

$$= 960 J$$

## Mengevaluasi:

Periksa apakah masalah sudah mendapatkan solusi dan bagaimana dengan satuan dari setiap besaran yang digunakan?

Yang ditanyakan adalah energi (W), dan telah didapatkan energi dengan satuan joule.



# RANGKUMAN

- Kuat arus listrik dapat mengalir bila antara kedua ujung penghantar ada beda potensial. Alat ukur kuat arus listrik adalah amperemeter.
- Beda potensial listrik antara dua titik adalah selisih potensial titik yang satu dengan titik lainnya. Alat ukur tegangan/beda potensial adalah voltmeter.
- 3. Kuat arus adalah jumlah muatan yang mengalir tiap satuan waktu, dirumuskan:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

I = kuat arus listrik (coulomb/sekon = ampere)

 $\Delta Q$  = muatan listrik (coulomb)

 $\Delta t = waktu (detik)$ 

- 4. Arah arus listrik mengalir dari potensial tinggi (+) menuju ke potensial rendah (-). Arah arus elektron dari potensial rendah menuju ke potensial tinggi.
- 5. Hambatan suatu penghantar pada suhu tertentu ditentukan oleh panjang (l), hambatan jenis penghantar (r) dan luas penampang kawat penghantar (A), dirumuskan:

$$R = \rho \frac{1}{A}$$

6. Besar kuat arus di dalam suatu penghantar sebanding dengan beda potensial. Hal ini dikenal sebagai hukum ohm.

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

7. Resistor tersusun seri adalah resistor-resistor yang disusun secara berurutan, yang satu di belakang yang lain.

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

8. Resistor paralel ialah resistor - resistor yang disusun secara berdampingan atau sejajar.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

9. Hukum I Kirchoff tentang titik cabang yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar, Hukum II Kirchoff disebut juga hukum loop, yaitu jumlah perubahan potensial mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus nol, dan berlaku persamaan:

$$0 = \Sigma IR - \Sigma \varepsilon$$

10. Besar energi W yang terjadi pada hambatan R yang dialiri arus I selama t adalah:

$$W = V I t = I^2 Rt = \frac{V^2 t}{R}$$

11. Daya listrik adalah energi listrik tiap waktu. Besar daya listrik

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$



# KOLOM MULTI REPRESENTASI

Anda diberikan empat buah resistor, yang akan dirangkai dan dihubungkan dengan dua buah baterai. Gambarlah rangkaian tersebut (representasi gambar), bagaimana besar beda potensial total dan pada masing-masing resistor (representasi matematika), dan bagaimana besar arus listrik total dan yang mengalir melalui percabangan (representasi matematika)? Buatlah penjelasan dengan menggunakan kalimat sendiri (representasi verbal). Setelah Anda membuat representasi gambar, matematika, dan verbal, diskusikan dengan temanmu dan jika mengalami kesulitan dapat bertanya kepada dosen.

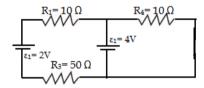


## PEMECAHAN MASALAH MANDIRI

Untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, silahkan lakukan pemecahan masalah dan hasilnya dapat didiskusikan dengan teman, apabila mengalami kesulitan dapat menanyakan kepada dosen.

- 1. Lima buah kawat yang panjangnya 50 cm mempunyai hambatan jenis 2,5 Ωm dan luas penampangnya 5 mm² dirangkai paralel, kawat tersebut dihubungkan dengan sumber arus searah dengan beda potensial 10 V. Tentukan tahanan pengganti dan kuat arus yang melalui kawat tersebut!
- 2. Sebuah rangkaian sederhana dengan resistor tunggal dihubungkan dengan sumber tegangan V dan ampere meter menunjukkan A. Jika

- tegangan dinaikkan dua kali apa yang akan terjadi dengan arus dan nilai hambatannya?
- 3. Andika memiliki tiga buah resistor yang besarnya sama,yang akan dirangkai dan dihubungkan dengan sumber tegangan. Bagaimana caranya agar Andika mendapatkan arus yang keluar memalui rangkainnya adalah yang paling besar?
- 4. Dalam sebuah rangkaian listrik yang terhubung dengan sumber tegangan 12 volt, diinginkan arus 3 A, 2 A, dan 1 A. Bagaimana rangkaian resistor harus dibuat?
- 5. Tiga buah resistor 240  $\Omega$  dapat dihubungkan dengan berbagai cara yang berbeda, yang merupakan perpaduan seri dan paralel. Bagaimana rangkaian yang memiliki hambatan pengganti terkecil?
- 6. Perhatikan rangkaian di bawah ini, bagaima perbandingan setiap arus yang mengalir?



7. Doni sedang melakukan percobaan di labortaorium. Doni menghubungkan dua buah resistor tersusun seri ke jalur 110 V menggunakan seperempat daya yang digunakan ketika keduanya terhubung paralel. Apabila salah satu resistor yang digunakan Doni adalah  $2 \, k\Omega$ , bagaimana nilai resistor yang lainnya?

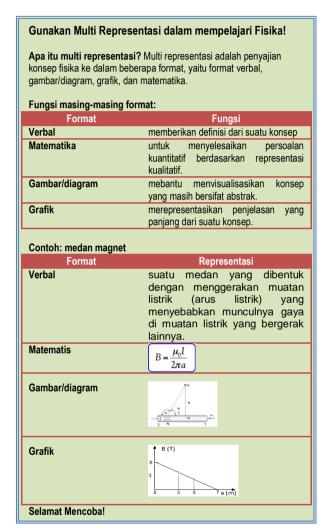
# BAB 2

# MEDAN DAN GAYA MAGNET

Pernahkah Anda meletakkan sebuah kompas di sekitar kawat berarus listrik? Apa yang terjadi?

Hubungan antara listrik dan magnet belum diketahui hingga abad ke 19, ketika Hans Christian Oersted menemukan bahwa arus listrik mempengaruhi kedudukan jarum kompas.

Percobaan berikutnya yang dilakukan oleh Andre Marie Ampere menunjukkan bahwa arus listrik menarik serpihan besi dan bahwa arus sejajar akan saling tarik menarik. Ampere menyatakan bahwa sumber dasar medan magnet bukanlah kutub magnet melainkan arus listrik



#### A. MAGNET DAN MEDAN MAGNET

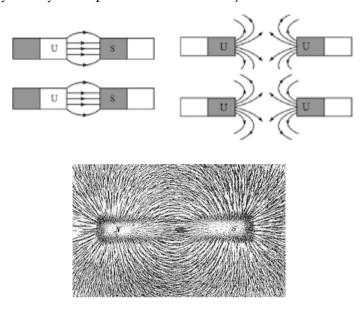
Kata Magnet diambil dari nama daerah di asia yaitu Magnesia, di tempat inilah bangsa Yunani menemukan menemukan sifat magnetik dari bebatuan yang mampu menarik biji besi. Magnet adalah benda yang mampu menarik

benda-benda disekitarnya. Setiap Magnet memiliki sifat kemagnetan. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik bendabenda lain disekitarnya. Salah satu gejala kemagnetan yang dapat kita amati dengan mudah adalah tertariknya paku atau potongan besi oleh batang magnet. Batang magnet tersebut termasuk sebagai magnet permanen, karena sifat kemagnetannya tetap ada kecuali diberikan gangguan luar yang cukup besar seperti pemanasan dengan suhu tinggi atau pemukulan atau benturan yang cukup keras. Menurut perkiraan ilmuan, Tiongkok merupakan bangsa pertama yang memanfaatkan magnet sebagai penunjuk arah atau kompas.

Magnet memiliki dua kutub yang berlawanan arah, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pemberian nama kutub tersebut karena bersesuaian dengan kutub utara geografi bumi. Kutub mengarah ke kutub utara geografi bumi, dan kutub selatan mengarah ke kutub selatan geografi bumi. Oleh sebab itu, magnet memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

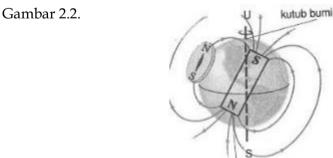
- 1. Magnet hanya dapat menarik benda-benda tertentu dalam jangkauannya, artinya tidak semua benda dapat ditarik.
- 2. Gaya Magnet dapat menembus benda, semakin kuat gaya magnet maka semakin tebal pula benda yang dapat ditembus oleh gaya tersebut.
- 3. Apabila Kutub yang sejenis didekatkan satu sama lain maka mereka akan saling tolak menolak, namun apabila kutub yang berbeda didekatkan satu sama lain maka mereka akan saling tarik menarik.
- 4. Medan magnet akan membentuk gaya magnet, semakin dekat benda dengan magnet, medan magnetnya semakin rapat, sehingga gaya magnetnya akan semakin besar dan sebaliknya.

5. Sifat kemagnetan dapat hilang atau melemah karena bebarapa penyebab, yaitu: apabila terus menerus jatuh, terbakar, dll



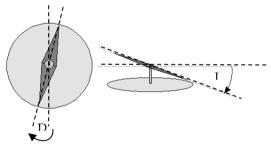
Gambar 2.1 Kutub dan garis gaya medan magnet

Percobaan yang telah dilakukan oleh ilmuwan menunjukkan bahwa kutub magnet yang digantung bebas selalu mengambil arah utara dan selatan. Begitu juga yang terjadi pada jarum kompas. Hal ini telah dijelaskan bahwa bumi sebenarnya sebuah magnet permanen. Kutub selatan magnet bumi berada di sekitar kutub utara geografi bumi, kutub utara magnet bumi berada di sekitar kutub selatan geografi bumi, seperti disajikan pada



kutub magnet
Gambar 2.2. Kutub magnet bumi

Pada Gambar 2.2 menunjukkan letak kutub-kutub magnet bumi tidak tepat berada di kutub-kutub bumi. Garis-garis gaya magnet bumi mengalami penyimpangan terhadap arah utara dan selatan bumi, sehingga kutub utara jarum kompas akan membentuk sudut terhadap arah utara dan selatan geografi bumi. Sudut yang dibentuk oleh kutub utara jarum kompas dengan arah utara-selatan geografi bumi disebut *deklinasi*. Selain itu, jarum kompas mengalami kedudukan yang tidak mendatar. Penyimpangan arah mendatar itu terjadi karena garis-garis gaya magnet bumi tidak sejajar dengan permukaan bumi (bidang horizontal), sehingga kutub utara jarum kompas menyimpang naik atau turun terhadap permukaan bumi. Penyimpangan kutub utara jarum kompas akan membentuk sudut terhadap bidang datar permukaan bumi. Sudut yang dibentuk oleh kutub utara jarum kompas dengan bidang datar disebut *inklinasi*. Sudut deklinasi dan inklinasi seperti disajikan pada Gambar 2.3.



D: Deklinasi, I: Inklinasi

Gambar 2.3. Sudut deklinasi dan inklinasi

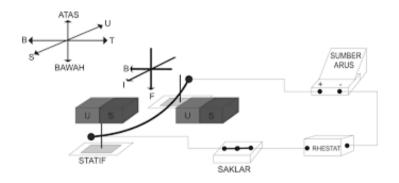
Medan magnet berada di sekitar suatu magnet. Adapun medan magnet memiliki sifat-sifat antara lain: a) arahnya sama dengan arah garis gaya magnet; b) besarnya sebanding dengan kerapatan garis gaya magnet. Medan magnet merupakan besaran vektor yang disimbolkan dengan  $\vec{B}$  dengan satuan Tesla yang disingka T.

#### B. GAYA LORENTZ

Jika kawat yang dialiri arus listrik ditempatkan di sekitar medan magnet, maka kawat tersebut mendapat gara dari magnet. Besar dan arah gaya yang dialami kawat berarus listrik tersebut ditentukan oleh hukum Lorentz:

$$\overrightarrow{F} = I \overrightarrow{L} \times \overrightarrow{B} \tag{2.1}$$

dengan  $\vec{F}$ : gaya yang dialami oleh kawat berarus listrik (N), I: kuat arus listrik,  $\vec{L}$ : vektor panjang kawat yang dikenai medan magnet (m) (besarnya vektor  $\vec{L}$  sama dengan bagian panjang kawat yang dikenai medan magnet sedangkan arahnya sama dengan arah arus pada kawat),  $\vec{B}$ : vektor medan magnet (T)



Gambar 2.4. Gaya Lotentz

Besarnya gaya Lorentz juga dapat ditulis:

$$F = ILB \sin \alpha \tag{2.2}$$

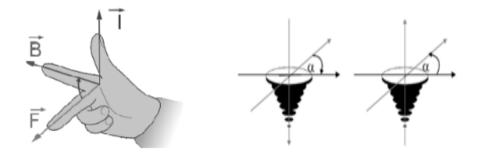
dimana  $\alpha$  merupakan sudut yang dibentuk antara vektor  $\overrightarrow{B}$  dan vektor  $\overrightarrow{L}$  .

Gambar 2.4 memperlihatkan sebuah kawat dengan panjang L yang dialiri arus I yang berada di dalam medan magnet B. Ketika arus mengalir pada

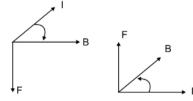
kawat, gaya diberikan pada kawat. Arah gaya selalu tegak lurus terhadap arah arus dan juga tegak lurus terhadap arah medan magnet. Besar gaya yang terjadi adalah:

- a. berbanding lurus dengan arus I pada kawat,
- b. berbanding lurus dengan panjang kawat L,
- c. berbanding lurus dengan medan magnet B,
- d. berbanding lurus sudut  $\theta$  (sudut antara arah arus dan medan magnet).

Bagaimana cara menentukan arah gaya Lorentz? Kita dapat menentukan arah gaya Lorentz menggunakan dua alternatif, yaitu kaidah tangan kanan atau kaidah pemutaran sekrup.



- a. Kaidah tangan kanan
- b. Kaidah pemutaran sekrup

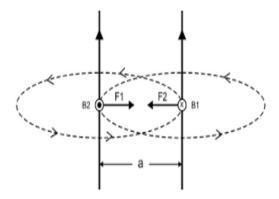


c. Vektor gaya Lorentz

Gambar 2.5. Menentukan arah gaya Lotentz

Gambar 2.5.a menunjukkan bahwa ibu jari sebagai arah arus listrik, jari telunjuk sebagai arah medan magnet, dan jari tengah sebagai arah gaya Lorentz. Pada Gambar 2.5.b, jika sekrup diputar dari *I* ke *B* searah dengan arah jarum jam maka arah gaya Lorentz ke bawah. Sebaliknya, jika diputar dari *I* ke *B* dengan arah berlawanan arah jarum jam maka akan mengahasilkan gaya Lorentz ke arah atas.

Bagaimana jika 2 (dua) buah kawat lurus berarus listrik diletakkan sejajar berdekatan pada sebuah medan magnet? Perhatikan Gambar 2.6.



Gambar 2.6. 2 (dua) buah kawat lurus berarus listrik diletakkan sejajar berdekatan pada sebuah medan magnet

Jika ada 2 (dua) buah kawat lurus berarus listrik yang diletakkan sejajar berdekatan pada sebuah medan magnet, akan mengalami gaya Lorentz berupa gaya tarik menarik apabila arus listrik pada kedua kawat tersebut searah dan gaya tolak menolak apabila arus listrik pada kedua kawat tersebut berlawanan arah. Besarnya gaya tarik menarik atau tolak menolak di antara dua kawat sejajar yang berarus listrik dan terpisah sejauh *a* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\overrightarrow{F_1} = \overrightarrow{F_2} = \overrightarrow{F} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L \tag{2.3}$$

dengan F1 = F2 = F = gaya tarik-menarik atau tolak-menolak (N),  $\mu_0$  = permeabilitas vakum (4 $\pi$ .10-7 T m/A),  $I_1$  = kuat arus pada kawat 1 (A),  $I_2$  = kuat arus pada kawat 2 (A), L = panjang kawat penghantar (m), dan a = jarak kedua kawat (m).

Gaya Lorentz ternyata tidak hanya dialami oleh kawat tetapi juga muatan listrik yang bergerak. Apabila mutan listrik q bergerak dengan kecepatan v

di dalam sebuah medan magnet B, maka muatan listrik tersebut akan mengalami gaya Lorentz. Dengan menggunakan persamaan 2.1 dan arus merupakan muatan yang mengalir tiap satuan waktu, serta kecepatan muatan  $v = \vec{L}/\Delta t$ , maka diperoleh persamaan gaya Lorentz:

#### Penerapan Gaya Lorentz





Gb. 2.7 Motor Listrik dan Galvanometer Dalam kehidupan sehari-hari, contoh penerapan gaya Lorentz adalah pada alat motor listrik dan galvanometer.

$$\overrightarrow{F} = q \overrightarrow{v} \times \overrightarrow{B} \tag{2.4}$$

Sehingga besarnya Gaya Lorentz, menjadi:

$$F = qvB \sin \alpha \tag{2.5}$$

dengan  $\alpha$  merupakan sudut yang dibentuk antara vektor  $\overrightarrow{B}$  dan vektor  $\overrightarrow{v}$ .

Persamaan (2.5) menunjukkan besar gaya Lorentz pada sebuah partikel bermuatan q yang bergerak dengan kecepatan v pada kuat medan magnet B, dengan  $\alpha$  adalah sudut yang dibentuk oleh v dan B. Gaya yang paling besar akan terjadi pada saat partikel bergerak tegak lurus terhadap B ( $\alpha = 90^{\circ}$ ), sedangkan ketika partikel bergerak sejajar dengan garis-garis medan ( $\alpha = 0^{\circ}$ ), maka tidak ada gaya yang terjadi.

# Contoh soal 2.1:

Suatu kawat berarus listrik 10 A dengan arah ke atas berada dalam medan magnetik 0,5 T dengan membentuk sudut 30° terhadap kawat. Jika panjang kawat 5 meter, tentukan besarnya gaya Lorentz yang dialami kawat!

$$I = 10 A$$

$$a = 30^{\circ}$$

$$B = 0.5 T$$

$$l = 5 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan F = I.l. $B \sin \alpha$ 

$$F = I.l.B \sin \alpha$$

$$F = (0.5)(10)(5) \sin 30^{\circ}$$

$$F = 25 (1/2) = 12.5 \text{ newton}$$

#### Pemecahan masalah 2.1:

Kawat mendatar (horizontal) dialiri arus 80 A. Berapa arus pada kawat yang satunya yang berada 20 cm di bawahnya agar tidak jatuh karena gravitasi, jika massa kawat tersebut 0,12 gram.

# Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

$$I_1 = 80 A$$

$$L = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$m = 0.12 \text{ gram} = 0.12 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Ditanya: I2.....?

# Merencanakan pemecahan:

Menghitung gaya gravitasi untuk setiap meter panjang kawat dan menghitung gaya magnet pada kawat 2, sehingga dapat ditemukan I<sub>2</sub>.

## Menerapkan perencanaan:

F/1 = mg/1  
= 0,12 x 10<sup>-3</sup> . 9,8/1 = 1,18 x 10<sup>-3</sup> N/m  

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2 \pi L}$$

$$I_2 = \frac{2 \pi L}{\mu_0 I_1} \frac{F}{l}$$

# Langkah Pemecahan Masalah Fisika, Ingat dan pahami :

- 1. Memahami masalah:
  - Menuliskan besaran yang diketahui dalam permasalahan, mengidentifikasi masalah yang harus dipecahkan, dan menulis ulang masalah dengan bentuk yang berbeda (mengutip masalah, menggambar diagram atau grafik tentang masalah dengan memanfaatkan multi representasi) serta faktorfaktor atau informasi terkait masalah
- 2. Merencakan pemecahan:
  - Mengidentifikasi konsep, prinsip, aturan, rumus dan hukum fisika yang berkaitan dengan masalah, serta menentukan persamaan matematis yang tepat sesuai dengan konsep, prinsip, aturan, rumus dan hukum fisika untuk memecahkan masalahbuatlah sketsa yang mendeskripsikan masalah dan pilihlah cara yang sesuai untuk pemecahan masalah
- Menerapkan pemecahan:
   Menerapkan perencanaan melalui subtitusi nilai besaran yang diketahui ke persamaan matematis
- Mengevaluasi: Memeriksa kesesuaian jawaban dengan masalah dan memeriksa besaran dan satuannya

Selamat Mencoba!

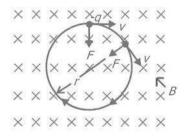
$$= \frac{2 \pi .0,20}{4 \pi x 10^{-7}.80} 1,18 x 10^{-3}$$
$$= 15 \text{ A}$$

# Mengevaluasi:

Periksa apakah masalah sudah mendapatkan solusi dan bagaimana dengan satuan dari setiap besaran yang digunakan?

Yang dipertanyakan adalah arus pada kawat kedua, didapatkan besar arus 15 A (satuan sudah sesuai).

Arah gaya Lorentz selalu tegak lurus B dan tegak lurus v. Arah gaya yang selalu tegak lurus arah gerak partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet sama dengan gaya pada benda yang sedang bergerak melingkar beraturan. Pada benda yang bergerak melingkar, selalu bekerja gaya ke arah pusat lingkaran, sedangkan arah gerak selalu menyinggung lintasan (tegak lurus gaya). Lintasan muatan yang masuk dalam medan magnet dalam arah tegak lurus membentuk lintasan lingkaran.



Gambar 2.8. Gerak muatan padamedan magnet

Karena lintasan berbentuk lingkaran maka pada muatan ada gaya sentripetal, yaitu:

$$F_{\rm S} = m \frac{v^2}{r} \tag{2.6}$$

dengan v : laju partikel, m : massa partikel, dan r : jari-jari lintasan. Dengan menggunakan persamaan 2.4, kita dapat menentukan jari-jari lintasan:

$$R = \frac{mv}{qB} \tag{2.7}$$

#### C. HUKUM BIOT SAVART

Uraian sebelumnya membahas tentang medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen. Pada uraian di bawah ini, akan medan dibahas magnet yang dihasilkan oleh arus listrik, yang Untuk disebut induksi. dengan menghitung besarnya medan magnet yang terletak di sekitar kawat berarus listrik digunakan hukum Biot-Savart.

# Contoh fenomena medan magnet oleh arus listrik

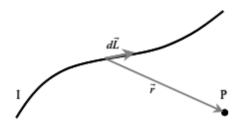


Gb. 2.9. Jarum kompas di sekitar kawat berarus.

Jarum kompas diletakkan di sekitar kawat berarus listrik, jaur kompas kan mengalami penyimpangan.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \tag{2.8}$$

Misalkan ada seutas kawat lurus dengan elemen panjang dL dialiri arus listrik sebesar I. Arah dL sama dengan arah I yang dinyatakan dengan  $d\vec{L}$ . Perhatikan Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Medan magnet oleg kawat berarus

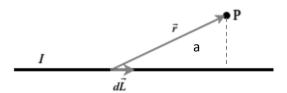
Kuat medan di titik P yaitu:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \tag{2.8}$$

Penyelesaian perhitungan persamaan 2.8 bergantung pada jenis kawat. Setelah ini akan dibahas untuk perhitungan medan magnet di sekitar kawat yang bentuknya sederhana, yaitu: lurus, melingkar, solenoida, dan toroida.

# 1. Medan magnet pada kawat lurus berarus listrik

Gambar 2.11, elemen panjang kawat adalah dL dan sebuah titik P yang berjarak r dari dL, sudut yang dibentuk oleh elemen dl dengan r adalah  $\theta$ .



Gambar 2.11 Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus Listrik

Dengan menghitung persamaan 2.8, besar medan magnet di sekitar kawat lurus berarus listrik di titik P dapat dihitung dengan

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \tag{2.9}$$

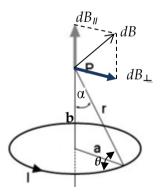
dengan  $\overrightarrow{B}$ : kuat medan magnet (T), a: jarak titik dari penghantar (m), I: kuat arus listrik (A),  $\mu$ o: permeabilitas vakum  $(4\pi.10^{-7} \text{ T m/A})$ .

Arah medan magnet di titik P dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan. Arah ibu jari bersesuaian dengan arah arus, dan arah jari-jari bersesuaian dengan arah medan magnet di sekitar kawat berarus tersebut.



# 2. Medan magnet pada kawat melingkar berarus listrik

Kawat melingkar berjari-jari *a* dan berarus listrik *I* seperti disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus Listrik

Besar medan magnet di titik P oleh elemen panjang kawat dL dapat dihitung dengan:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL \sin\theta}{r^2} \tag{2.10}$$

Elemen dL selalu tegak lurus dengan r sehingga  $\theta$  = 90° dan Sin  $\theta$  = 1, sehingga persamaan 2.10 dapat ditulis:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL}{r^2} \tag{2.11}$$

Komponen dB yang tegak lurus:  $dB = dB \cos \alpha$ 

Komponen dB yang sejajar:  $dB = dB \sin \alpha$ 

Besarnya medan magnet yang dihitung adalah pada komponen yang sejajar. Hal ini dikarenakan setiap elemen kawat memiliki pasangan di seberangnya (diametrik) di mana komponen tegak lurus sumbu memiliki besar yang sama akan tetapi arahnya berlawanan, sehingga saling meniadakan. Medan magnet yang dihitung yaitu:

$$B = \int dB = \int dB \sin \alpha = \int \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL}{r^2} \sin \alpha$$
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \sin \alpha \int dL = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \sin \alpha (2\pi a) \quad \text{dengan sin } \alpha = a/r, \text{ maka:}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{a} \sin^3 \alpha \tag{2.12}$$

apabila titik P di pusat lingkaran, maka sin  $\alpha$  = 1 sehingga:

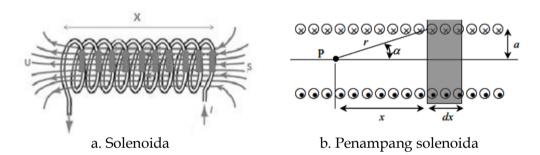
$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{a} \tag{2.13}$$

Arah medan magnet pada kawat melingkar berarus listrik ditentukan juga dengan kaidah tangan kanan.



## 3. Medan magnet pada solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan dari kawat yang diameternya sangan kecil dibanding panjangnya. Apabila dialiri arus listrik, akan menghasilkan medan magnet. Medan solenoida tersebut merupakan jumlah vektor dari medan-medan yang ditimbulkan oleh semua lilitan yang membentuk solenoida. Kedua ujung pada solenoida dapat dianggap sebagai kutub utara dan kutub selatan magnet, tergantung arah arusnya.



Gambar 2.13. Medan magnet pada solenoida

Berdasarkan Gambar 2.13 elemen panjang solenoida dx dengan permisalan jumlah lilitan tiap satuan panjang adalah n, sehingga jumlah lilitan:

$$dN = ndx (2.14)$$

medan magnet di titik P dapat dihitung dengan persamaan 2.13, dengan arus yang mengalir pada kawat solenoida adalah dI = IdN = I.n.dx, maka:

$$dB = \frac{\mu_0}{2} \frac{\ln dx}{a} \sin^3 \alpha \qquad \text{dengan } x = a/\tan \alpha \quad \text{dan } dx = -\frac{ad\alpha}{\sin^2 \alpha} \quad \text{sehingga}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{2} \frac{\ln \alpha}{a} \left( -\frac{ad\alpha}{\sin^2 \alpha} \right) \sin^3 \alpha = -\frac{\mu_0}{2} \ln \sin \alpha d\alpha \qquad (2.15)$$

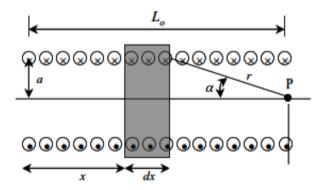
Untuk solenoida pajang tang berhingga, batas-batas integral x adalah dari  $-\infty$  sampai dengan  $+\infty$ , sedangkan  $\alpha = 180^{\circ}$  sampai dengan  $0^{\circ}$  yang

diperoleh dari tan  $\alpha = a/x$ . Medan magnet total di titik P yang berada di pusat solenoida adalah:

$$B = \mu_0 \, n \, I \tag{2.16}$$

dengan arah medan magnet (kutub utara dan selatan) yang dihasilkan seperti yang disajikan pada Gambar 2.12.a.

Persamaan 2.16 adalah persamaan untuk menentukan besarnya medan magnet di titik P yang berada di pusat solenoida. Bagaimana jika titik P berada di ujung atau tepi solenoida?



Gambar 2.14. Medan magnet pada Solenoida titik P di ujung

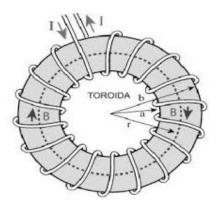
Dengan cara yang sama, akan dapat ditemukan persamaan untuk menentukan medan magnet di titik P yang berada di ujung solenoida, yaitu:

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 \, n \, I \tag{2.17}$$

Medan magnet (*B*) hanya bergantung pada jumlah lilitan per-satuan panjang (*n*), dan arus (*l*). Medan tidak tergantung pada posisi di dalam solinoida, sehingga B seragam. Hal ini hanya berlaku untuk solenoid tak hingga, tetapi merupakan pendekatan yang baik untuk titik-titik yang sebenarnya tidak dekat ke ujung.

## 4. Medan magnet pada toroida

Toroida adalah solenoida panjang yang dilengkungkan sehingga berbentuk lingkaran, seperti yang disajikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Medan magnet pada toroida

Dengan demikian besarnya medang magnet pada toroida dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16, dengan n merupakan jumlah lilitan tiap satuan panjang. Untuk elemen panjang merupakan keliling toroida yang berentuk lingkaran, yaitu  $2\pi a$  sehingga medan magnet pada toroida adalah:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2\pi a} \tag{2.18}$$

# Pemecahan masalah medan magnet

Medan magnet dalam beberapa hal analog dengan medan listrik, namun ada beberapa perbedaan yang penting untuk diingat:

- 1. Gaya yang dialami oleh partikel bermuatan yang bergerak pada medan magnet tegak lurus terhadap arah medan magnet (dan terhadap arah kecepatan partikel), sementara gaya yang diberikan medan listrik paralel dengan arah medan (dan tidak dipengaruhi oleh kecepatan partikel)
- 2. Kaidah tangan kanan, dalam berbagai bentuknya dimaksudkan untuk membantu menentukkan arah medan magnet dan gaya yang diberikan, dan/atau arah arus listrik atau kecepata partikel bermuatan. Kaidah tangan kanan dirancang untuk menangani sifat tegak lurus dari besaran-besaran tersebut.
- 3. Perhatikan bahwa persamaan-persamaan pada bab ini, umumnya tidak tercetak sebagai persamaan vektor tetapi melibatkan besarnya saja, kaidah tangan kanan digunakan untuk menemukan arah besaran-besaran vektor.

(Giancoli, 2001)

#### Pemecahan Masalah 2.2:

Dalam sebuah percobaan dilaboratorium, kawat lurus dan panjang dialiri arus listrik. Praktikan menginginkan induksi magnetik yang dihasilkan menjadi empat kali semula dengan tidak mengubah besar arus listrik. Bagaimana cara praktikan untuk menghasilkan medan magnet tersebut?

# Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

I = tetap

B = 4 kali semuka tanpa mengubah I

Ditanya: B menjadi 4x.....?

# Merencanakan pemecahan:

Menggunakan persamaan B =  $\mu_0 I/2\pi a$ 

Karena arus listrik tetap maka panjag kawat yang dirubah supaya induksi magnet menjadi 4 kali semula

#### Menerapkan perencanaan:

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu 0 I}{2 \pi a} = 4 \frac{\mu 0 I}{2 \pi a}$$

$$4a_1 = a_2$$

$$a_2 = \frac{1}{4} a_1$$

# Langkah Pemecahan Masalah Fisika, Ingat dan pahami :

- 1. Memahami masalah:
  - Menuliskan besaran yang diketahui dalam permasalahan, mengidentifikasi masalah yang harus dipecahkan, dan menulis ulang masalah dengan bentuk yang berbeda (mengutip masalah, menggambar diagram atau grafik tentang masalah dengan memanfaatkan multi representasi) serta faktorfaktor atau informasi terkait masalah
- 2. Merencakan pemecahan:
- Mengidentifikasi konsep, prinsip, aturan, rumus dan hukum fisika yang berkaitan dengan masalah, serta menentukan persamaan matematis yang tepat sesuai dengan konsep, prinsip, aturan, rumus dan hukum fisika untuk memecahkan masalahbuatlah sketsa yang mendeskripsikan masalah dan pilihlah cara yang sesuai untuk pemecahan masalah
- Menerapkan pemecahan:
   Menerapkan perencanaan melalui subtitusi nilai besaran yang diketahui ke persamaan matematis
- Mengevaluasi: Memeriksa kesesuaian jawaban dengan masalah dan memeriksa besaran dan satuannya

Selamat Mencoba!

## Mengevaluasi:

Periksa apakah masalah sudah mendapatkan solusi dan bagaimana dengan satuan dari setiap besaran yang digunakan?

 $a_2 = \frac{1}{4} a_1$  dengan satuan meter (sama dengan kondisi semula).

Jarak dijadikan ¼ kalinnya.



# EKSPERIMEN FISIKA

# Tujuan:

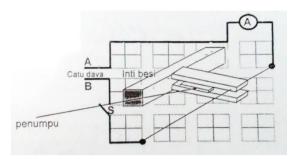
Menganalisis hubugan kuat arus degan gaya magnetik

#### Alat dan bahan:

- 1. Papan rangkaian
- 2. Inti besi
- 3. Kawat
- 4. Magnet batang
- 5. Multi meter
- 6. Power suplay

# Langkah kerja:

1. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.16. Rangkaian listrik Gaya Larentz

# 2. Lakukan percobaan dan masukkan data dalam Tabel 1

	Kuat arus (I)	Polaritas			Arah	Arah
No		A	В	Jarak	Medan	simpang
					Magnet (B)	kawat (F)
		+	-	Dekat		
		-	+	Dekat		
		+	-	Jauh		
		-	+	Jauh		
		+	-	Dekat		
		-	+	Dekat		
		+	-	Jauh		
		-	+	Jauh		

Gambarlah arah gaya magnet, medan magnet, dan arus listrik berdasarkan hasil percobaan!

Buatlah penjelasan arah-arah tersebut, agar lebih mudah dipahami!

Buatlah penjelasan hubugan kuat arus degan gaya magnetik pada kawat dan bagaimana dukungan persamaan matematikanya!



- 1. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik benda-benda lain disekitarnya.
- 2. Magnet adalah benda yang mampu menarik benda-benda disekitarnya.
- 3. Persamaan gaya Lorentz F = I. L. B Sin  $\alpha$
- 4. Besar medan magnet disekitar kawat lurus berarus listrik dapat dihitung dengan  $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$
- 5. Besarnya medan magnetik pada suatu titik yang terletak di pusat lingkaran pada kawat penghantar lingkaran adalah  $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2a}$
- 6. Besarnya medan masgnet di tengah solenoida adalah  $B=\mu_0$  n I dan ujung solenoida adalah  $B=\frac{1}{2}$   $\mu_0$  n I
- 7. Besarnya medan magnet pada toroida  $B = \frac{\mu_0 IN}{2\pi a}$



#### KOLOM MULTI REPRESENTASI

Anda diberikan dua buah kawat lurus yang diletakkan sejajar dan dialiri arus listrik yang arahnya berlawanan. Jika besar arus keduanya adalah 2 : 3 Gambarlah kawat tersebut lengkap dengan arah arus, gaya magnet, dan medan magnet (representasi gambar), bagaimana besar gaya tariknya (representasi matematika)? Buatlah penjelasan dengan menggunakan kalimat sendiri (representasi verbal). Setelah Anda membuat representasi gambar, matematika, dan verbal, diskusikan dengan temanmu dan jika mengalami kesulitan dapat bertanya kepada dosen.



#### PEMECAHAN MASALAH MANDIRI

Untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, silahkan lakukan pemecahan masalah dan hasilnya dapat didiskusikan dengan teman, apabila mengalami kesulitan dapat menanyakan kepada dosen.

- 1. Sebuah solenoida memiliki panjang 40 cm. Saat arus 2A diberikan pada solenoida, besarnya induksi magnetik yang terjadi di pusatnya yaitu 3πx10-4 T. Berapa jumlah lilitannya?
- 2. Pada solenoida yang panjang mengalir arus tetap sehingga menghasilkan medan magnet di titik pusatnya sebesar B. Jika solenoida direnggangkan sehingga panjangnya dua kali semula, bagaimana medan magnet di titik pusatnya?
- 3. Sepotong kawat penghantar panjangnya L terletak dalam medan magnet yang memiliki induksi magnetik B. Kawat tersebut dialiri arus listrik I dengan arah tegak lurus terhadap B, sehingga mengalami gaya F. Jika kawat dipotong menjadi setengahnya dan arus listrik diperbesar dua kali semula, Bagaimanakah gaya yang dialami kawat ?
- 4. Suatu penghantar berarus I dalam medan magnet B mengalami gaya Lorentz 15 N. Untuk kedudukan penghantar tetap terhadap arah

- medan magnet B, bagaimana besarnya gaya magnetik yang dialami penghantar jika: kuat arus dijadikan tiga kali dan medan magnet menjadi separuh dari semula?
- 5. Partikel bermuatan *q* bergerak dalam lintsan melingkar dengan jari-jari R pada medan magnet B. Bagaimana Anda memprediksi besarnya momentum?
- 6. Partikel bermassa m dan bermuatan q bergerak dengan lintasan melingkar pada medan magnet B. Bagaimana Anda memprediksi besarnya momentum sudut?
- 7. Tentukan medan magnet ditengah-tengah dua kawat lurus panjang yang berjarak 2 cm dengan salah satu arusnya 10 A dan arahnya sama!

**BAB 3** 

# GAYA GERAK LISTRIK (GGL) INDUKSI

Ketika Anda mencabut steker dari stopkontaknya, kadang-kadang Anda mengamati sebuah lecutan kecil. Sebelum kabelnya diputus kabel tersebut menyalurkan arus, sehingga menghasilkan medan magnetik yang mengelilingi arus tersebut. Ketika kabelnya diputus, arus secara tiba-tiba berhenti dan medan magnetik disekitarnya hilang. Medan magnetik yang berubah itu menghasilkan ggl yang mencoba mempertahankan arus semula, yang menyebabkan terjadinya lecutan di antara steker

Pada Bab ini, Anda akan belajar tentang GGL Induksi.

#### A. GGL INDUKSI

Gaya gerak listrik induksi (GGL Induksi) merupakan timbulnya gaya gerak listrik di dalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik, bilamana banyaknya fluks garis gaya itu divariasi.

Dengan kata lain, akan timbul gaya gerak listrik di dalam kumparan apabila kumparan itu berada di dalam medan magnetik yang kuat medannya

#### Gunakan Multi Representasi dalam mempelajari Fisika!

Apa itu multi representasi? Multi representasi adalah penyajian konsep fisika ke dalam beberapa format, yaitu format verbal, gambar/diagram, grafik, dan matematika.

Fungsi masing-masing format:

Format	Fungsi
Verbal	memberikan definisi dari suatu konsep
Matematis	untuk menyelesaikan persoalan kuantitatif berdasarkan representasi kualitatif.
Gambar/diagram	mebantu menvisualisasikan konsep yang masih bersifat abstrak.
Grafik	merepresentasikan penjelasan yang panjang dari suatu konsep.

Contoh: Konsep GGL Induksi

Format	Representasi
Verbal	Gaya per muatan satuan merupakan medan listrik E, dalam hal ini diinduksi oleh fluks yang berubah. Integral tertutup medan listrik disekeliling rangkaian tertutup sama dengan kerja yang dilakukan permuatan satuan
Matematika	$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$
Gambar/diagram	gen grys magnet knowy

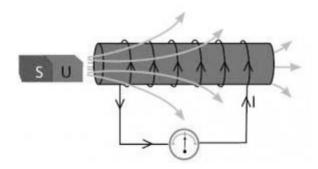
Selamat Mencoba!

berubah-ubah terhadap waktu.

Setelah Oersted menemukan bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet, kemudian Michel Faraday dan Yoseph Henry dalam penemuannya membuktikan bahwa arus listrik itu dapat dibangkitkan dari medan magnet. Namun, arus listrik hanya timbul dalam kumparan apabila magnet digerakkan, atau medan magnet selalu berubah terhadap waktu. Dari percobaan seperti Gambar 3.1 dapat dilihat, magnet batang yang digerakkan dalam kumparan dapat menimbulkan arus listrik, yang dapat dibaca pada jarum galvanometer.

Batang magnet U-S dimasukkan ke dalam kumparan. Selama gerakan U-S berlangsung, jarum galvanometer menyimpang dari kedudukan setimbang. Bila magnet U-S berhenti bergerak, jarum galvanometer kembali ke kedudukan setimbang. Kemudian megnet U-S ditarik kembali maka jarum galvanometer menyimpang kembali dari kedudukan setimbang, tetapi arah penyimpangannya berlawanan arah dengan arah penyimpangan pada saat magnet U-S mendekati kumparan.

# 1. Percobaan Faraday

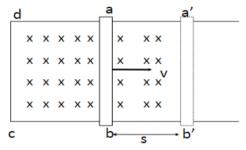


Gambar 3.1 Garis gaya magnetik akan bertambah jika magnet batang digerakkan mendekati kumparan.

Simpangan jarum galvanometer pada percobaan tersebut menunjukkan bahwa dalam rangkaian telah terjadi arus listrik. Perpindahan muatan listrik dapat terjadi bila ada beda tegangan. Beda tegangan yang demikian dinamakan Gaya Gerak Listrik Induksi (GGL Induksi), arus yang terjadi disebut arus induksi atau arus imbas. Arah arus induksi dapat ditentukan dengan hukum Lenz, yang menyatakan bahwa arah arus induksi dalam suatu penghantar itu sedemikian, sehingga menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan garis gaya yang menimbulkannya.

Sesuai dengan kaidah tangan kanan, arah arus induksi searah putaran jarum jam. Secara keseluruhan, peristiwa tersebut menghasilkan arus listrik, yakni arah arus induksi pada cincin yang semula berlawanan arah putaran jarum jam, kemudian searah putaran jarum jam.

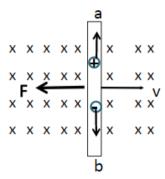
# 2. Besarnya GGL induksi yang timbul



Gambar 3.2. Proses terjadinya GGL Induksi

Medan magnet yang homogen *B*, dengan arah tegak lurus masuk menuju bidang kertas. Kawat penghantar ab dapat digerakkan bebas ke kiri dank ke kanan dengan kecepatan v, sejauh s, maka selama terjadi perpindahan ini akan terjadi perubahan jumlah garis gaya yang dilingkupi oleh rangkaian abcd, sehingga akan timbul arus induksi. Arah arus listriknya dari b ke a, dapat ditentukan dengan hukum Lenz. Karena arah B ke dalam, arah v ke

kanan, maka muatan positif mendapat gaya ke atas dan muatan negatif mendapatkan gaya ke bawah. Arah arus listrik sesuai dengan arah muatan positif. Jadi arus listriknya dari b ke a.



Gambar 3.3 Vektor-vektor pada Batang a-b

Oleh karena arah arusnya ke atas (dari b ke a) maka akan timbul pula gaya Lorentz F yang arahnya ke kiri dan besarnya F = B I L, ini dapat dicari dengan aturan tangan kanan.

Misalnya, penghantar ab dengan panjang L berpindah sejauh s dengan kecepatan v dalam waktu t, maka usaha yang diperlukan untuk perpindahan itu adalah W = -F.s. Dalam hal ini, F bertanda negative karena berlawanan arah dengan gerak penghantar ab. Berdasarkan hukum kekekalan energi, usaha tersebut telah berubah bentuk menjadi energi listrik, yaitu:

$$I \varepsilon t = -F.s = BIL.s$$

(3.1)

 $\varepsilon$  adalah beda tegangan antara a dengan b<br/> yang dapat dianggap sebagai ggl induksi.

 $W = I \varepsilon t$ , sehingga:

 $\varepsilon = -B Lv$ 

#### Pemecahan Masalah 3.1

Dalam sebuah percobaan GGL Induksi di laboratorium, praktikan menginginkan arus induksi yang dihasilkan adalah empat kali semula. Bagaimana cara praktikan untuk menghasilkan arus induksi tersebut, apabila induksi magnet homogen dan kumparan tidak diganti?

## Langkah Pemecahan Masalah:

#### Memahami masalah:

Kumparan = tetap B = homogen Ditanya: I 4 kali semula .....?

# Merencanakan pemecahan:

Untuk menghitung arus induksi kita menggunakan rumus  $I = \epsilon/R$ 

#### Menerapkan perencanaan:

#### Mengevaluasi:

v dalam satuan volt, dan untuk menjadikan 4 kali arus imduksi, maka kecepatan diperbesar 4 kali

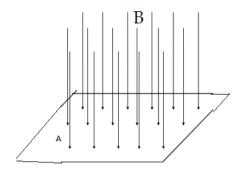
# Langkah Pemecahan Masalah Fisika , Ingat dan pahami :

- Memahami masalah:
  Menuliskan besaran yang diketahui dalam permasalahan, mengidentifikasi masalah yang harus dipecahkan, dan menulis ulang masalah dengan bentuk yang berbeda (mengutip masalah, menggambar diagram atau grafik tentang masalah dengan memanfaatkan multi representasi) serta faktorfaktor atau informasi terkait masalah
- 2. Merencakan pemecahan:
  Mengidentifikasi konsep,
  prinsip, aturan, rumus dan
  hukum fisika yang berkaitan
  dengan masalah, serta
  menentukan persamaan
  matematis yang tepat sesuai
  dengan konsep, prinsip,
  aturan, rumus dan hukum
  fisika untuk memecahkan
  masalahbuatlah sketsa yang
  mendeskripsikan masalah
  dan pilihlah cara yang sesuai
  untuk pemecahan masalah
- Menerapkan perencanaan:
   Menerapkan perencanaan melalui subtitusi nilai besaran yang diketahui ke persamaan matematis
- Mengevaluasi: Memeriksa kesesuaian jawaban dengan masalah dan memeriksa besaran dan satuannya

Selamat Mencoba!

#### B. HUKUM FARADAY DAN HUKUM LENZ

Faraday melakukan eksperimen untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya ggl induksi. Hasil eksperimennya menemukan bahwa induksi bergantung pada waktu (jika semakin cepat terjadinya perubahan medan magnet , maka semakin besar ggl induksi). Menurut Faraday, ggl tidak berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik ( $\Phi_B$ ) yang bekerja pada luasan A. Fluks magnetik adalah banyaknya garisgaris gaya megnet yang dilingkupi oleh luas daerah tertentu dalam arah tegak lurus.



Gambar 3.4 Garis Gaya pada Luasan A

Fluks magnetik dapat dihitung dengan:

$$\Phi_B = BA \cos \theta \tag{3.2}$$

dengan  $\Phi_B$  = fluks magnetik (weber atau tesla-meter²), B = kerapatan geris gaya magnet/ medan magnet (weber/m²), dan A = luas daerah yang dilingkupi B (m²), dan  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk antara arah B dan normal bidang A. Apabila  $\theta$  = 90° maka diperoleh  $\Phi_B$  yang minimum, sebaliknya apabila  $\theta$  = 0° maka diperoleh  $\Phi_B$  yang maksimum.

Perhatikan kembali Gambar 3.2, setelah ab bergeser sejauh s sampai a'b', perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh luas abbá'menjadi:

$$\Delta \Phi_B = B \ A_{(abb'a')} = B \ (L.s) \tag{3.3}$$

dari persamaan (3.1) diperoleh  $\varepsilon = -BL(s/\Delta t)$  sehingga  $\varepsilon \Delta t = -BLs$  dengan nilai (*L.s*) dicari dari persamaan (3.3), diperoleh  $Ls = \Delta \Phi/B$ 

sehingga didapat  $\varepsilon \Delta t = -B \Delta \Phi/B$ , sehingga:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \tag{3.4}$$

Persamaan 3.4 menyatakan hukum Faraday, yang berarti bahwa:

Gaya-gaya listrik induksi yang terjadi dalam suatu rangkaian besarnya berbanding lurus dengan cepat perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya.

Besarnya ggl induksi sesaat dapat dituliskan menjadi:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \tag{3.5}$$

Apabila kumparan dengan N lilitan maka ggl induksi yang timbul adalah:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \tag{3.6}$$

Tanda minus pada persamaan 3.6 mengingatkan kita pada arah ggl induksi, yang bersesuaian dengan hukum Lenz, yaitu:

ggl induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetnya berlawanan dengan asal perubahan fluks.

Perlu kita ingat, bahwa ggl induksi disebabkan karena perubahan fluks magnetik. Artinya, perubahan fluks magnetik menyebabkan gaya gerak listrik induksi. Perubahan fluks magnetik disebabkan oleh perubahan medan magnet (*B*), perubahan luasan kumparan dalam medan (*A*), dan

perubahan sudut orientasi ( $\theta$ ). Dengan perubahan-perubahan tersbut, maka ggl induksi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

a. Perubahan fluks magnetik karena perubahan induksi magnetik (B)

$$\varepsilon = -NACos\theta \frac{dB}{dt} \tag{3.7}$$

b. Perubahan fluks magnetik karena perubahan luas penampang (A)

$$\varepsilon = -NBCos\theta \frac{dA}{dt} \tag{3.8}$$

c. Perubahan fluks magnetik karena perubahan sudut  $(\theta)$ 

$$\varepsilon = -NBA \frac{dCos\theta}{dt} \tag{3.9}$$

#### Contoh soal 3.1:

Sebuah kumparan mempunyai 600 lilitan. Fluks magnetik yang dikurungnya mengalami perubahan 5 x 10<sup>-5</sup> weber selama 2 x 10<sup>-2</sup> detik. Berapa ggl induksi yang terjadi pada kumparan?

### Penyelesaian

Diketahui:

N = 600 lilitan

 $\Delta \Phi = 5 \times 10^{-5}$  weber

 $\Delta t = 2 \times 10^{-2} \text{ detik}$ 

Ditanya: ε .....?

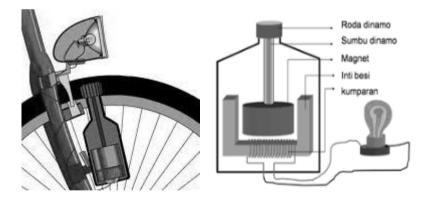
$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -600 \frac{5 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-2}}$$

$$\varepsilon = -300 \times 5 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = -1.5 \text{ volt}$$

Contoh praktis penemuan Faraday adalah pengembangan dinamo atau generator listrik. Dinamo mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

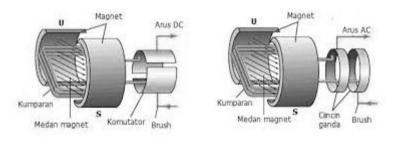


Gambar 3.5. Dinamo sepeda dan penampang dinamo sepeda

Generator listrik yang paling sederhana adalah dinamo sepeda. Tenaga yang digunakan untuk memutar rotor adalah roda sepeda. Jika roda berputar, kumparan atau magnet ikut berputar. Akibatnya, timbul ggl induksi pada ujung-ujung kumparan dan arus listrik mengalir. Semakin cepat gerakan roda sepeda, makin cepat magnet atau kumparan berputar, sehingga semakin besar pula ggl induksi dan arus listrik yang dihasilkan.

Jika dihubungkan dengan lampu, nyala lampu makin terang. Ggl induksi pada dinamo dapat diperbesar dengan cara putaran roda dipercepat, menggunakan magnet yang kuat (besar), jumlah lilitan diperbanyak, dan menggunakan inti besi lunak di dalam kumparan.

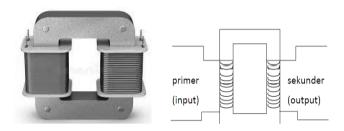
Generator dibedakan menjadi dua yaitu, generator arus searah (DC) dan dinamo arus bolak-balik (AC). Prinsip kerja generator yaitu memutar kumparan di dalam medan magnet atau memutar magnet di dalam kumparan. Bagian yang berputar disebut rotor, dan yang tidak bergerak disebut stator.



a. Generator DC b. Generator AC Gambar 3.6. Perbedaan genetaror DC dan AC

Perbedaan antara generator DC dengan generatorAC terletak pada cincin yang digunakan. Pada generator DC menggunakan satu cincin yang dibelah menjadi dua yang disebut cincin belah (komutator). Cincin ini memungkinkan arus listrik yang dihasilkan pada rangkaian luar generator berupa arus searah walaupun di dalam dinamo sendiri menghasilkan arus bolak-balik. Adapun, pada dinamo AC menggunakan cincin ganda (dua cincin).

Selain generator, contoh penerapan ggl induksi yang lain adalah pada transformator. Transformator bekerja berdasarkan perubahan fluks magnetik pada kumparan transformator (trafo). Perubahan fluks akan menghasilkan ggl induksi ataupun arus induksi pada keluaran transformator. Supaya dapat terjadi perubahan fluks magnet pada transformator, maka arus yang dimasukkan atau arus input pada transformator harus berubah-ubah terhadap waktu.



Gambar 3.7 Bagan Transformator

Beda tegangan yang dihubungkan dengan ujung-ujung kumparan primer dinamakan tegangan primer (input), dan beda tegangan ujung-ujung tegangan sekunder disebut tegangan sekunder (output).

Perbedaan tegangan input dengan output:

$$V_1: V_2 = N_1: N_2 \tag{3.10}$$

dengan  $V_1$  = tegangan pada kumparan primer,  $V_2$  = tegangan pada kumparan sekunder,  $N_1$  = jumlah lilitan primer,  $N_2$  = jumlah lilitan sekunder

Untuk transformator yang ideal, tidak terjadi kehilangan energi dari kumparan primer ke kumparan sekunder atau daya yang dihasilkan pada kumparan sekunder sama dengan yang diberikan oleh kumparan primer.

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 (3.11)$$

dengan  $I_1$  = kuat arus pada kumparan primer, dan  $I_2$  = kuat arus pada kumparan sekunder.

Tetapi dalam kenyataannya tidak ada transformator yang ideal, jadi selalu terjadi kehilangan energi dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Kehilangkan energi ini diakibatkan oleh terjadinya pemanasan.

Prinsip kerja transformator adalah memindahkan energi listrik dengan cara induksi melalui pasangan kumparan primer dan kumparan sekunder. Untuk memperkecil kehilangan energi, maka pasangan kumparan primer dan kumparan sekunder dibuat dalam susunan tertutup dengan teras besi lunak yang dibuat berlapis-lapis dan diletakkan satu sama lain dengan bahan isolasi untuk mengurangi terjadinya arus pusaran. Besarnya efisiensi transformator adalah:

$$\eta = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} x 100\% \tag{3.12}$$

Untuk transformator ideal  $\eta = 100\%$ 

#### Contoh soal 3.2:

Sebuah transformator step-down dengan efisiensi 80% mengubah tegangan 1000 volt menjadi 220 volt. Transformator digunakan untuk menyalakan lampu 220; 50 watt. Berapa besar arus pada bagian primer?

#### Penyelesaian

Diketahui:

 $P_{out} = 20$  watt

 $V_{in} = 1000 \text{ volt}$ 

 $V_{out} = 220 \text{ volt}$ 

$$h = 80\%$$

Ditanya: Ip .....?

$$\eta = \frac{P_{out}}{Pin} \times 100\%$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\%$$

$$= \frac{20}{80\%} \times 100\%$$

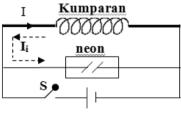
$$= 25 \text{ watt}$$

$$I_p = \frac{P_{in}}{V_p}$$

### C. INDUKTANSI DIRI

= 0.025 A

Ggl induksi yang terjadi karena perubahan fluks magnetik pada kumparan akibat perubahan arus listrik mempengaruhi kumparan itu sendiri sehingga ujung-ujung kumparan timbul beda potensial.



Gambar 3.7. Induktansi

Perhatikan Gambar 3.7. Pada saat saklar ditutup arus listrik akan mengalir melalui kuparan yang besarnya konstan sehingga fluks magnetik yang terjadi juga konstan. Sesaat, setelah arus listrik terhubung dan terlepas, terjadi perubahan arus listrik (dari tidak ada menjadi ada dan dari ada menjadi tidak ada), sehingga sesaat itu juga terjadi perubahan fluks magnetik disekitar kumparan. Perubahan fluks magnetik ini mempengaruhi kumparan itu lagi sehingga timbul ggl pada ujung ujung kumparan yang disebut dengan ggl induksi diri.

Besarnya ggl induksi diri sebanding dengan cepat perubahan arus listrik, yaitu:

$$\varepsilon_I = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \tag{3.13}$$

atau 
$$\varepsilon_I = -L \frac{dI}{dt}$$
 (3.14)

di mana  $\frac{dI}{dt}$  merupakan cepat perubahan kuat arus listrik dengan satuan ampere/detik (A/det), L merupakan konstanta pembanding yang disbeut dengan induktansi diri atau induktansi dengan satuan Henry (H), dan  $\varepsilon_I$  merupakan ggl induksi diri.

Sekarang kita bayangkan sebuah kumparan berupa selenoida atau toroida. Bagaiman besar induktansi nya? Besarnya induktansi diri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 dan persamaan 3.14, sehingga:

$$-N\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

$$L = \frac{Nd\Phi}{dI}$$
(3.15)

Telah dibahas bahwa L dapat menghasilkan ggl induksi, sehingga memiliki energi listrik. Energi listrik tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$W = \varepsilon I t \tag{3.16}$$

dengan mensubtitusi persamaan 3.11, maka didapatkan:

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$
 (3.17)

di mana W adalah energi induktor dengan satuan Joule (J).



### Tujuan:

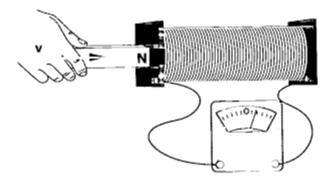
- 1. Menganalisis hubungan antara arah medan magnet dan arah arus induksi.
- 2. Mendeskripsikan apa saja yang mempengaruhi besarnya arus induksi.

#### Alat dan bahan:

- 1. Kumparan 500 lilitan dan 1000 lilitan
- 2. Kabel penghubung
- 3. Magnet batang
- 4. Galvanometer

### Langkah kerja:

1. Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 3.8, dan lakukan percobaan dengan menggerakkan magnet batang keluar-masuk pada lilitan kawat.



Gambar 3.8. Magnet dimasukkan pada lilitan kawat (kumparan) yang terhubung galvanometer

2. Lengkapi Tabel 1. Berdasarkan hasil percobaan.

Tabel 3.1. Data hasil percobaan.

Jumlah magnet	Kumparan (lilitan)	Gerakan magnet kedalam	Arus (A)	Gerakan magnet keluar	Arus (A)
1		Pelan		Pelan	
		Cepat		Cepat	
		Pelan		Pelan	
		Cepat		Cepat	
2		Pelan		Pelan	
		Cepat		Cepat	
		Pelan		Pelan	
		Cepat		Cepat	

- 3. Berdasarkan hasil percobaan, lakukan analisis:
  - a. Hubungan antara arah medan magnet dan arah arus induksi:
  - b. Apa saja yang mempengaruhi besarnya arus induksi:



# RANGKUMAN

 Gaya gerak listrik induksi (GGL Induksi) adalah timbulnya gaya gerak listrik di dalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik, bilamana banyaknya fluks garis gaya itu divariasi. Dirumuskan:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

2. Perubahan fluks magnetik menyebabkan perubahan gaya gerak listrik induksi.

Perubahan fluks magnetik karena perubahan induksi magnetik (B)

$$\varepsilon = -NACos\theta \frac{dB}{dt}$$

Perubahan fluks magnetik karena perubahan luas penampang (A)

$$\varepsilon = -NBCos\theta \frac{dA}{dt}$$

Perubahan fluks magnetik karena perubahan sudut  $(\theta)$ 

$$\varepsilon = -NBA \frac{dCos\theta}{dt}$$

3. Aplikasi gaya gerak listrik induksi pada transformator dan dinamo.



#### **KOLOM MULTI REPRESENTASI**

Apa yang terjadi ketika magnet batang dimasukkan ke dalam kumparan (kutub selatan lebih dulu dan utara lebih dulu). Gambarlah penyimpangan arus listrik (representasi gambar) dan buatlah penjelasan dengan menggunakan kalimat sendiri (representasi verbal). Setelah Anda membuat representasi gambar dan verbal, diskusikan dengan temanmu dan jika mengalami kesulitan dapat bertanya kepada dosen.

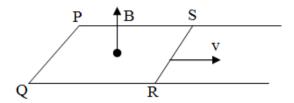


#### PEMECAHAN MASALAH MANDIRI

Untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, silahkan lakukan pemecahan masalah dan hasilnya dapat didiskusikan dengan teman, apabila mengalami kesulitan dapat menanyakan kepada dosen.

- 1. Sebuah kumparan menembus medan magnet homogen secara tegak lurus sehingga terjadi ggl induksi. Jika kumparan diganti dengan kumparan lain yang mempunyai lilitan 2 kali jumlah lilitan kumparan semula dan laju perubahan fluksnya tetap, maka bagaimana perbandingan ggl induksi mula-mula dan akhir ?
- 2. Sebuah magnet batang digerakkan menjauhi kumparan yang terdiri atas 600 lilitan. Fluks magnetik yang memotong berkurang dari 9.10<sup>-5</sup> weber menjadi 4.10<sup>-5</sup> weber dalam selang waktu 0,015 detik. Bagaimana besar ggl induksi yang terjadi antara kedua ujung kumparan?

- 3. Sebuah kumparan kawat berbentuk lingkaran dengan diameter 6 cm dan terdiri atas 3.000 lilitan. Kumparan diletakkan tegak lurus dalam suatu medan magnet . Jika rapat fluks magnetik kumparan berubah dari 0,5 menjadi 1,7 WB.m 2 dalam waktu 3,14 menit, perkirakan ggl induksi secara rata-rata dalam kumparan tersebut!
- 4. Perhatikan gambar di bawah ini:



RS digerakkan dengan kecepatan 2 m/s memotong medan magnet B=2 T. Panjang RS = 40 cm dan hambatan loop (PQRS) = 1,6 ohm. Jika arah v diberi tanda positif dan sebaliknya negatif, tentukan Gaya Lorentz pada penghantar RS!

- 5. Dua kumparan tipis A dan B jari-jarinya dengan perbandingan 1 : 2 dan masing-masing mempunyai perbandingan lilitan 4 : 1. Keduanya berada dalam medan magnetik serba sama. Jika induksi magnetik B bertambah dengan kecepatan tetap, bagimanakah perbandingan ggl nya?
- 6. Lilitan kawat suatu solenoida dibuka dan digunakan untuk membuat lilitan solenoida baru yang diameternya dua kali semua. Berapa perubahan induktansi kumparan tersebut?
- 7. Tegangan keluaran dari sebuah transformator 100 W adalah 12 V dan arus masukannya adalah 10 A. Apakah jenis transformator tersebut dan bagaimana kelipatan tegangannya?

### **DAFTAR PUSTAKA**

Abdullah, M. (2006). Diktat Kuliah Fisika Dasar II. Bandung: ITB

Giancoli, D. C. (2008). Fisika Jilid 2. Jakarta: Erlangga

Halliday, D., & Resnick, R. (1989). *Fisika 2* (Terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto). Jakarta: Erlangga.

Tipler, P.A. (2001). Fisika Edisi Ketiga Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

### **GLOSARIUM**

Amperemeter	:	Alat untuk mengukur besar kuat arus listrik.
Arus listrik		Aliran muatan listrik atau muatan listrik yang mengalir
		tiap satuan waktu.
Arus searah		Suatu arus listrik yang aliran netto muatannya hanya
		dalam satu arah
Beda potensial	:	Selisih besar potensial listrik antara dua buah titik
lsitrik		
Coulomb		Satuan muatan listrik dalam sistem satuan internasional
Elektron	:	Suatu partikel elemeter yang mempunyai massa diam
		8,109558 x 10 <sup>-31</sup> kg dan muatan negatif sebesar 1,602192 x
		10 <sup>-19</sup> coulomb.
Gaya Lorentz	:	Gaya (dalam bidang fisika) yang ditimbulkan
		oleh muatan listrik yang bergerak atau oleh arus listrik
		yang berada dalam suatu medan magnet
Gaya magnet		Gaya yang ditimbulkan oleh dorangan dan tarikan dari
		magnet.
Hambatan listrik	:	Ukuran sejauh mana suatu objek menentang aliran arus
		listrik
Gaya gerak listrik	:	Beda potensial antara ujung-ujung penghantar sebelum
		dialiri arus listrik
Hukum I Kirchhoff		Hukum yang menyatakan bahwa arus yang masuk titik
		cabang sama dengan arus keluar.
Hukum II	:	Hukum yang menyatakan bahwa dalam rangkaian
Kirchhoff		tertutup, jumlah aljabar ggl penurunan tegangan sama
		dengan 0.
Hukum Ohm	:	Hukum yang menyatakan bahwa tegangan listrik
		sebanding dengan kuat arus.
Induksi Magnet		Kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang
		mengalir dalam konduktor
Medan Magnet		Daerah di sekitar magnet yang menyebabkan sebuah
		muatan yang bergerak di sekitarnya mengalami suatu
		gaya
Multi representasi	:	Penyajian konsep dan/atau proses fisika dengan format
3.5.10		verbal, gambar, grafik, dan matematika.
Multimeter	:	Alat ukur listrik yang dapat digunakan untuk mengukur
01		kuat arus, tegangan dan hambatan
Ohm		Satuan hambatan listrik
Ohmmeter		Alat untuk mengukur besar hambatan listrik
Penghantar Pemecahan masalah		Benda yang dapat menghantar
Pemecahan masalah		Penyelesaian masalah dengan cara memahami,
Т		merencanakan, menerapkan perencanaan, dan evaluasi.
Tegangan	Beda potensial antar ujung-ujung penghantar.	
Voltmeter	:	Alat untuk mengukur besar tegangan listrik.

## Lampiran:

### A. Konstanta-kontanta dasar

////-	2.0070 4.08 -1 2 4.08 -1
Kecepatan cahaya hampa udara (c)	$2,9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Permeabilitas ruang hampa $(\mu_0)$	$4\pi \times 10^{-7} \; \mathrm{Hm^{-1}}$
Permitivitas ruang hampa $(\varepsilon_0)$	$1/(\mu_0 c^2) = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
Konstanta Gravitasi (G)	$6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Konstanta Planck (h)	$6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Konstanta Avogadro ( $N_A$ )	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Konstanta Boltzmann (k)	$1,38 \times 10^{-23}  \text{JK}^{-1}$
Konstanta Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ )	$5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Konstanta gas umum (R)	8,3143 m <sup>2</sup> kg/s <sup>2</sup> K mol
Konstanta Rydberg (R)	$1,097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$
Konstanta Gaya Listrik (k)	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$
Konstanta Faraday (F)	$9,65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
Percepatan Gravitasi (g)	9,8 ms <sup>-2</sup>
Muatan electron (e)	$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Muatan Proton (q)	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Muatan Muon (q)	$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Massa electron (m)	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV/c}^2$
Massa proton (m)	$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938,26 \text{ MeV/c}^2$
Massa neutron (m)	$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 939,55 \text{ MeV/c}^2$
Massa muon (m)	$3,312 \times 10^{-29} \text{ kg} = 105,6 \text{ MeV/c}^2$
Satuan Massa Atom (sma, amu) (u)	$1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,43 \text{ MeV/c}^2$

### B. Alfabet Yunani

Nama	Kapital	Kecil	Nama	Kapital	Kecil
Alpha	A	α	Nu	N	ν
Beta	В	β	Xi	Ε	ξ
Gamma	Γ	γ	Omicron	0	О
Delta	Δ	δ	Pi	П	$\pi$
Epsilon	Е	$\epsilon$	Rho	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	Е	η	Tau	Т	τ
Theta	Θ	θ	Upsilon	Υ	υ
lota	I	ι	Phi	Ф	φ
Карра	K	к	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mu	М	μ	Omega	Ω	ω

### C. Konversi satuan

Unit	Konversi				
Sudut	1 putaran = 360°				
Density	1 gram per cubic centimeter = $10^3 \text{ kg/m}^3$ Berat air = $62,43 \text{ lb/ft}^3$				
Massa	1 kilogram = $10^3$ gram = $6.85 \times 10^{-2}$ slug 1 gram = $10^{-3}$ kg = $6.85 \times 10^{-5}$ slug				
Panjang	1 meter = 3,28 1 foot = 0,3048		1 mile = $1609 \text{ m} = 5280 \text{ ft}$ 1 angstrom = $10^{-10} \text{ m}$		
Gaya	1 newton = 10 <sup>5</sup> dyne = 0,225 lb 1 dyne = 10 <sup>-5</sup> N = 2,25 x 10 <sup>-5</sup> lb 1 pound = 4,448 N = 4,448 x 10 <sup>5</sup> dyne				
Kecepatan	1 meter/det = 3,281 ft/det = 2,237 ml/jam				
Tekanan	atm mmHg N/m² Lb/ft²				
Atmosphir	1	760	1.013 x 10 <sup>5</sup>	2116	
Mm air raksa N/m <sup>2</sup>	1,316 x 10 <sup>12</sup>	1	133,3	2,785	
Lb/ft <sup>2</sup>	9,869 x 10 <sup>6</sup>	7,5 x 10 <sup>3</sup>	1	2,089 x 10 <sup>2</sup>	
	4,725 x 10 <sup>4</sup>	0,359	47,88	1	
Energi	1 joule = 0,7376 ft-lb = 0,239 cal = 10 <sup>7</sup> ergs 1 ft-lb = 1,356 J = 0,324 cal 1 cal = 4,186 J = 3,087 ft-lb				
Daya	1 watt = 0,737 ft-lb/det = 1,341 x 10 <sup>13</sup> hp = 1J/det 1 hp = 550 ft-lb/det = 746 watt 1 ft-lb/det = 1,818 x 10 <sup>-3</sup> hp = 1,356 W				

#### **TENTANG PENULIS**



Joko Siswanto, adalah dosen di Universitas PGRI Semarang. Riwayat Pendidikan: Pendidikan S1 di Program Studi Pendidikan Fisika IKIP PGRI Semarang, S2 di Program Studi Pendidikan Sains (Fisika) Universitas Sebelas Maret Surakarta, Saat ini sedang menempuh S3 Pendidikan Sains Universitas Negeri Surabaya, Mata Kuliah yang ampu adalah Fisika Dasar dan Media

Pembelajaran Fisika.



Endang Susantini, adalah dosen di Universitas Negeri Surabaya. Riwayat Pendidikan: Pendidikan S1 diselesaikan tahun 1990 di IKIP Surabaya, pendidikan S2 diselesaikan tahun 1993 di IKIP Malang, S3 diselesaikan tahun 2004 di Universitas Negeri Malang. Jabatan Fungsional adalah Guru Besar (Profesor). Matakuliah yang diampu diantaranya Teori Belajar, Program Pengelolaan

Pembelajaran, Asesmen Proses dan Hasil Belajar.



Budi Jatmiko, adalah dosen di Universitas Negeri Surabaya. Saat ini Riwayat Pendidikan: Pendidikan S1 diselesaikan tahun 1984 di IKIP Surabaya, pendidikan S2 diselesaikan tahun 1990 di IKIP Jakarta, S3 diselesaikan tahun 1997 di Universitas Airlangga. Jabatan Fungsional adalah Guru Besar (Profesor). Matakuliah yang diampu diantaranya Fisika Umum, Fisika Zat Padat, Inovasi dan

Problematika Pembelajaran Sains.