

MODUL PEMBELAJARAN

KODE : MKH.LI.(1).02 (80 Jam)

RANGKAIAN LISTRIK

**BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK PEMBANGKITAN**



**PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPILAN HIDUP
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2003**

KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk modul/paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi (*Competency Based Training*). Untuk itu modul ini sangat sesuai dan mudah untuk dipelajari secara mandiri dan individual. Oleh karena itu walaupun modul ini dipersiapkan untuk peserta diklat/siswa SMK dapat digunakan juga untuk diklat lain yang sejenis.

Dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan asas keluwesan dan keterlaksanaannya, yang menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum/program diklat, guna merealisasikan penyelenggaraan pembelajaran di SMK. Penyusunan Bahan Ajar Modul bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai tuntutan penguasaan kompetensi tamatan SMK sesuai program keahlian dan tamatan SMK.

Demikian, mudah-mudahan modul ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam pembekalan kompetensi kejuruan peserta diklat.

Jakarta, 01 Desember 2003
Direktur Dikmenjur,

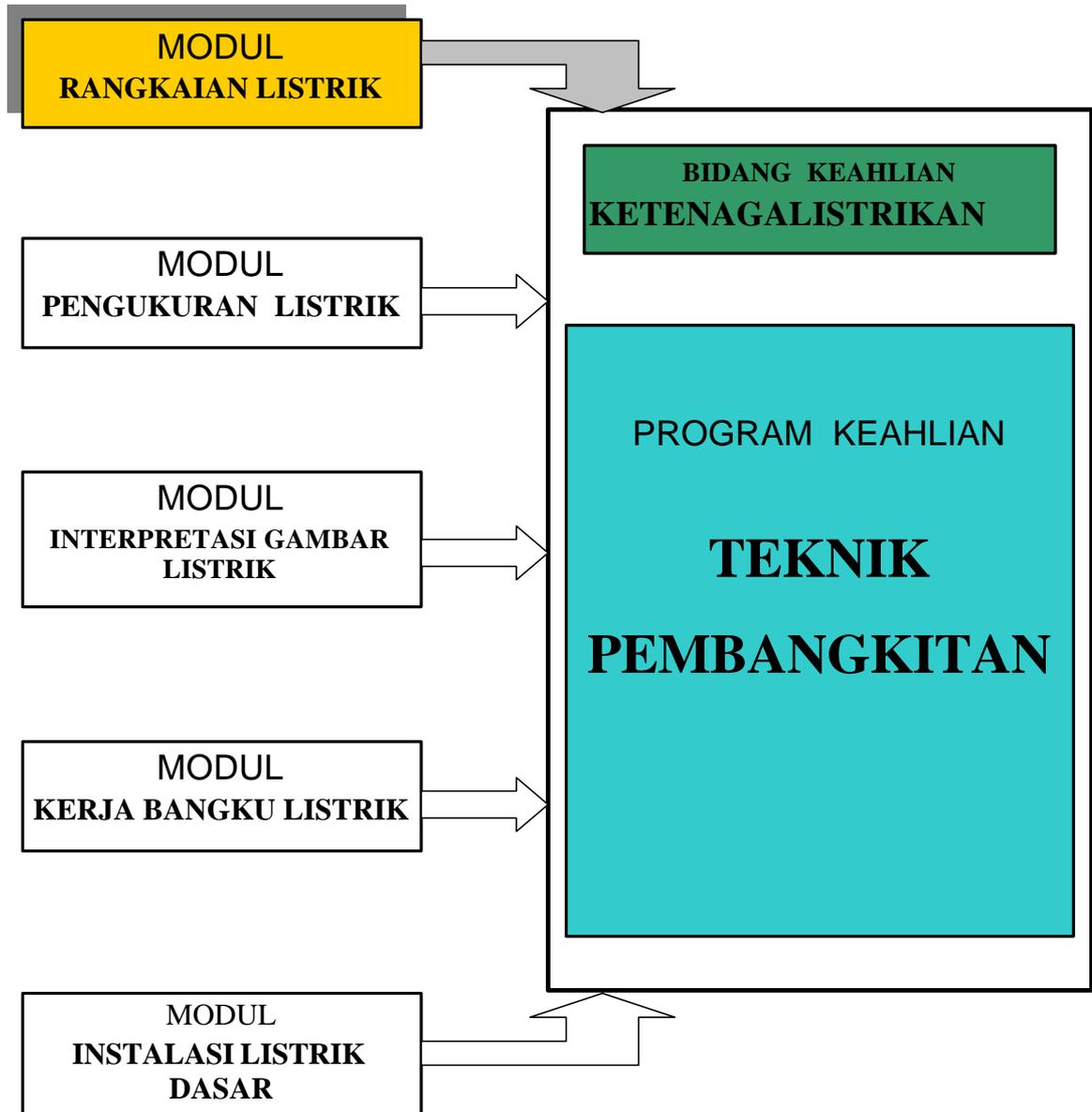
Dr. Ir. Gator Priowirjanto
NIP 130675814

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
PETA KEDUDUKAN MODUL	iv
PERISTILAHAN	v
I PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul	2
D. Tujuan Akhir.....	2
E. Standar Kompetensi.....	3
F. Cek Kemampuan	4
II PEMBELAJARAN	5
A. RENCANA BELAJAR SISWA	5
B. KEGIATAN BELAJAR.	6
KEGIATAN BELAJAR 1	6
A. Tujuan Kegiatan	6
B. Uraian Materi	6
KEGIATAN BELAJAR 2	10
A. Tujuan Kegiatan	10
B. Uraian Materi	10
KEGIATAN BELAJAR 3	17
A. Tujuan Kegiatan	17
B. Uraian Materi	17
KEGIATAN BELAJAR 4	24
A. Tujuan Kegiatan	24
B. Uraian Materi	24
C. Rangkuman	31
D. Tes Formatif	33
E. Jawaban Tes Formatif	34
F. Lembar Kerja	35

KEGIATAN BELAJAR 5	36
A. Tujuan Kegiatan	36
B. Uraian Materi	36
KEGIATAN BELAJAR 6	42
A. Tujuan Kegiatan	42
B. Uraian Materi	42
KEGIATAN BELAJAR 7	49
A. Tujuan Kegiatan	49
B. Uraian Materi	49
C. Rangkuman	53
D. Tes Formatif	55
E. Jawaban Tes Formatif	56
F. Lembar Kerja	57
III EVALUASI	58
KUNCI JAWABAN	60
IV PENUTUP	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	63

PETA KEDUDUKAN MODUL



PERISTILAHAN

ac (alternating current)	: arus bolak-balik
accu (accumulator)	: aki (sumber tenaga listrik arus searah)
dc (direct current)	: arus searah
di-charge	: proses pengisian aki
dk	: daya kuda
efisiensi	: daya guna
frekuensi	: jumlah periode dalam satu detik
ggl	: gaya gerak listrik
kern	: inti transformator
μ (miu)	: permeabilitas (kerapatan arus gaya di dalam bahan)
ω (omega)	: kecepatan sudut
periode	: perubahan arus/tegangan dari +, -, kembali ke + lagi
pj (panas jenis)	: kalori untuk menaikkan 1 ^o C suhu 1 kg bahan
spektrum magnet	: garis-garis gaya magnet

I. PENDAHULUAN

DESKRIPSI MODUL

Modul ini berjudul “Rangkaian Listrik” merupakan salah satu bagian dari keseluruhan lima judul modul, dimana empat modul lainnya adalah : pengukuran listrik, interpretasi gambar listrik, kerja bangku listrik, instalasi listrik dasar.

Kelima judul modul ini diturunkan melalui analisis kebutuhan pembelajaran dari unit kompetensi memelihara instalasi listrik K.HLI (1) pada sub kompetensi 2 tentang rangkaian listrik. Pengembangan isi modul ini diarahkan sedemikian rupa, sehingga materi pembelajaran yang terkandung didalamnya disusun berdasarkan topik-topik selektif untuk mencapai kompetensi dalam memelihara instalasi listrik.

Pengetahuan : Memahami konsep dasar rangkaian listrik dan teori dasar transformator yang akan digunakan dalam teknik listrik.

Keterampilan : Melakukan pemilihan jenis komponen rangkaian listrik yang sesuai dengan kebutuhan yang akan digunakan dalam pemasangan rangkaian listrik.

Sikap : Penentuan dan pemilihan komponen listrik yang cocok untuk digunakan sebagai keperluan dalam pemasangan teknik listrik.

PRASYARAT

Pendidikan Formal

Telah menyelesaikan pendidikan setara Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) atau sederajat

Kaitan dengan modul/kemampuan lain

Tidak ada, karena merupakan mata ajar konsep dasar

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

1. Petunjuk bagi siswa

Langkah-langkah belajar yang ditempuh :

- a. Baca petunjuk kegiatan belajar pada setiap modul kegiatan belajar
- b. Baca tujuan dari setiap modul kegiatan belajar
- c. Pelajari setiap materi yang diuraikan/dijelaskan pada setiap modul kegiatan
- d. Pelajari rangkuman yang terdapat pada setiap akhir modul kegiatan belajar
- e. Baca dan kerjakan setiap tugas yang harus dikerjakan pada setiap modul kegiatan belajar
- f. Kerjakan dan jawablah dengan singkat dan jelas setiap ada ujian akhir modul kegiatan belajar (test formatif)

2. Peran guru

- a. Menjelaskan petunjuk-petunjuk kepada siswa yang masih belum mengerti
- b. Mengawasi dan memandu siswa apabila ada yang masih kurang jelas
- c. Menjelaskan materi-materi pembelajaran yang ditanyakan oleh siswa yang masih kurang dimengerti
- d. Membuat pertanyaan dan memberikan penilaian kepada setiap siswa

TUJUAN AKHIR

Setelah mengikuti/ menyelesaikan kegiatan-kegiatan belajar dari modul ini , diharapkan siswa memiliki spesifikasi kinerja sebagai berikut :

- a. Memahami tentang dasar-dasar sistem satuan yang digunakan dalam bidang teknik ketenagalistrikan
- b. Mampu menganalisis rangkaian listrik sederhana
- c. Mengetahui dan dapat menunjukkan macam-macam tahanan listrik
- d. Memahami dan dapat menyelesaikan konsep hubungan seri dan paralel
- e. Dapat menjelaskan prinsip kemagnitan yang mungkin terjadi
- f. Dapat membedakan tegangan dan arus bolak-balik untuk sistem satu fasa dan sistem tiga fasa
- g. Mempunyai kemampuan tentang teori dasar transformator

STANDAR KOMPETENSI

Kode Kompetensi : K.HLI (1) 02

Unit Kompetensi : Rangkaian Listrik

Ruang Lingkup :

Unit kompetensi ini berkaitan dengan pemilihan komponen-komponen sistem tenaga listrik yang digunakan untuk keperluan teknik pembangkitan tenaga listrik

Sub Kompetensi 1 :

Merencanakan jenis komponen listrik yang akan digunakan untuk keperluan teknik pembangkitan tenaga listrik

KUK :

1. Sifat-sifat komponen listrik dipelajari sesuai fungsi dan tujuan
2. Macam-macam sumber listrik
3. Macam-macam beban listrik
4. Macam-macam hubungan listrik
5. Proses pembangkitan tenaga listrik

Sub Kompetensi 2 :

Melakukan pemilihan jenis komponen listrik yang akan digunakan

KUK :

1. Mengidentifikasi maksud, tujuan dan fungsi dari komponen listrik, seperti : generator, aki, baterai, jenis beban resistif, induktif, atau kapasitif, dll.
2. Memilih komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan.

Sub Kompetensi 3 :

Memasang/menerapkan komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan

KUK :

1. Mengikuti prosedur / ketentuan pemasangan komponen sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan
2. Mengikuti aturan sesuai dengan SOP

Sub Kompetensi 4 :

Membuat Berita Acara Hasil Pemasangan

KUK :

1. Data hasil pemasangan dicatat dalam laporan pemasangan komponen
2. Berita acara dibuat sesuai format yang telah ditetapkan lembaga

Kode Modul : MK.HLI (1) 02

CEK KEMAMPUAN

Daftar Pertanyaan	Tingkat Penguasaan (score : 0 – 100)
1. Apakah siswa sudah memahami sifat-sifat komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan ?	
2. Apakah siswa mampu menjelaskan macam-macam sumber tenaga listrik ?	
3. Apakah siswa mampu menjelaskan macam-macam beban listrik ?	
4. Apakah siswa mampu menyelesaikan macam-macam hubungan komponen-komponen pada teknik tenaga listrik ?	
5. Apakah siswa dapat menjelaskan proses terjadinya ggl dalam sistem pembangkitan tenaga listrik ?	
6. Apakah siswa dapat membedakan maksud, tujuan dan fungsi dari komponen listrik, seperti : generator, aki, baterai, jenis beban resistif, induktif, atau kapasitif, dll. ?	
7. Apakah siswa mampu memilih komponen listrik sesuai dengan fungsi dan tujuan yang diharapkan ?	
8. Apakah siswa telah mengikuti prosedur / ketentuan pemakaian komponen listrik sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan ?	
9. Apakah siswa telah mengikuti aturan sesuai dengan SOP ?	
10. Apakah siswa telah mencatat data hasil pemasangan dalam laporan pemasangan komponen ?	
11. Apakah siswa telah membuat berita acara sesuai format yang telah ditetapkan lembaga bersangkutan ?	

II. PEMBELAJARAN

A. RENCANA BELAJAR SISWA

Jenis kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat belajar	Alasan perubahan	Tanda tangan guru
1. Merencanakan jenis komponen listrik yang akan digunakan untuk keperluan teknik tenaga listrik					
2. Melakukan pemilihan jenis komponen listrik yang akan digunakan					
3. Memasang / menerapkan komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan					
4. Membuat Berita Acara Hasil Pemasangan					

B. KEGIATAN BELAJAR

1. Kegiatan Belajar 1

SATUAN DASAR DAN SATUAN TURUNAN

a. Tujuan Kegiatan Belajar 1 :

- Siswa mampu menginterpretasikan besaran listrik menurut standar internasional

b. Uraian Materi 1 :

1.1 Satuan Dasar Listrik

Pada saat melakukan pengukuran listrik diperlukan satuan dari suatu besaran tertentu. Adapun yang dipakai adalah Satuan Internasional yang disingkat dengan SI. Beberapa satuan dasar listrik tersebut :

Besaran	Simbol	Satuan	Singkatan satuan
Panjang	l	meter	m
Massa	m	kilogram	kg
Waktu	t	detik	det atau sec
Temperatur Arus Listrik	T	derajat	°
Arus Listrik	I, i	ampere	A
Muatan Listrik	Q	Coulomb	C
Gaya	F	newton	N
Tegangan Listrik	E, V	Volt	V
Daya Listrik	P	Watt	W
Tahanan Listrik	R	Ohm	?
Kapasitor	C	Farad	F
Induktor	L	Henry	H
Frekuensi	f	Hertz	Hz
Energi Listrik	W	Joule	J

1.2 Satuan Turunan

Satuan turunan adalah satuan yang berdasarkan kepada satuan lain. Hal ini dibutuhkan untuk meenyatukan hubungan-hubungan antar satuan.

a. Arus Listrik

Arus listrik merupakan gerakan elektro-elektron yang mengalir ke satuan arah gerakan elektron tersebut. Arus listrik diberi notasi I atau i, dalam satuan Ampere (A)

yang diambil dari nama Andre Marie Ampere (1775-1836) menyatakan bahwa :
“Satuan ampere adalah jumlah muatan listrik dari $6,24 \times 10^{18}$ elektron yang mengalir melalui suatu titik tertentu dalam waktu satu detik”. Sedangkan $6,24 \times 10^{18}$ sama dengan satu Coulomb, yang dirumuskan sebagai berikut :

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

dimana : I adalah arus listrik dalam satuan ampere, Q adalah muatan listrik dalam satuan Coulomb, dan t adalah waktu dalam satuan detik atau second.

b. Muatan Listrik

Muatan listrik dengan notasi Q dalam satuan Coulomb, yang diambil dari nama Charless Auguste de Coulomb (1736 – 1806) menyatakan bahwa : “Satu Coulomb adalah jumlah muatan listrik yang melalui suatu titik sebesar satu ampere selama satu detik”, dirumuskan : $Q = It$

c. Tegangan Listrik

Tegangan listrik diberi notasi V atau E yang diambil dari nama Alexandre Volta (1748 – 1827) merupakan perbedaan potensial antara dua titik yang mempunyai perbedaan jumlah muatan listrik, menyatakan bahwa : “Satu volt adalah perubahan energi sebesar satu joule yang dialami muatan listrik sebesar satu coulomb” , yang dirumuskan : $V = \frac{W}{Q}$, dimana V adalah tegangan listrik dalam satuan volt, W adalah energi listrik dalam satuan joule dan Q adalah muatan listrik dalam satuan Coulomb.

d. Tahanan atau Hambatan (Resistor)

Apabila terjadi beda potensial antara kedua ujung dari suatu konduktor, maka akan menyalurkan muatan listrik pada konduktor tersebut yang menyebabkan terjadinya arus listrik pada konduktor tersebut. Besarnya arus yang mengalir ini akan sebanding dengan beda potensial (tegangan) pada konduktor tersebut. Perbandingan antara besarnya beda potensial (V) dengan arus (I) yang mengalir, maka akan menunjukkan suatu besaran tertentu yang disebut dengan Konstanta.

Nilai konstanta ini dinamakan dengan resistansi atau tahanan, yang diberi notasi R dalam satuan ohm (Ω), yang diambil dari nama George Simon Ohm (1787 – 1845)

menyatakan : “Tahanan satu ohm adalah besarnya resistor atau hambatan yang menyebabkan mengalirnya arus listrik sebesar satu ampere apabila pada kedua ujung resistor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar satu volt”, dalam

bentuk persamaan : $V = I.R$ atau $I = \frac{V}{R}$ atau $R = \frac{V}{I}$

Untuk selanjutnya persamaan di atas dikenal dengan “Hukum Ohm” yang merupakan konsep dasar dalam teknik listrik yang menyatakan hubungan antara tegangan, arus dan tahanan.

e. Macam Arus Listrik

Ada 2 macam arus listrik, yaitu arus searah (dc: direct current) dan arus bolak-balik (ac : alternating current). Dikatakan arus searah apabila elektro berpindah dalam arah yang tetap tidak berubah-ubah dan diberi tanda : = , sedangkan apabila pada saat elektron berpindah terjadi perubahan yang bolak-balik saat tertentu keatas/kekiri, kemudian kebawah/kekanan kembali keatas/kekiri lagi dan seterusnya dinamakan arus bolak-balik, dan diberi simbol : ~

f. Rapat Arus

Rapat arus adalah besarnya arus yang mengalir pada setiap mm² luas penampang penghantar listrik yang diukur dengan satuan ampere per mm² (A/mm²), yang dapat dirumuskan : $S = \frac{I}{q}$, dimana S : rapat arus (A/mm²), I : kuat arus (A) dan q : luas penampang penghantar (mm²).

Contoh 1.1

Kawat dengan penampang sebesar 2 mm² dilalui arus listrik sebesar 1 ampere, akan mempunyai rapat arus yang sama dengan rapat arus dari sebuah kawat yang berpenampang 6 mm² dengan kuat arus sebesar 3 ampere.

Perhatikan : $S_1 = \frac{I}{q_1} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ A/mm}^2$ dengan $S_2 = \frac{I}{q_2} = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ A/mm}^2$

1.3 Kelipatan Standar Desimal

Untuk menyatakan harga-harga yang lebih besar dan lebih kecil dari satuan dasar yang digunakan, maka digunakan standar kelipatan desimal berikut :

Notasi Lengkap	Singkatan	Faktor Perkalian
atto	a	10^{-18}
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	?	10^{-6}
milli	mm	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}

2. Kegiatan Belajar 2

SUMBER LISTRIK DAN RANGKAIAN ARUS SEARAH

a. Tujuan Kegiatan Belajar 2 :

- Siswa mampu menerapkan hukum-hukum dasar kelistrikan untuk menghitung dan mengukur besaran listrik arus searah

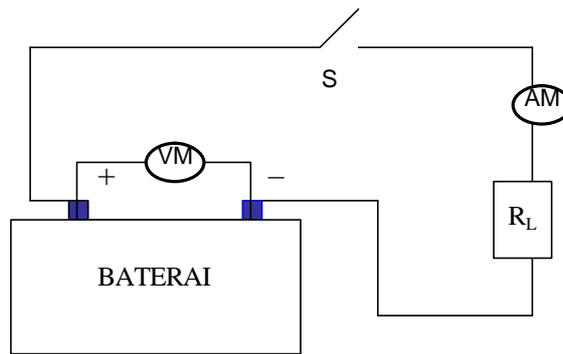
b. Uraian Materi 2 :

2.1 Sumber Listrik

Baterai merupakan sumber listrik arus searah (dc : direct current) banyak dipakai untuk kepentingan sehari-hari dengan menggunakan prinsip dasar secara kimiawi. Pada prinsipnya baterai dibagi menjadi dua golongan, yaitu baterai kering yang disebut baterai primer dan baterai aki (accu : accumulator) yang disebut dengan baterai sekunder. Baterai primer atau baterai kering tidak memerlukan pengisian tenaga listrik dari luar dan tenaga listriknya dihasilkan atas dasar peristiwa kimia dari bahan-bahan yang ada di dalam baterai itu sendiri. Jenis baterai ini banyak digunakan untuk lampu senter, radio, dan lain-lain. Baterai sekunder dapat digunakan untuk menyimpan tenaga listrik, dimana baterai ini dapat memberikan tenaga listriknya sesudah terlebih dahulu diisi dengan tenaga listrik dari sumber tenaga listrik dc yang lain (di-charge).

2.2 Pengukuran Sumber Tegangan Baterai

Apabila sebuah baterai sebelum dihubungkan dengan beban luar diukur besarnya tekanan pada terminal menunjukkan angka sebesar E volt, kemudian setelah dihubungkan dengan tahanan (beban) luar menunjukkan angka sebesar V volt.



Gambar 2.1 Mengukur Teganga Baterai

Gambar 2.1 menunjukkan sebuah baterai yang dihubungkan dengan tahanan luar R_L dengan menggunakan saklar S dan dilengkapi voltmeter VM dan amperemeter AM . Sebelum saklar S dihubungkan jarum VM menunjukkan E volt dan apabila saklar S dihubungkan, maka AM menunjukkan adanya arus yang mengalir melalui tahanan luar R_L dan tegangan jepit ujung baterai ditunjukkan dengan V volt.

Beda tegangan antara E dan V ini disebabkan karena adanya arus yang dikeluarkan baterai harus melalui tahanan dalam baterai (diberi tanda “ r ”). Jadi pada baterai juga terdapat tahanan dalam yang disebabkan karena bahan-bahan elektrolit dan plat-plat, serta sambungan di dalam baterai itu sendiri. Misal rugi tegangan di dalam baterai V_b , maka : $V_b = E - V = I \cdot r$ dan besarnya tahanan dalam baterai dirumuskan :

$$r = \frac{V_b}{I} = \frac{E - V}{I}$$

Dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa tahanan dalam baterai sama dengan beda tegangan antara ggl baterai dengan tegangan jepit baterai dibagi dengan arus yang dikeluarkannya.

2.3 Perhitungan Rangkaian Sumber Listrik

Tahanan dalam baterai menyebabkan arus yang akan dikeluarkan oleh baterai menjadi berkurang. Gambar 2.1 apabila saklar S dihubungkan, maka ggl baterai bekerja untuk seluruh rangkaian yang terdapat tahanan luar R_L dan tahanan dalam baterai r , sehingga kuat arus yang mengalir di dalam rangkaian listrik tersebut :

$$I = \frac{E}{R_L + r}$$

Sedangkan besarnya daya yang dikeluarkan baterai : $P = E \times I$

Apabila baterai dihubungkan maka tahanan luar menjadi nol, sehingga arus yang dikeluarkan oleh baterai $I = \frac{E}{r}$

Apabila arus yang dikeluarkan oleh baterai dan mengalir pada beban tahanan luar berubah-ubah dinyatakan dengan “ i ”, maka daya (P) dari baterai juga berubah-ubah, yang dirumuskan : $P = V \cdot i = (E - i \cdot r) \cdot i = E \cdot i - i^2 r$

Pada persamaan di atas, “ V ” adalah tegangan jepit baterai yang ikut berubah-ubah sesuai dengan perubahan arus “ i ”. Apabila tenaga listrik yang dikeluarkan oleh baterai mencapai harga maksimum, maka tegangan klem akan turun sampai setengah dari ggl baterai. Jika tegangan klem baterai menjadi separuh dari ggl baterai, atau dalam

persamaan : $V = \frac{E}{2}$, maka $V_b = E - V = E - \frac{E}{2} = \frac{E}{2}$

Kerugian daya di dalam baterai : $P_b = V_b \cdot I = I \cdot \frac{E}{2}$ dan daya pada beban tahanan luar :

$$P_L = V \cdot I = \frac{I \cdot E}{2}$$

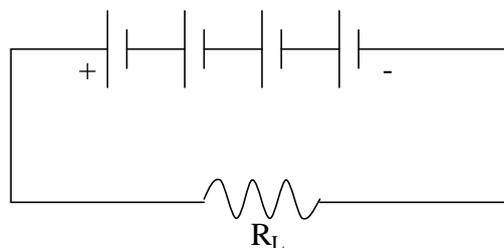
dengan demikian daya yang berguna pada tahanan luar sama dengan daya yang hilang di dalam baterai itu sendiri.

2.4 Perhitungan Arus dan Tegangan pada Rangkaian Sumber Listrik

a. Rangkaian Sumber terhubung seri (deret)

Umumnya baterai sekunder (aki) yang masih baik mempunyai ggl antara 2 sampai 2,2 volt dan baterai primer yang masih baru mempunyai ggl 1,5 volt.

Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar dan arus yang tetap, dapatlah beberapa baterai dihubungkan secara seri atau deret seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Baterai dalam hubungan seri atau deret

Jika masing-masing baterai mempunyai ggl yang berturut-turut $e_1, e_2, e_3,$ dan $e_4,$ maka jumlah ggl baterai yang dihubungkan seri :

$$E = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 \text{ atau dapat ditulis dengan persamaan : } E = \sum e$$

Apabila baterai yang dihubungkan deret sebanyak ' n ' dan masing-masing baterai mempunyai ggl sama, maka jumlah ggl baterai tersebut : $E = n.e$

Berdasarkan gambar 2.2 besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut

besarnya :
$$I = \frac{n.e}{n.r + R_L}$$

Contoh 2.1

6 buah baterai masing-masing mempunyai ggl 2,2 volt dihubungkan seri sehingga menjadi satu sumber arus listrik. Tahanan dalam masing-masing baterai 0,02 ohm dan tahanan luar sebesar 10 ohm. Berapakah kuat arus yang dikeluarkan baterai tersebut ?

Penyelesaian :

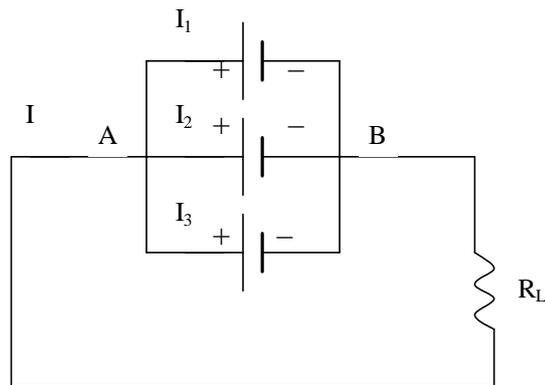
Diketahui : $n = 6$ Ditanya : $I = \dots ?$
 $E = 2,2 \text{ volt}$
 $R = 0,02 \text{ ohm}$
 $R_L = 10 \text{ ohm}$

Jawab :
$$I = \frac{n.e}{n.r + R_L}$$

$$I = \frac{6 \times 2,2}{6 \times 0,02 + 10} = 1,3 \text{ ampere}$$

b. Rangkaian Sumber terhubung Paralel (Jajar)

Hubungan paralel baterai diperlukan jika memerlukan arus listrik yang lebih besar dengan tegangan yang tetap. Gambar rangkaian seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Baterai dalam hubungan paralel

Tegangan jepit antara titik A dan B adalah : $V_{AB} = V = I \cdot R_L$

Gaya gerak listrik (ggl) dari masing-masing baterai adalah : $e_1 = i_1 \cdot r_1$, $e_2 = i_2 \cdot r_2$, dan $e_3 = i_3 \cdot r_3$

Apabila ggl dari masing-masing baterai sama besar, demikian juga tahanan dalam baterai, sehingga $e = i \cdot r$

Jadi arus listrik yang dikeluarkan oleh baterai itu jumlahnya menjadi :

$$I = \frac{e}{R_L + r/n} \quad \text{atau} \quad I = \frac{n \cdot e}{n \cdot R_L + r}$$

dimana : I : kuat arus listrik dalam satuan ampere

R_L : tahanan luar dalam satuan ohm

n : banyak baterai

e : tegangan baterai dalam satuan volt

r : tahanan dalam baterai dalam satuan ohm

Contoh 2.2

Sumber arus listrik terdiri dari 4 buah baterai yang dihubungkan paralel dengan ggl dan tahanan dalam tiap baterai 2,2 volt dan 0,2 ohm. Jika sumber arus tersebut dihubungkan dengan tahanan beban luar sebesar 1,45 ohm, berapakah ggl sumber dan kuat arus yang dikeluarkan sumber baterai tersebut ?

Jawab :

a. $e = e_1 = e_2 = e_3 = e_4 = 1,5 \text{ volt}$

$$b. \text{ Rumus : } I = \frac{e}{R_L + \frac{r}{n}} = \frac{1,5}{1,45 + \frac{0,2}{4}} = 1 \text{ ampere}$$

c. Hubungan Campuran (seri dan paralel)

Hubungan diperlukan untuk mendapatkan sumber arus dan sumber tegangan yang lebih besar dari baterai yang ada. Misal dalam hubungan ini tahanan dalam baterai sama besar 'r' dan ggl masing-masing baterai juga sama 'e', maka persamaan tegangan dan arus dapat disusun :

$$\text{Misal jumlah elemen baterai} = n$$

$$\text{Banyak cabang paralel} = m$$

$$\text{Maka banyak baterai tiap cabang paralel : } x = n/m$$

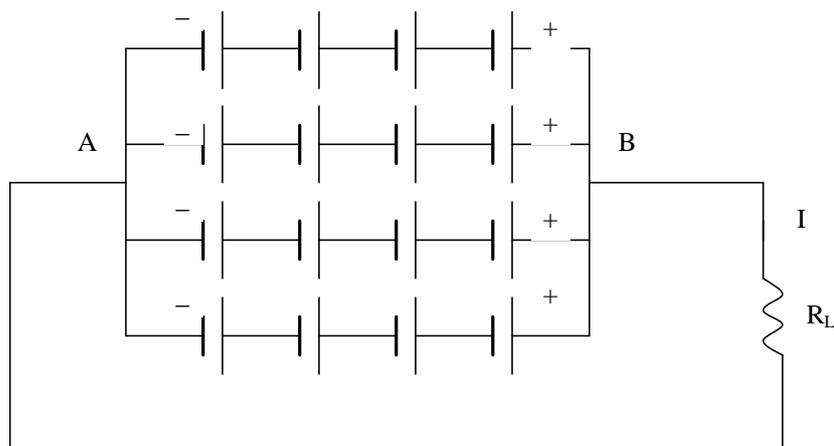
$$\text{Jumlah tahanan dalam tiap cabang paralel : } R_i = r \cdot x$$

Jika tahanan luar besarnya R_L , maka tahanan pengganti dari semua cabang paralel :

$$\frac{1}{r_p} = \frac{m}{n \cdot r / m} = \frac{m^2}{n \cdot r} \quad \text{atau} \quad r_p = \frac{n \cdot r}{m^2} = \frac{n \cdot e}{m}$$

$$\text{Jumlah ggl dari baterai tersebut adalah : } E = x \cdot e \quad \text{atau} \quad E = \frac{n \cdot e}{m}$$

$$\text{Karena jumlah tahanan dalam baterai itu : } R_i = R_L + \frac{n \cdot r}{m^2} \quad \text{maka} \quad E = I \left(R_L + \frac{n \cdot r}{m^2} \right)$$



Gambar 2.4 Baterai dalam hubungan campuran (seri dan paralel)

Tegangan jepit antara titik A dan B pada saat ada arus adalah :

$$V_{AB} = V = E - I \frac{n.r}{m} = I.R_L$$

Jika daya yang digunakan tahanan luar sama dengan $V.I$ dan daya yang dihasilkan

seluruhnya sama dengan $E.I$, rendemen rangkaian tersebut : $\eta = \frac{V}{E} \cdot 100\%$

Kuat arus yang dihasilkan oleh baterai dalam hubungan tersebut :

$$I = \frac{x.e}{R_L + \frac{x.r}{m}} \quad \text{atau} \quad I = \frac{x.n.e}{R_L.n + r.x^2}$$

3. Kegiatan Belajar 3

TAHANAN

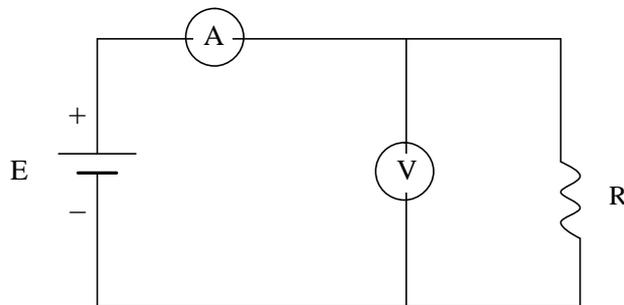
a. Tujuan Kegiatan Belajar 3 :

- Siswa mampu menerapkan konsep dasar hukum ohm dalam rangkaian listrik

b. Uraian Materi 3

3.1 Hukum Ohm

Apabila di antara 2 titik yang bertegangan dihubungkan dengan sepotong kawat penghantar, maka akan mengalir arus listrik lewat penghantar tersebut. Arus itu mendapat hambatan di dalam penghantar yang dilewatinya yang disebut dengan dengan tahanan listrik dan diukur dengan satuan ohm, seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Rangkaian pengukuran

Berdasarkan ketentuan hasil percobaan yang dilakukan pertama kali oleh **George Simon Ohm** seorang ahli fisika Jerman tahun 1826, menyatakan bahwa : “apabila terjadi beda tegangan antara kedua titik penghantar sebesar 1 volt dan terdapat tahanan pada penghantar tersebut sebesar 1 ohm, maka kuat arus yang mengalir sebesar 1 ampere”. Pernyataan tersebut sering disebut dengan istilah **Hukum Ohm**, yang dapat dituliskan dengan persamaan : $V = I \times R$, dimana V adalah tegangan listrik dengan satuan volt, I adalah kuat arus listrik dalam satuan ampere, dan R adalah tahanan atau hambatan listrik pada penghantar dengan satuan ohm.

3.2 Menentukan Tegangan, Arus dan Tahanan

Berdasarkan rumus pada persamaan hukum Ohm di atas, maka dapat dijabarkan menjadi :

a. Tegangan Listrik dapat dihitung dengan persamaan : $V = I \times R$

b. Arus listrik dapat dihitung dengan persamaan : $I = \frac{V}{R}$

c. Tahanan atau hambatan listrik dapat dicari dengan persamaan : $R = \frac{V}{I}$

dimana :

V : Tegangan listrik (volt)

I : Arus listrik (ampere)

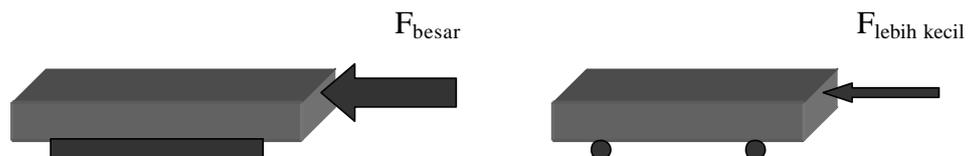
R : Tahanan atau hambatan listrik (ohm)

3.3 Daya dan Usaha Listrik

Beberapa macam usaha yang akan dibahas yang berhubungan dengan daya dan usaha listrik, antara lain : usaha dan daya mekanik, usaha dan daya listrik, dan usaha panas.

a. Usaha dan Daya Mekanik

Jika akan memindahkan suatu benda dari satu tempat ke tempat lain, atau mengangkat benda sampai ketinggian tertentu, maka harus melakukan suatu usaha yang tentunya memerlukan gaya. Gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan benda tersebut tergantung pada berat benda dan besarnya gesekan yang menghambat. Apabila benda yang akan dipindahkan berada di atas roda, gesekan roda terhadap tanah lebih kecil daripada gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan benda di atas tanah, seperti gambar 3.2. Berat benda merupakan gaya yang berasal dari gaya tarik bumi terhadap benda tersebut.



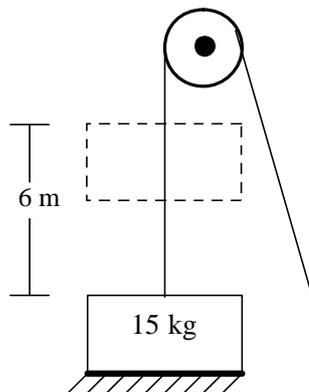
Gambar 3.2 Benda di atas roda dan benda di atas tanah

Apabila kita mengangkat benda, maka harus mengeluarkan gaya paling sedikit sama dengan berat benda tersebut tetapi berlawanan dengan gaya tarik bumi (gravitasi).

Dua buah benda beratnya sama, yang satu dinaikkan setinggi 1,5 meter yang lain 3 meter, Usaha yang dilakukan untuk mengangkat benda kedua harus 2 kali lebih besar dari benda pertama, sehingga disimpulkan bahwa : **“Usaha berbanding lurus dengan gaya dan jarak”** atau dirumuskan menjadi : $W = K \times S$, dengan W adalah usaha dalam kg.m, K adalah gaya dalam satuan kg, dan S adalah jarak dalam satuan m.

Contoh 3.1

Sebuah benda dengan berat 15 kg akan dinaikkan dengan menggunakan motor listrik setinggi 6 m. Berapakah usaha yang harus dilakukan ?



Jawab :

$$\begin{aligned} W &= K \times S \\ &= 15 \times 6 = 90 \text{ kg m} \end{aligned}$$

Gambar 3.3 Berat 15 kg dinaikkan 6 m dengan usaha 90 kg m

Usaha untuk mengangkat benda tersebut memerlukan waktu, dimana makin singkat waktu yang dibutuhkan oleh alat (motor listrik), makin besar kemampuan alat tersebut.

Jadi kemampuan di atas sering disebut dengan **daya**, yang dirumuskan : $P = \frac{W}{t}$,

dengan P adalah daya dalam satuan kg m/detik, W adalah usaha dalam satuan kg m, dan t adalah waktu dalam satuan detik atau second. Satuan daya yang lebih besar sering menggunakan *daya kuda* atau disingkat dk.

b. Usaha dan Daya Listrik

Pada prinsipnya cara menentukan usaha dan daya listrik sama dengan mendapatkan usaha dan daya mekanik, tetapi dalam usaha listrik ini yang dipindahkan adalah elektron-elektron dari kutub negatif ke kutub positif dari sumber arus listrik.

Dirumuskan : $W = V \times Q$, dimana W adalah usaha listrik dalam satuan volt-coulomb atau joule, V adalah tegangan listrik dalam satuan volt, dan Q adalah banyaknya muatan listrik dalam satuan coulomb.

Karena $Q = I \times t$, maka $W = V \times Q = V \times I \cdot t$, sehingga :

$$W = V \times I \times t \quad \text{atau} \quad W = P \times t$$

Contoh 3.2

Sebuah lampu pijar tertulis 100 W/220 volt dipasang pada tegangan 110 volt selama satu jam. Berapakah energi yang digunakan oleh lampu tersebut ?

Jawab :

$$\text{Daya yang dipakai} : P = \frac{110^2}{220} \times 100 \text{ watt} = 25 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang dipakai} : W &= P \times t \quad \text{se} \quad t = 1 \text{ jam} = 3600 \text{ detik} \\ &= 25 \times 3600 = 90.000 \text{ joule} \end{aligned}$$

karena $V = I \times R$, maka : $W = V \times I \times t = I \times R \times I \times t$, sehingga :

$$W = I^2 \times R \times t \quad \text{atau} \quad W = \frac{V^2}{R} \times t$$

dengan W : usaha listrik (watt-detik atau joule), V : tegangan listrik (volt), I : arus listrik (ampere), R : tahanan listrik (ohm) dan t : waktu (detik atau *second*).

Satuan yang digunakan untuk daya listrik adalah watt (W), yang diambil untuk menghormati seorang sarjana Skotlandia James Watt (1736-1819). Satuan yang lebih besar atau kecil biasanya digunakan adalah mega watt, kilo watt atau milli watt, dimana : 1 MW (= 10^6 watt), 1 KW (= 10^3 watt), dan 1 mW (= 10^{-3} watt). Sedangkan satuan untuk usaha listrik biasanya digunakan KWh atau MWh, dimana :

$$1 \text{ KWh} = 3.600.000 \text{ watt-detik} \quad \text{dan} \quad 1 \text{ MWh} = 1000 \text{ KWh}$$

c. Usaha Panas

Sebuah benda apabila dipanasi, maka akan naik suhunya pada benda tersebut. Bila benda yang dipanasi kecil maka banyak panas yang diberikan akan kecil, sebaliknya untuk benda yang besar panas yang diberikan akan besar pula.

Besarnya panas 1 kalori adalah banyak panas yang diperlukan untuk dapat menaikkan suhu air 1 gram (1 cm^3) setinggi 1°C .

Jika kepada air 2 liter (1 liter = 1 kg) diberikan panas 4 kilo kalori (1 kkal = 1000 kal),

maka besar kenaikan suhu air menjadi : $\frac{4000}{2000} \times 1^\circ = 2^\circ\text{C}$

Banyak panas (Q) yang dibutuhkan untuk menaikkan 1°C suhu air 1 kg tidak sama dengan panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu tembaga yang sama beratnya (1 kg). Banyaknya kalori yang diperlukan untuk menaikkan 1°C suhu 1 kg bahan disebut : *panas jenis* (pj) bahan itu.

Jadi, Banyak panas = berat benda (kg) x panas jenis x kenaikan suhu ($^\circ\text{C}$)

Dirumuskan : $Q = B \times pj \times (T_2 - T_1)$

Dengan Q : banyak panas (kkal), B : berat benda (kg), panas jenis, T_1 : suhu rendah ($^\circ\text{C}$), dan T_2 : suhu tinggi ($^\circ\text{C}$).

d. Hubungan Antara Usaha : Mekanik, Listrik, dan Panas

Dalam percobaan para ahli fisika menemukan bahwa :

$$\text{Usaha panas } 1 \text{ kkal} = \text{Usaha mekanik } 427 \text{ kg m}$$

$$\text{Usaha mekanik } 1 \text{ kg m} = 9,81 \text{ joule}$$

Berdasarkan persamaan di atas, didapatkan :

$$1 \text{ joule} = \frac{1}{9,81} \text{ kgm} = 0,10193 \text{ kgm} = 0,102 \text{ kgm}$$

$$1 \text{ kgm} = \frac{1}{427} \text{ kkal} = 0,002342 \text{ kkal}$$

$$1 \text{ joule} = 0,102 \times 0,002342 \text{ kkal} = 0,00042 \text{ kkal} = 0,24 \text{ kal}$$

$$1 \text{ wh} = 3600 \text{ watt detik} = 3600 \text{ joule} = 3600 \times 0,00024 \text{ kkal} = 0,864 \text{ kkal} = 864 \text{ kal}$$

$$1 \text{ Watt} = \frac{864}{3600} \text{ kal/detik} = 0,24 \text{ kal/detik}$$

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/detik} = 0,10193 \text{ kgm/det} = 0,102 \text{ kgm/det}$$

$$1 \text{ kw} = \frac{1000}{736} \text{ dk} = 1,36 \text{ dk}$$

karena 1 Joule = 0,24 kal, dari rumus usaha dapat ditulis bahwa :

$W = 0,24 \times I^2 \times R \times t$ kalori

Panas yang dibangkitkan oleh arus listrik : $Q = 0,24 \times I^2 \times R \times t$ kalori

Persamaan di atas disebut dengan ***hukum Joule***.

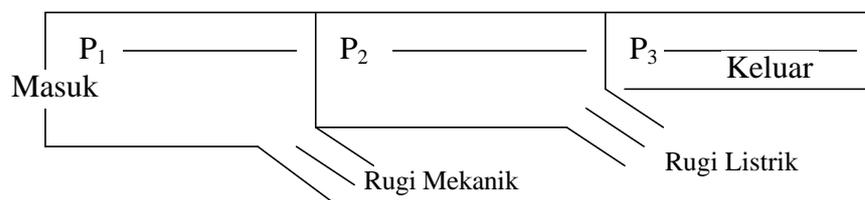
e. Daya Guna atau Efisiensi (Rendemen)

Dalam praktik sehari-hari, pengubahan tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau sebaliknya banyak dijumpai seperti pada motor listrik yang diberi tenaga listrik atau dijalankan dengan tenaga listrik mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Sedangkan motor diesel, turbin uap atau turbin air yang digunakan untuk menjalankan generator pembangkit tenaga listrik adalah mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik.

Namun perlu diketahui apabila mengubah suatu macam usaha menjadi usaha lain selalu akan mengalami kerugian, misalnya :

- 1) Mengubah usaha mekanik menjadi energi listrik
- 2) Mengubah usaha listrik menjadi panas
- 3) Mengubah usaha listrik menjadi usaha kimiawi

Di dalam pengubahan dari ketiga contoh di atas akan mengalami kerugian dari masing-masing alat tersebut. Pengubahan pertama terjadi kerugian pada bantalan, pengubahan kedua terjadi kerugian, sebagian panas hilang memancar tak berguna, dan pengubahan ketiga terjadi kerugian sebagian tenaga listriknya berubah menjadi panas. Perbandingan antara daya yang diberikan pesawat yang berguna dan dimasukkan dalam pesawat tersebut dinamakan : ***daya guna*** atau ***efisiensi (rendemen)***



Gambar 3.4 Proses kerugian

Berdasarkan gambar di atas, daya yang masuk P_1 , akibat kerugian mekanik P_1 menjadi P_2 yang lebih kecil, dan P_2 menjadi P_3 yang lebih kecil akibat kerugian listrik.

P_3 merupakan daya yang berguna atau *efisiensi* yang diberikan pesawat. Yang dirumuskan : $\eta = \frac{P_3}{P_1}$ atau dalam persen menjadi : $\eta = \frac{P_3}{P_1} \times 100 \%$

Contoh 3.3

Daya yang diberikan sebuah generator sebesar 3 dk, sedangkan daya yang dihasilkan dinamo sebesar 1 kW. Berapakan efisiensi dinamo tersebut ?

Jawab :

$$\eta = \frac{1 \text{ kw}}{3 \text{ dk}} \times 100 \% = \frac{1000 \text{ watt}}{3 \times 736 \text{ watt}} \times 100 \% = 45 \%$$

Contoh 3.4

Sebuah ketel listrik digunakan untuk merebus air sebanyak 2 liter dari 10°C hingga mendidih. Daya guna ketel = 80 % dan lama merebus kira-kira 30 menit. Berapa besar tenaga listrik yang diperlukan oleh ketel dan berapakah kuat arus yang diambil apabila tegangan jala-jala listrik 110 volt ?

Penyelesaian :

Diketahui : volume air = 2 liter
 $T_1 = 10^{\circ}\text{C}$
 $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$ (suhu air mendidih)
 $\eta = 80 \%$
 $t = 30 \text{ menit} = 1800 \text{ detik}$
 $V = 110 \text{ volt}$

Ditanya : daya listrik (P) dan arus listrik (I) yang diperlukan ?

Jawab :

Kalori yang dibutuhkan = $2000(100 - 10) = 180.000$ kalori

Kalori tiap detik = $\frac{180.000}{1800} = 100 \text{ kal/det}$

$$= 4,18 \times 100 \text{ watt} = 418 \text{ watt}$$

jadi : $P = \frac{100}{80} \times 418 = 522,5 \text{ watt}$ dan $I = \frac{522,5}{110} = 4,75 \text{ ampere}$

4. Kegiatan Belajar 4

HUBUNGAN SERI – PARALEL

a. Tujuan Kegiatan Belajar 4 :

- Siswa mampu menerapkan hukum-hukum dasar kelistrikan untuk menghitung dan mengukur besaran listrik

b. Uraian Materi 4 :

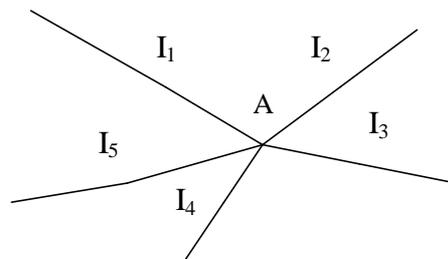
4.1 Hukum Kirchoff

Untuk menyelesaikan perhitungan rangkaian listrik atau jala-jala, seorang ahli ilmu alam dari Jerman bernama *Gustav Kirchoff* telah menemukan dua cara yang kemudian cara ini menjadi hukum yang dikenal dengan "*Hukum Kirchoff*".

a. Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I untuk rangkaian atau jala-jala listrik berbunyi : "*Jumlah aljabar dari arus listrik pada suatu titik percabangan selalu sama dengan nol*"

Dalam gambar 4.1 menerangkan hukum Kirchoff I sebagai berikut :



Gambar 4.1 Titik percabangan arus

Dari gambar di atas arah arus I_2 dan I_3 berlawanan dengan arah arus I_1 , I_4 , dan I_5 .

Jadi pada titik percabangan A berlaku :

$$I_1 + I_4 + I_5 - I_2 - I_3 = 0 \quad \text{atau} \quad I_1 + I_4 + I_5 = I_2 + I_3$$

Sehingga persamaan untuk Hukum Kirchoff dapat ditulis dengan bentuk umum :

$$\sum I = 0$$

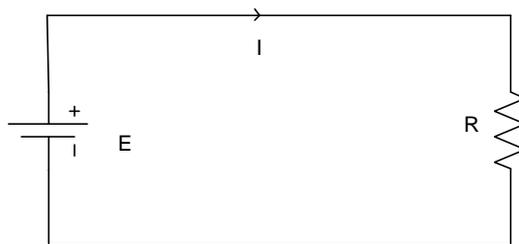
b. Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff II ini berhubungan dengan rangkaian listrik tertutup yang menyatakan : “Di dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar antara gaya gerak listrik (ggl) dengan kerugian-kerugian tegangan selalu sama dengan nol”

Hukum ini secara umum dapat ditulis dengan rumus : $\sum E - \sum I \cdot R = 0$

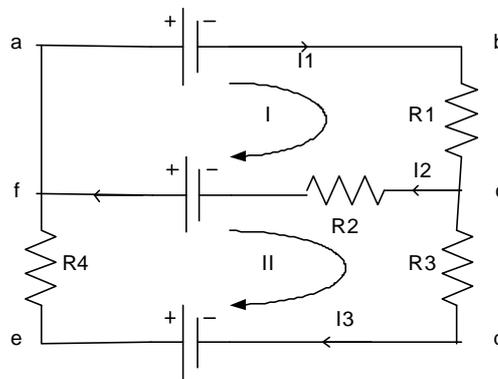
Dalam gambar 4.2 dengan tidak memperhatikan kerugian tegangan di dalam baterai (tahanan baterai dianggap kecil) maka : $E - I \cdot R = 0$ atau $E = I \cdot R$

Ini sesuai dengan Hukum Ohm.



Gambar 4.2 Rangkaian listrik tertutup

Apabila jaringan listrik terdiri atas beberapa rangkaian, maka dapat dibuat persamaan menurut rangkaiannya satu persatu. Misal di dalam rangkaian seperti gambar 4.3 dapat dibuat tiga rangkaian listrik yaitu I, II dan III.



Gambar 4.3 Tiga rangkaian tertutup

Dalam rangkaian I, yaitu terdapat loop a-b-c-f-a, maka diperoleh :

$$E_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 = 0$$

Dalam rangkaian II (f-c-d-e-f) diperoleh :

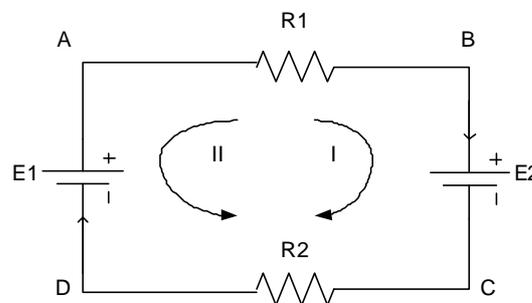
$$- E_2 + I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_3 - I_3 R_4 = 0$$

dan di dalam rangkaian III terdapat a-b-c-d-e-f-a, maka diperoleh :

$$E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 + E_3 - I_3 R_4 = 0$$

Untuk dapat menggunakan hukum Kirchoff ini perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Apabila arah arus mengalir ke salah satu aliran dianggap positif, maka arus yang berlawanan diberi tanda negatif.
- Apabila arah arus pada jaring listrik belum diketahui maka dapatlah diambil sembarang, dan apabila dalam penyelesaian menghasilkan negatif berarti arah arus yang sebenarnya berlawanan.
- Arah arus listrik yang mengalir di dalam suatu rangkaian listrik perlu diperhatikan yaitu kenaikan tegangan selalui diberi tanda positif (+), dan turunnya tegangan selalui diberi tanda negatif (-). Sebagai contoh misalnya seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Contoh memberi tanda lingkaran tertentu

Menurut rangkaian I yaitu dari D-A-B-C dan kembali ke D, maka dari D ke A tegangan E_1 diberi tanda positif (+). Dari A ke B kerugian tegangan ($I.R_1$) diberi tanda negatif (-). Dari B ke C tegangan E_2 mengurangi tegangan E_1 diberi tanda negatif (-). Dan seterusnya, sehingga berdasarkan gambar 4.4 dapat ditulis persamaan berikut :

$$\text{Rangkaian I : } E_1 - I.R_1 - E_2 - I.R_2 = 0 \quad \text{atau} \quad E_1 = E_2 + I.R_1 + I.R_2$$

$$\text{Rangkaian II : } + I.R_1 + E_2 + I.R_2 - E_1 = 0 \quad \text{atau} \quad E_1 = E_2 + I.R_1 + I.R_2$$

4.2 Menentukan Rugi Tegangan Dalam Sumber Listrik

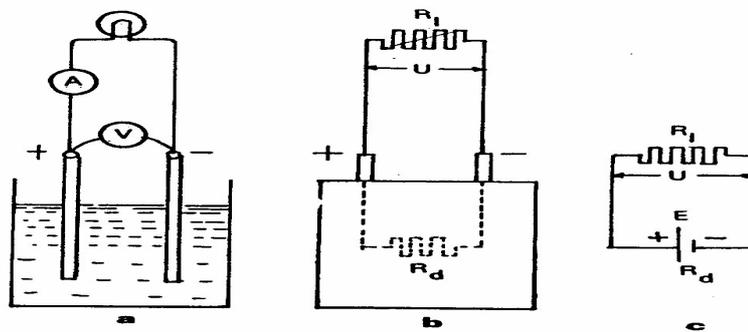
yang dimaksud dengan rugi tegangan dalam sumber listrik adalah akibat rugi tegangan dalam sumber arus listrik. Dalam gambar 4.5 terlihat arus mengalir dari kutub positif (sumber arus) ke lampu, ke kutub negatif. Sedangkan elektro mengalir dari yang kelebihan elektron (kutub negatif) ke kutub yang kekurangan elektron atau hole (kutub positif).

Besar tegangan jepit dalam gambar 4.5 menurut hukum Ohm sama dengan $I \times R_{\text{lampu}}$. Sedangkan tahanan lampu berada di luar sumber arus, maka disebut tahanan luar (R_L), sehingga dapat ditulis : $V = I \times R_L$

Jika arus yang mengalir dari sumber melalui elektrolit yang merupakan penghantar, maka akan mendapat hambatan lain dalam penghantar. Tahanan ini disebut tahanan dalam sumber arus (R_d), sehingga terjadinya rugi tegangan dalam sumber arus sebesar :

$$V_r = I \times R_d$$

Dimana : V_r adalah rugi tegangan dalam sumber arus, R_d adalah tahanan dalam sumber arus, dan I merupakan arus yang dikeluarkan oleh sumber arus.



Gambar 4.5 Rugi tegangan dalam sumber arus

Karena ggl yang mendorong arus dalam rangkaian tertutup yang terdiri dari sumber arus dan pemakai (lampu) memiliki tahanan luar dan tahanan dalam, maka besar ggl yang diperoleh :

$$E = I \times (R_L + R_d) \quad \text{atau} \quad E = I \times R_L + I \times R_d$$

$$\text{atau} \quad E = V + I \times R_d \quad \text{atau} \quad E = V + V_r$$

Dari persamaan $E = V + I \times R_d$, dapat dituliskan :

$$I = \frac{E}{R_d + R_L}$$

dengan I : arus yang dikeluarkan sumber (ampere), E : besar ggl sumber arus (volt), R_d : tahanan dalam sumber arus (ohm), dan R_L : tahanan luar atau beban (ohm).

Jika sumber arus tidak diberi beban, maka : $E = V + I \times R_d = V + 0 = V$, karena arus sama dengan nol, jadi $I \times R_d = 0$, sehingga sumber arus yang tidak berbeban : **besar tegangan jepit sama dengan ggl-nya.**

Contoh 4.1

Sebuah sumber arus tanpa beban diukur tegangannya sebesar 3 volt. Berapa ggl sumbernya ?

Jawab : $E = V + I \times R_d$, karena $I = 0$, maka $E = V = 3$ volt.

Contoh 4.2

Sebuah sumber arus dihubungkan dengan sebuah beban luar yang mempunyai tahanan sebesar 6 ohm. Ggl sumber arus itu sebesar 12 volt dengan tahanan dalam sumber arus sebesar 2 ohm. Berapakah arus listrik yang mengalir melalui beban luar tersebut ?

Jawab :

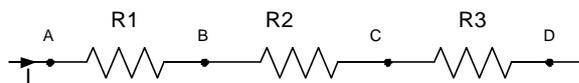
$$I = \frac{E}{R_d + R_L} = \frac{12}{2 + 6} = 1,5 \text{ ampere}$$

4.3 Menentukan V, I dan R Dalam Rangkaian Listrik

Dalam hubungan rangkaian listrik, dikenal ada beberapa macam jenis hubungan yaitu hubungan seri (deret), hubungan paralel (jajar), dan hubungan campuran (seri dan paralel).

a. Hubungan Seri (Deret)

Beberapa tahanan dikatakan terhubung secara seri atau deret apabila dua atau lebih dari tahanan tersebut dihubungkan secara berurutan satu sama lain dan dilalui arus listrik yang sama. Gambar 4.6 menunjukkan bagan 3 buah tahanan yang dihubungkan seri.



Gambar 4.6 Hubungan seri atau deret

Dalam gambar besar tahanan antara titik A-D sama dengan jumlah tahanan antara titik A-B, titik B-C dan titik C-D atau sama dengan jumlah R_1 , R_2 dan R_3 . Jadi besarnya tahanan pengganti antara titik A dan D adalah : $R_p = R_1 + R_2 + R_3$

Secara umum dapat ditulis : $R_p = \sum R$: dibaca sigma

Jika kuat arus yang mengalir melalui tahanan itu = I, maka tegangan antara A-B, B-C, dan C-D diperoleh dengan :

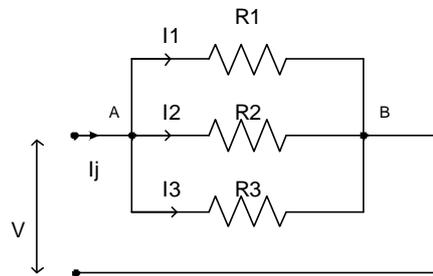
$$V_{AB} = I \times R_1 ; V_{BC} = I \times R_2 ; \text{ dan } V_{CD} = I \times R_3$$

atau $R_1 \neq \frac{V_{AB}}{I}$; $R_2 \neq \frac{V_{BC}}{I}$; dan $R_3 \neq \frac{V_{CD}}{I}$

maka besar tegangan antara titik A dan D adalah : $V_j = V_1 + V_2 + V_3$

b. Hubungan Paralel (Jajar)

Apabila dua buah tahanan atau lebih dinamakan ujung yang satu dihubungkan menjadi satu titik dan ujung yang lainnya juga dihubungkan menjadi satu titik, maka hubungan itu dinamakan hubungan paralel atau hubungan jajar, seperti dijelaskan dalam gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hubungan paralel atau jajar

Dari gambar di atas, besar tegangan antara titik A dan B sama besar, sehingga :

$$I_j - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad \text{atau} \quad I_j = I_1 + I_2 + I_3$$

Karena tegangan antara titik A dan B tetap, maka :

$$V = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

atau dapat ditulis menurut Hukum Ohm :

$$I_1 \neq \frac{V}{R_1} \quad I_2 \neq \frac{V}{R_2} \quad \text{dan} \quad I_3 \neq \frac{V}{R_3}$$

Kemudian jumlah arus pada tahanan-tahanan itu adalah :

$$I \neq V \left(\frac{1}{R_1} \neq \frac{1}{R_2} \neq \frac{1}{R_3} \right) \neq \frac{E}{R_p}$$

Faktor kurung dari persamaan di atas merupakan kebalikan dari tahanan pengganti untuk tahanan-tahanan yang dihubungkan paralel. Jadi untuk menghitung tahanan pengganti dalam hubungan paralel dapat ditulis persamaan :

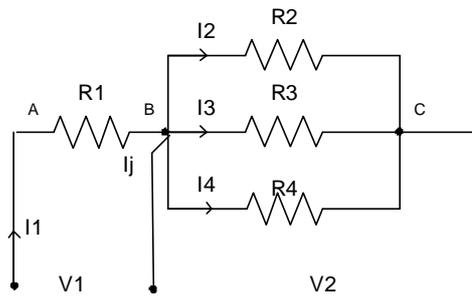
$$\frac{1}{R_p} \neq \frac{1}{R_1} \neq \frac{1}{R_2} \neq \frac{1}{R_3} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{R_p} \neq \frac{1}{R}$$

Jika kebalikan dari tahanan yang dihubungkan paralel diganti dengan daya hantar, dapat ditulis : $G_p = G_1 + G_2 + G_3$ atau $G_p = ? G$

Jadi daya hantar pengganti dalam rangkaian paralel sama dengan jumlah daya hantar masing-masing cabang.

b. Hubungan Campuran (Seri dan Paralel)

Contoh hubungan campuran (seri dan paralel) dapat diperlihatkan dalam gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Hubungan campuran (seri dan paralel)

Untuk menghitung besar tahanan pengganti antara titik A dan C, terlebih dahulu harus dicari besar tahanan pengganti antara titik B dan C. Tahanan pengganti antara titik B dan C dihubungkan seri dengan tahanan antara titik A dan B. Apabila tahanan pengganti antara titik B dan C sama dengan R_{B-C} , maka tahanan pengganti antara titik A dan C adalah :

$$R_p = R_A + R_{B-C}$$

Contoh 4.3

Berdasarkan gambar 4.8 apabila $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 3 \Omega$. Berapakah besar tahanan pengganti antara B dan C ?

Jawab :

$$\frac{1}{R_{B-C}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{3 + 4 + 8}{24} = \frac{15}{24} ; \text{ sehingga } R_{B-C} = \frac{24}{15} = \frac{8}{5} = 1,6 \Omega$$

Besar tahanan pengganti antara titik A dan C :

$$R_p = R_1 + R_{B-C} = 5 + 1,6 = 6,6 \Omega$$

Perbedaan tegangan antara titik A dan C :

$$V_1 = I_1 R_1 \quad \text{dan} \quad V_2 = I_1 \cdot R_{B-C} = I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3 = I_4 \cdot R_4$$

c. Rangkuman 1 :

Satuan, baik satuan dasar maupun satuan turunan sangat diperlukan dalam melakukan pengukuran listrik, dan biasanya banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Berhubungan dengan satuan ini sehingga seorang siswa harus memahaminya.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai beberapa macam sumber tenaga listrik seperti baterai, aki (accumulator), generator, dan lain-lain. Secara garis besarnya sumber listrik berdasarkan jenis arus listrik yang dihasilkannya, dibedakan menjadi arus searah atau sering disebut dc (direct current) dan arus bolak balik atau ac (alternating current). Pada sumber listrik dc untuk memperoleh arus dan tegangan yang lebih besar dari yang ada, biasanya dilakukan hubungan secara seri, paralel, atau seri dan paralel.

Berhubungan dengan beban pada rangkaian listrik arus searah (dc), salah satu contohnya adalah tahanan (R) dengan satuan ohm. Tahanan ini terdapat pada sebuah lampu atau beban-beban listrik lainnya, sehingga untuk keperluan perhitungannya memerlukan aturan-aturan dan hukum-hukum tertentu seperti hukum ohm. Selain itu berhubungan dengan beban listrik ini maka diperlukan juga istilah daya dan usaha listrik yang merupakan konversi dari usaha atau daya yang lain seperti dari energi kimia, potensial, mekanik dan lain-lain.

Dalam rangkaian listrik baik untuk rangkaian dc maupun ac, maka mengenal istilah hubungan seri, hubungan paralel, atau hubungan campuran. Untuk keperluan analisis terhadap rangkaian-rangkaian tersebut, sehingga diperlukan beberapa macam hukum-hukum rangkaian listrik, seperti hukum Kirchoff arus, hukum Kirchoff tegangan, hukum Ohm, dan lain-lain.

d. Tugas 1 :

1. Buatlah suatu rangkaian dengan beban lampu pijar 5 watt, dihubungkan dengan sumber tegangan 24 volt (DC). Hubungkan dengan kabel dan dipasang ampere meter dan voltmeter pada lampu tersebut ?
2. Sebutkan macam-macam arus yang saudara kenal dan berikan contohnya masing-masing minimal 2 macam ?
3. Tuliskan dan jelaskan bagaimana rumus dan bunyi dari Hukum Ohm ?
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan tahanan dalam baterai ?
5. Apa keuntungan sumber arus baterai dihubungkan secara seri atau deret dan dihubungkan paralel atau jajar ?
6. Apa akibatnya jika dalam menghubungkan baterai ada yang terbalik ?
7. Sebanyak 30 baterai dengan $e = 1,8$ volt dan $r = 0,25$ ohm dihubungkan menjadi sumber arus listrik, dan dihubungkan dengan tahanan luar sebesar 2,4 ohm. hubungkan baterai-baterai tersebut agar dapat menghasilkan arus dan tegangan listrik yang paling besar.
 - a. Berapakah besar arus dan tegangan yang dihasilkan dari sumber tersebut ?
 - b. Hitung besar arus dan tegangan yang mengalir pada tahanan luar ?
8. Buatlah 3 kombinasi gambar rangkaian campuran dengan menggunakan 10 komponen resistor. Kemudian tunjukkan bagaimana penyelesaian hambatan pengganti untuk masing-masing rangkaian tersebut ?

e. Tes Formatif 1 :

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan listrik dan arus listrik ?
2. Sebutkan macam-macam arus yang saudara kenal dan berikan contohnya masing-masing minimal 2 macam ?
3. Suatu kawat mempunyai rapat arus sebesar $0,9 \text{ A/mm}^2$. Arus yang mengalir dalam kawat itu sebesar $0,72 \text{ A}$. Berapakah besar kawat penampang kawat itu ?
4. Apa tujuan sumber arus baterai dihubungkan secara paralel ?
5. Sebuah baterai mempunyai ggl $2,4 \text{ volt}$ dan tahanan dalamnya $0,04 \text{ ohm}$, dihubungkan dengan tahanan luar $0,2 \text{ ohm}$. Hitunglah besarnya kuat arus dan rendemen (?) dari baterai tersebut ?
6. Tiga buah tahanan masing-masing 8 ohm , 6 ohm , dan 3 ohm dihubungkan paralel pada tegangan 12 volt . Hitung tahanan pengganti arus yang mengalir pada rangkaian tersebut ?
7. Lima buah lampu dengan tahanan masing-masing 60 ohm , dihubungkan seri pada sumber tegangan 120 volt . Berapakah kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut ?
8. Apa perbedaan antara penghantar dan penyekat berikan contohnya masing-masing minimal 5 macam ?
9. Sebuah alat listrik mengalirkan arus 25 A selama 8 menit. Berapakah banyak muatan listrik yang pindah selama itu ?
10. Sebuah sumber arus dihubungkan dengan sebuah beban yang mempunyai tahanan sebesar 8 ohm . Tegangan pada beban tersebut diukur dengan volt meter menunjukkan $2,5 \text{ volt}$. Apabila beban dilepas, kemudian diukur kembali tegangan antara kedua kutub baterai menunjukkan 3 volt . Berapakah rugi tegangan dalam sumber arus dan tahanan dalam baterai tersebut ?

f. Kunci Jawaban Formatif 1 :

1. listrik atau elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif, sedangkan arus listrik mengalir dari kutub positif menuju kutub negatif.
2. Ada 2 macam, yaitu (a) Arus searah atau dc, contohnya : baterai dan aki, (b) arus bolak-balik atau ac, contohnya : generator PLTA dan genset
3. $A = I/S = 0,72/0,9 = 0,8 \text{ mm}^2$
4. Apabila kita menghendaki arus yang lebih besar dengan tegangan yang tetap.
5. $I = 2,4 / (0,04 + 0,2) = 2,4 / 0,24 = 10 \text{ A}$; $? = (0,2 \times 10) / 2,4 = 0,833$
6. $R_p = 8 // 6 // 3 = 1,6 \text{ ohm}$; dan $I = 12 / 1,6 = 7,5 \text{ A}$
7. $I = 120 / (5 \times 60) = 120 / 300 = 0,4 \text{ A}$
8. Penghantar yaitu benda atau bahan yang dapat menghantarkan arus listrik contohnya : besi, tembaga, seng, aluminium, baja, dan lain-lain. Sedangkan yang dimaksud dengan penyekat adalah benda atau bahan yang tidak dapat dialiri arus listrik, contohnya : kayu kering, plastik, mika, kaca, porselin, dan lain-lain.
9. $Q = I \times t = 25 \times 8 \times 60 = 12.000 \text{ coulomb}$
10. $V_d = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ volt}$; $I = 2,5 / 8 = 0,3125 \text{ A}$; $r = 0,5 / 0,3125 = 1,6 \text{ ohm}$

g. Lembar Kerja 1 :

1. **Alat** : obeng, tang, cutter, isolasi, solder, alat tulis menulis, kabel, dan lain-lain
2. **Bahan** : Baterai atau aki, Ampermeter, voltmeter, beban listrik (lampu, dan lain-lain), sakelar, dan lain-lain
3. **Keselamatan kerja** : jas lab, sarung tangan, senter, kerjakan sesuai instruction manual, patuhi prosedur kerja yang telah ditentukan, patuhi peraturan yang tercantum di lab atau tempat praktik.
4. **Langkah kerja** : tentukan peralatan-peralatan dan komponen-komponen yang akan dibutuhkan, buat rancangan diagram pengawatan yang akan dilakukan, pasang peralatan pengukur yang akan digunakan sesuai dengan diagram rencana, rangkai peralatan yang telah dipasang, periksa dan uji rangkaian atau peralatan yang telah dipasang, perbaiki apabila masih terdapat kesalahan atau komponen yang belum berfungsi dengan benar, uji sesuai dengan prosedur dan instruction manual yang berlaku, buat berita acara laporan pengujian atau percobaan
5. **Laporan** : Jawab pertanyaan-pertanyaan dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan tugas yang diberikan

5. Kegiatan Belajar 5

KEMAGNITAN

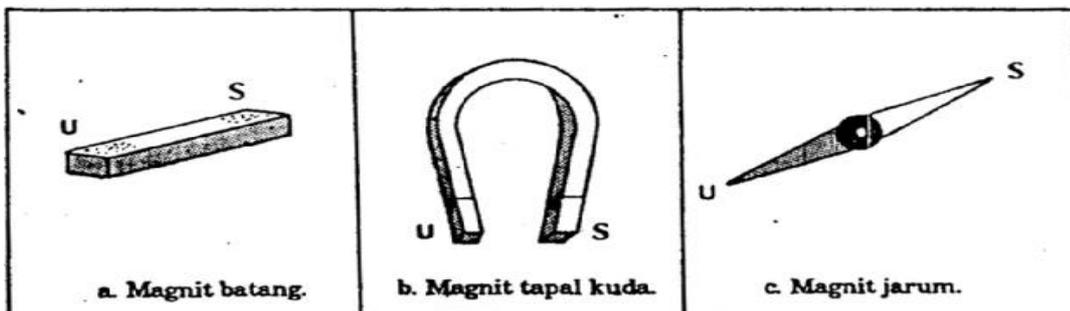
a. Tujuan Kegiatan Belajar 2 :

- Siswa mampu menerapkan konsep kemagnitan pada rangkaian listrik

b. Uraian Materi 5 :

5.1 Konsep Magnit

Magnit adalah sebuah benda logam yang dapat menarik potongan baja, besi, nikel, kobalt, dan bahan sejenisnya. Magnit alam ditemukan di dekat kota Magnesia. Menurut bentuknya dibedakan menjadi : magnit batang, magnit tapal kuda, dan magnit jarum, seperti dijelaskan pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Bentuk-bentuk magnit

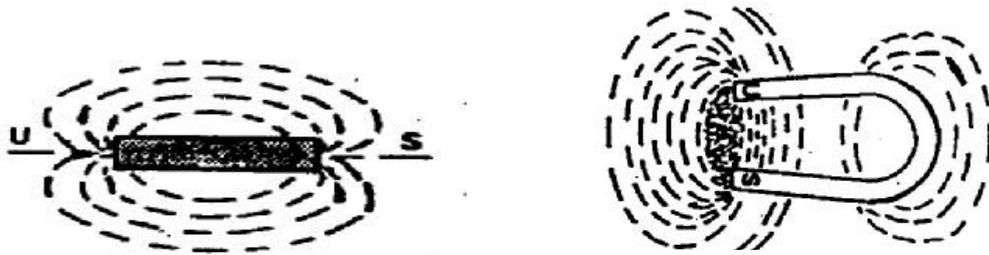
Gaya tarik yang terkuat dari magnit, terdapat pada ujungnya yang disebut dengan **kutub**. Berdasarkan percobaan tentang kutub magnit, maka dapat dibuktikan bahwa : “kutub magnit yang senama (*sejenis*) apabila didekatkan akan saling tolak menolak, dan kutub magnit yang tidak senama (*tidak sejenis*) akan saling tarik menarik”. Besar gaya tolak atau gaya tarik antara dua kutub tersebut dirumuskan oleh Coulomb :

$$K \propto \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

dengan : K adalah gaya (dyne), m_1 adalah kuat kutub pertama (weber), m_2 adalah kuat kutub kedua, dan r adalah jarak antara kedua kutub (cm).

5.2 Medan Magnet

Untuk membuktikan adanya medan magnet yaitu menggunakan selembar kertas atau di atas pelat dengan ditaburkan serbuk besi. Dimana serbuk besi ini akan mengatur diri dalam garis-garis yang rapat di kutub-kutub magnet. Dalam gambar 5.2 memperlihatkan garis-garis gaya yang disebut *spektrum magnet*.



a. Spektrum magnet batang

b. Spektrum magnet tapal kuda

Gambar 5.2 Spektrum magnet

Berdasarkan gambar 5.2 menjelaskan bahwa garis gaya merupakan garis yang keluar dari magnet melalui kutub utara dan masuk melalui kutub selatan. Jadi garis gaya itu menunjukkan arah medan magnet, sedangkan jumlah garis-garis gaya menunjukkan kekuatan medan magnet.

Apabila di dalam suatu medan magnet sebuah kutub utara dengan kuat kutub m weber, kemudian diletakan sebuah kutub utara kecil yang kuat kutubnya 1 weber, maka

kutub utara kecil ini menerima gaya tolak :

$$K = \frac{m \times 1}{r^2} = \frac{m}{r^2} \text{ dyne}$$

Kuat gaya yang diberikan kepada sebuah kutub utara yang kuatnya 1 weber yang ada di dalam medan magnet tersebut dipakai ukuran kuat medan. Jadi kuat medan (H) pada suatu titik dalam medan magnet yang ditimbulkan sebuah kutub dengan kutub m weber,

adalah :

$$H = \frac{m}{r^2}$$

Dimana : H adalah kuat medan (oerstedt), m adalah kuat kutub (weber), dan r adalah jarak titik dari kutub (cm).

Contoh 5.1

Kuat medan pada suatu titik A besarnya 10 oerstedt, seangkan jarak titik tersebut dari kutub adalah 8 cm. Berapakah kuat kutub magnet itu ?

Penyelesaian :

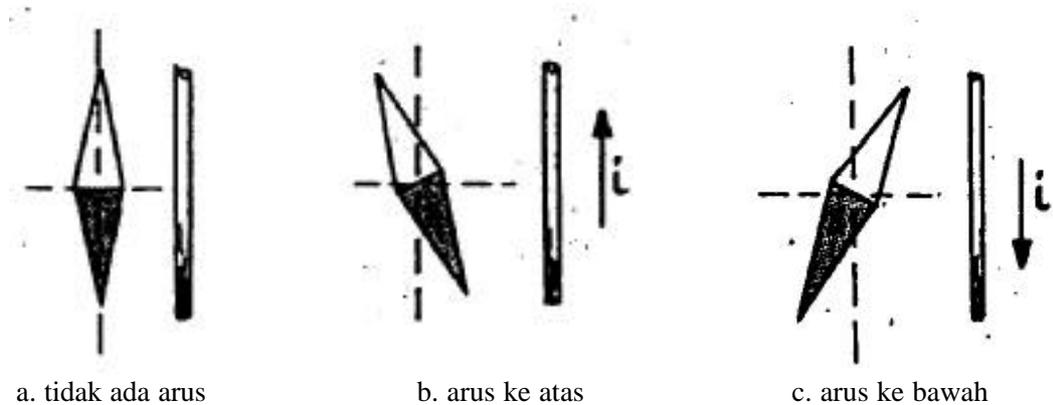
Diketahui : $H = 10$ oerstedt, $r = 8$ cm

Ditanya : $m = \dots ?$

Jawab :

$$H = \frac{m}{r^2} \quad \Leftrightarrow \quad m = H \times r^2 = 10 \times 64 = 640 \text{ weber}$$

medan magnet ada di sekitar magnet dan juga di sekitar kawat yang dialiri arus listrik. Hal ini dibuktikan dengan percobaan Oerstedt yaitu dengan cara meletakkan magnet jarum kompas di dekat kawat berarus, sebagai berikut :



Gambar 5.3 Jarum kompas dan kawat

Gambar 5.3a : Keadaan jarum kompas pada saat kawat belum dialiri arus listrik, kedudukan jarum searah dengan kawat.

Gambar 5.3b : Ketika kawat dialiri arus yang arahnya ke atas, jarum kompas menyimpang ke arah kiri

Gambar 5.3c : Ketika arah arus listrik dibalik dari atas ke bawah, ternyata arah penyimpangan jarum kompas juga berlawanan dengan semula

Percobaan ini membuktikan adanya sesuatu yang dapat berinteraksi dengan magnet jarum kompas, ternyata sesuatu ini sama dengan “*medan magnet*” yang timbul disekitar magnet permanen.

5.3 Struktur Magnet

Gaya tarikan/tolakan bahan yang berada pada suatu medan magnet ternyata tidak sama, seperti misalnya pada besi dengan emas. Besi menarik garis-garis gaya dengan kuat sedangkan emas kurang menarik garis-garis gaya.

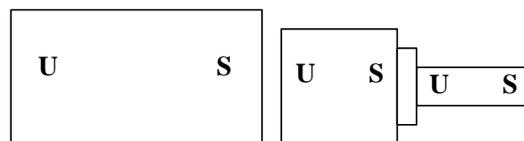
Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa bahan-bahan di alam dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu :

- 1) **Bahan Feromagnet**, yaitu bahan yang memiliki sifat kemagnitan yang sangat kuat atau sangat kuat menarik garis-garis gaya magnet. Contoh : Nikel, kobalt, besi, baja, dan lain-lain.
- 2) **Bahan Paramagnet**, yaitu bahan yang memiliki sifat kemagnitan yang kurang kuat, atau kurang kuat menarik garis-garis gaya magnet. Contoh : aluminium, platina, kayu, dan lain-lain.
- 3) **Bahan Diamagnet**, yaitu bahan yang tidak memiliki sifat magnet, atau sedikit menolak garis-garis gaya magnet. Contoh : Bismuth, tembaga, seng, dan lain-lain.

Sifat feromagnet dimiliki oleh bahan itu jika berada dalam fase padat, dalam fase cair bahan-bahan seperti besi, nikel, baja, dan lain-lain tidak menunjukkan sifat feromagnet. Bahkan dalam bentuk padat sifat feromagnet bahan bisa hilang jika suhu dinaikkan sehingga melewati suhu *Curie*, diatas suhu ini bahan feromagnet berubah menjadi paramagnet. Contoh suhu Curie : besi (770°C), nikel (358°C), kobalt (1131°C). Sifat kemagnitan di dalam logam sangat tergantung kepada atomnya.

5.4 Induksi Kemagnitan Dan Gaya Pemagnet

Jika sepotong besi feromagnet didekatkan kepada kutub sebuah magnet, maka besi tersebut dapat menarik potongan besi kecil kemudian akan mempunyai sifat magnet. Peristiwa ini disebut **induksi kemagnitan**.



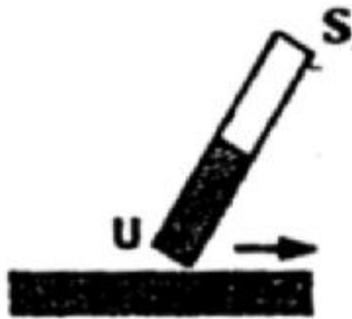
Gambar 5.4 Induksi kemagnitan

Apabila akan logam feromagnet mau dibuat magnet, maka dapat dilakukan dengan cara menggosokkan kutub magnet pada logam tersebut dengan satu arah terus menerus. Tetapi yang lazim yaitu dengan cara memasukkan logam tersebut ke dalam kumparan yang dialiri arus listrik searah (dc).

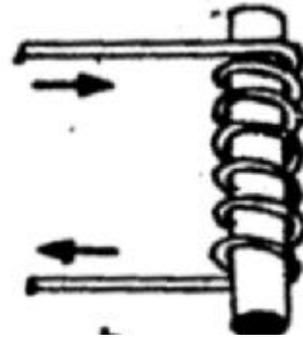
5.5 Permeabilitas dan Lengkung Kemagnitan

a. Permeabilitas

Dalam medan magnet yang kuatnya H oerstedt biasanya disebut gaya pemagnet, kemudian ditempatkan sepotong inti besi feromagnet, seperti pada gambar 5.6.

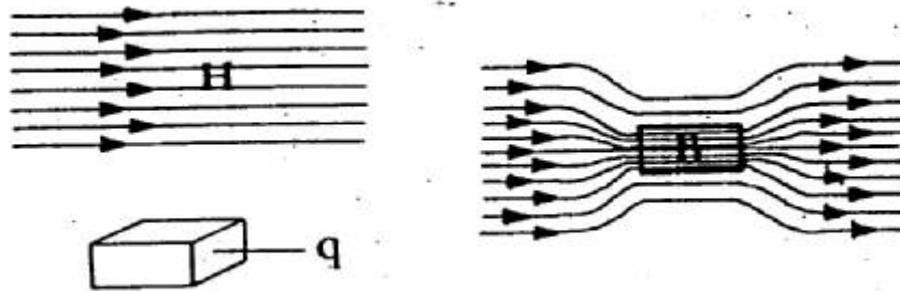


a. Menggosok batang magnet



b. Memasukkan batang logam ke kumparan

Gambar 5.5 Cara membuat magnet (mempermagnet)



Gambar 5.6 Hubungan kerapatan garis gaya magnet di dalam medan tertentu

Jumlah garis gaya di dalam besi jauh lebih besar daripada garis gaya di dalam medan magnet di luar besi (di udara). Jadi : *kerapatan garis gaya dalam (B) lebih besar daripada kerapatan garis gaya di dalam medan magnet udara*. Dapat dirumuskan :

$$B = \mu \frac{H}{q}, \quad \text{kerapatan arus gaya di udara : } B = \frac{H}{q}$$

Jadi B lebih besar dari H atau dapat ditulis : $B = \mu \times H$

Dimana : μ (miu) adalah nilai bertambah besarnya kerapatan arus gaya di dalam bahan,

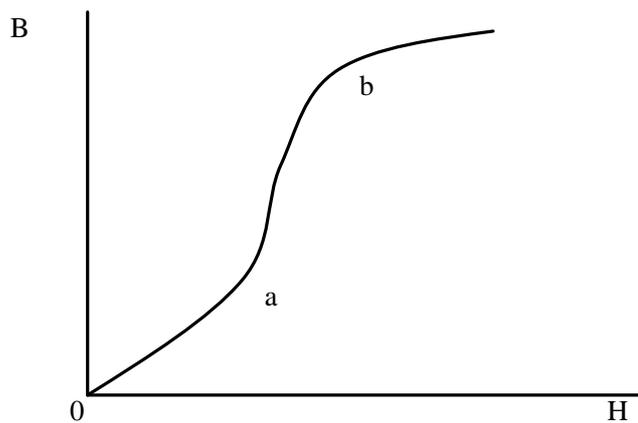
atau sering disebut dengan : **permeabilitas**. Juga dapat ditulis : $\mu = \frac{B}{H}$

Nilai permeabilitas tersebut berbeda-beda untuk bahan-bahan yang berlainan.

b. Lengkung Kemagnitan

Berdasarkan percobaan dilukiskan contoh lengkung kemagnitan untuk suatu bahan dapat dijelaskan seperti pada gambar 5.7.

Contoh lengkung kemagnitan beberapa macam besi dapat dijelaskan pada gambar 5.7. Dalam lengkung ini dapat dicari nilai permeabilitas bahan-bahan besi yang bersangkutan dengan membagi B dengan H.



Gambar 5.7 Contoh lengkung kemagnitan beberapa macam besi

6. Kegiatan Belajar 6

TEGANGAN DAN ARUS BOLAK-BALIK SATU FASA DAN TIGA FASA

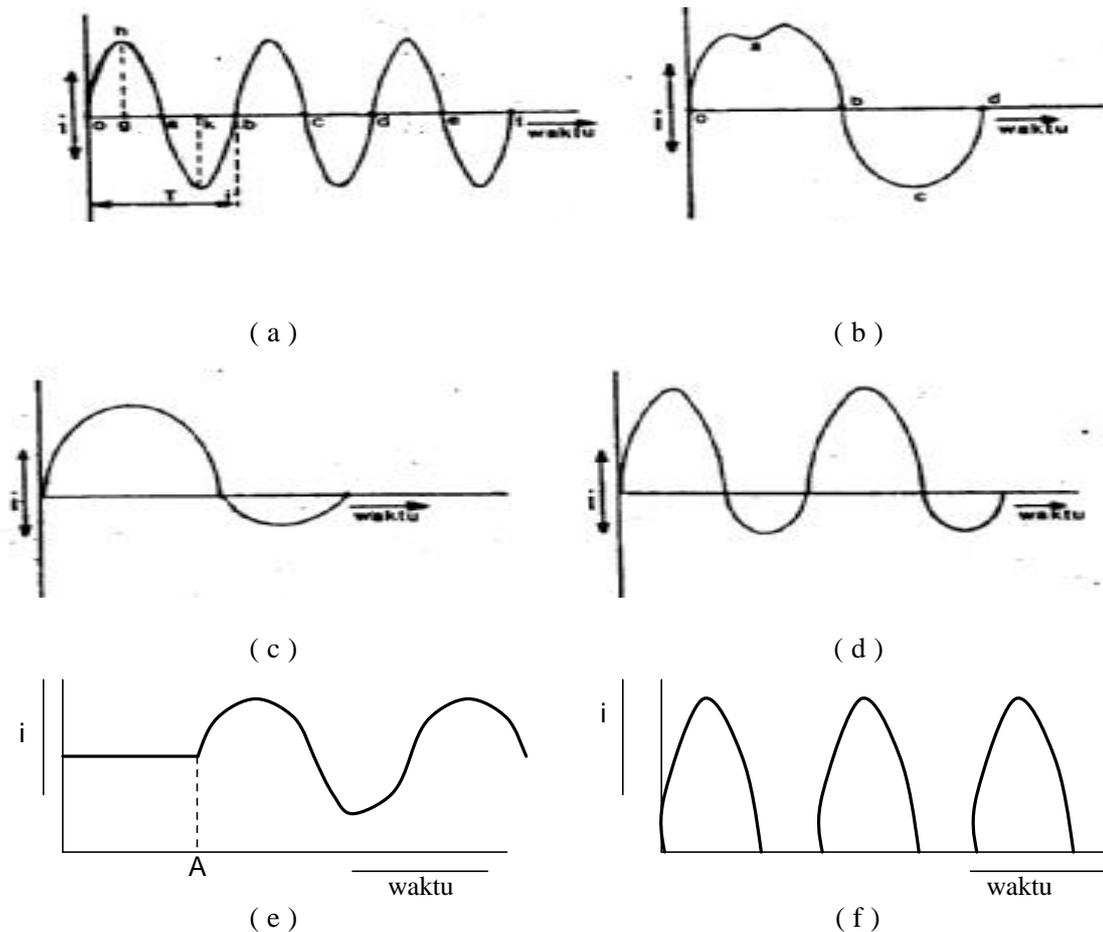
a. Tujuan Pembelajaran :

- Siswa mampu menggunakan konsep arus listrik bolak-balik dalam menganalisis besaran listrik

b. Uraian Materi :

6.1 Pengertian Arus Bolak-Balik

Arus bolak-balik didefinisikan sebagai arus yang arahnya berubah-ubah secara periodik, sedangkan tegangan bolak-balik adalah tegangan yang nilainya berubah-ubah secara periodik. Perhatikan gambar 6.1 berikut.



Gambar 6.1 Arus dan tegangan yang setiap saat berubah-ubah

Nilai tertinggi dinyatakan dengan tanda maksimum atau disingkat “maks” atau dengan tanda “m”, sehingga harga arus dapat ditulis “ I_{maks} ” atau “ I_m ” dan harga tegangan dapat dinyatakan dengan “ E_{maks} ” atau “ E_m ”. Begitu pula untuk harga sesaat diberi simbol “S” sehingga dapat ditulis “ I_s ” dan “ E_s ”.

Suatu perubahan penuh dari arus atau tegangan mulai dari +, -, kembali ke + lagi, disebut *satu periode*. Waktu yang dibutuhkan untuk satu periode diberi tanda “T” dalam satuan waktu (detik).

Misal arus bolak-balik dalam satu detik terjadi perubahan periode sebanyak sebanyak 50 kali, maka waktu periode (T) = $\frac{1}{50}$ detik.

Jumlah periode dalam tiap detik disebut *frekuensi*, yang disingkat denfan “f” dalam satuan Hertz (Hz). Jadi untuk $T = \frac{1}{50}$ detik, maka frekuensinya (f) = 50 Hz.

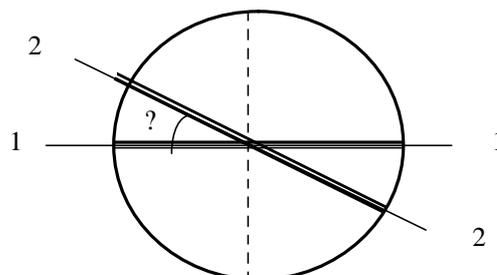
Sehingga dapat ditulis dengan persamaan : $f = \frac{1}{T}$ atau $T = \frac{1}{f}$

Dalam gambar 6.1 bentuk arus atau tegangan bolak-balik adalah berbentuk sinusoida sehingga dinamakan arus atau tegangan sinusoida. Perubahan arus bolak-balik selama satu periode adalah 2π radian dengan sudut 360° listrik. Kecepatan sudut listrik dinyatakan dengan ω , sedangkan tiap detiknya = f periode.

Jadi : $\omega = 2\pi \cdot f$ atau $\omega = \frac{2\pi}{T}$

6.2 Geseran Fase

Apabila sebuah jangkar terdapat dua buah kumparan dengan sudut antar kedua kumparan dinyatakan dengan θ , dimana jangkar tersebut berputar dalam medan magnet, maka pada kedua kumparan akan menimbulkan ggl yang berbentuk sinusoida (sinus). Seperti gambar berikut.



Gambar 6.2 Pergeseran fase

Ggl pada kumparan 1 disebut e_1 dan ggl yang ada dalam kumparan 2 disebut e_2 . e_1 dan e_2 mempunyai frekuensi yang sama karena dalam satu jangkar.

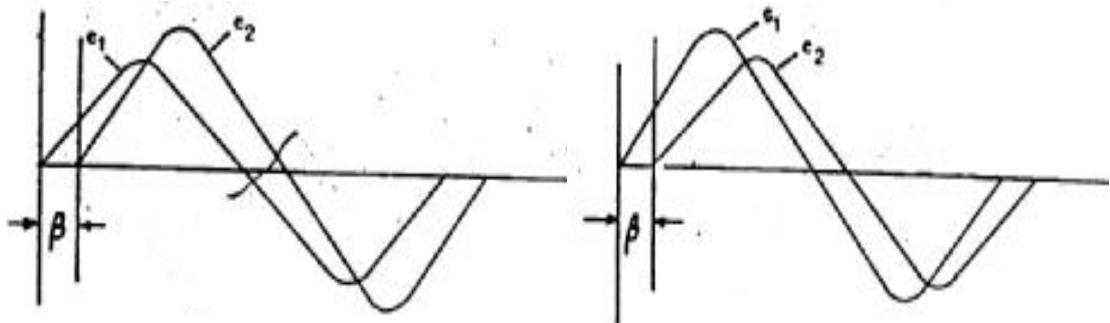
Pada posisi kumparan berada di garis netral, $e_1 = 0$, tetapi untuk e_2 harganya tidak sama dengan nol. Pada kedudukan e_1 mencapai harga maksimum, e_2 belum mencapai harga maksimum, sehingga dapat ditulis :

e_1 dan e_2 tidak sefasa, atau

e_1 dan e_2 terdapat geseran fasa, atau

e_1 dan e_2 terdapat selisih fasa

Dengan arah putaran tertentu e_2 akan mencapai harga tertinggi (maks) dan mencapai harga nol, begitu pula e_1 , hanya saja e_2 mencapai harga tersebut setelah e_1 . Maka dapat dikatakan bahwa : e_2 mengikuti e_1 , atau e_1 mendahului e_2 , seperti gambar 6.3.



Gambar 6.3 Perbedaan geseran fasa sebesar ?

Untuk menentukan geseran fasa adalah dengan menggunakan trigonometri, seperti : $e_1 = E_{\text{maks}} \sin \omega t$ dan $e_2 = E_{\text{maks}} \sin (\omega t - \beta)$

Karena e_1 dan e_2 terdapat dalam satu jangkar dengan kecepatan yang sama dan mempunyai frekuensi yang sama pula.

6.3 Harga Efektif

Dalam arus bolak-balik nilai arus selalu berubah-ubah, jika arus mempunyai amplitudo sebesar 6 ampere, maka arus bolak-balik selama satu periode mempunyai dua putaran nilai tersebut. Misal 2 buah tahanan yang sama masing-masing sebesar R . Pada tahanan yang satu mengalir arus searah sebesar 10 A selama 5 detik, sedangkan satunya lagi dialiri arus bolak-balik sebesar 10 A. Panas yang ditimbulkan oleh arus searah = $0,24 I^2 \cdot R \cdot t$ kal = $0,24 \times 100 \times 10 \times 5 = 1200$ kalori.

Arus bolak-balik pada saat yang sama melalui tahanan yang sama besar akan menimbulkan panas yang lebih sedikit, karena arus tersebut lebih kecil pada waktu 5 detik. Arus searah memberikan hasil yang sama dengan arus bolak-balik, oleh karena itu arus searah dinamakan dengan harga efektif dari arus bolak-balik dan dinyatakan dengan simbol “ I_{ef} ”.

Hubungan antara I_{ef} dengan I_{maks} dapat dijelaskan secara ilmu pasti, seperti dirumuskan :

$$I_{ef} = 0,707 I_{maks}$$

Begitu pula untuk tegangan :

$$V_{ef} = 0,707 V_{maks}$$

Nilai-nilai penunjukkan dari voltmeter atau ampermeter yang dipakai dalam pengukuran selalu menunjukkan harga efektif.

Contoh 6.1

Sebuah alat listrik dengan hambatan 40 Ω dipasang pada tegangan 220 volt. Hitunglah harga efektif dan harga maksimum dari tegangan dan arus ?

Jawab :

Dari soal diketahui bahwa harga tegangan terukur = tegangan efektif (V_{ef}) = 220 volt

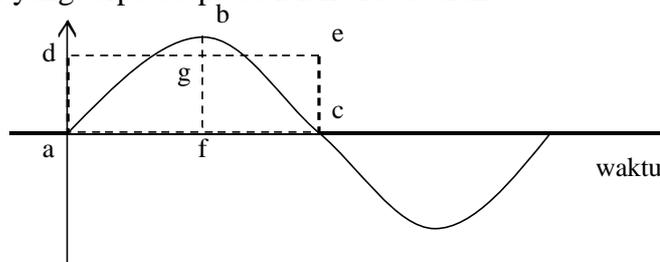
$$V_{maks} = \frac{V_{ef}}{0,707} = \frac{220}{0,707} = 311,174 \text{ volt}$$

Sedangkan arusnya dapat dihitung dengan hukum Ohm berikut :

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ ampere} \quad \text{dan} \quad I_{maks} = \frac{I_{ef}}{0,707} = 7,8 \text{ ampere}$$

6.4 Harga Rata-rata

Harga rata-rata arus dan tegangan bolak-balik dapat diperoleh dengan mengambil arus listrik setengah gelombang (0 sampai π dengan derajat 0 sampai 180°). Pada gambar 6.4 terlihat garis yang ditarik satu periode melukiskan arus bolak-balik, sedangkan yang terputus-putus ialah arus searah.



Gambar 6.4 Harga rata-rata arus bolak-balik

$f - g$ adalah harga rata-rata arus bolak-balik dengan amplitudo $f - b$. Harga rata-rata ini adalah 0,637 dari harga maksimum arus bolak-balik, sehingga untuk arus dan tegangan dapat dirumuskan : $I_{rt} = 0,637 I_{maks}$ dan $V_{rt} = 0,637 V_{maks}$

Contoh 6.2

Dari contoh 6.1 hitunglah harga rata-rata dari tegangan dan arus ?

Jawab : $V_{rt} = 0,637 V_{maks} = 0,637 \times 311,174 = 198,219$ volt

$I_{rt} = 0,637 I_{maks} = 0,637 \times 7,8 = 4,969$ ampere

6.5 Faktor Bentuk dan Faktor Puncak

Faktor bentuk sering disingkat dengan " f_b " adalah perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata arus bolak-balik.

Dirumuskan : $f_b = \frac{I_{ef}}{I_{rt}} = \frac{0,707}{0,637} = 1,11$

Faktor bentuk ini sangat berguna untuk pembangkitan tegangan listrik arus bolak-balik, karena perubahan yang dihasilkan harus diartikan rata-rata. Sehingga tegangan efektif yang dibangkitkan oleh suatu generator sama dengan ggl generator dikalikan dengan faktor bentuk, dirumuskan : $V_{ef} = f_b \times ggl$

Faktor puncak sering disingkat dengan " f_p " adalah perbandingan antara harga maksimum dengan harga efektif, dirumuskan : $f_p = \frac{I_{maks}}{I_{ef}}$ atau $f_p = \frac{V_{maks}}{V_{ef}}$

6.6 Tegangan dan Arus Bolak-balik 3 Fasa

Tegangan dan arus bolak-balik sistem tiga fasa, banyak dijumpai pada pembangkit dan transmisi tenaga listrik dengan kapasitas daya yang besar, sehingga akan lebih efisien apabila menggunakan sistem fasa banyak (polyphase) yang menggunakan dua, tiga atau lebih tegangan sinusoida. Disamping itu rangkaian dan mesin fasa banyak mempunyai beberapa keunggulan, seperti : daya dalam rangkaian fasa tiga adalah konstan dan tidak berombak-ombak seperti halnya pada rangkaian fasa tunggal, dan motor fasa tiga lebih mudah digunakan dibandingkan dengan motor fasa tunggal.

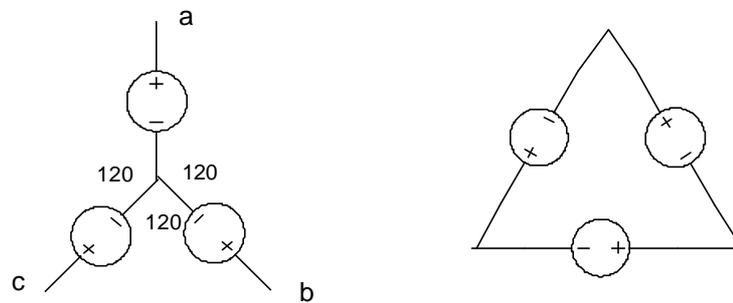
Hampir semua tenaga listrik yang dibangkitkan di dunia ini merupakan fasa jamak dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Frekuensi baku yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz. Pada umumnya sistem fasa banyak menggunakan sistem tiga tegangan seimbang yang sama besarnya dengan berbeda fasa antara tegangan fasa yang satu dengan fasa yang lain sebesar 120^0 . Dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

Fasa a : $e_a = E_m \sin \omega t$ volt

Fasa b : $e_b = E_m \sin (\omega t - 120^0)$ volt atau $e_b = E_m \sin (\omega t + 240^0)$ volt

Fasa c : $e_c = E_m \sin (\omega t - 240^0)$ volt atau $e_c = E_m \sin (\omega t + 120^0)$ volt

Skema untuk sistem fasa tiga seimbang adalah dijelaskan pada gambar 6.5.



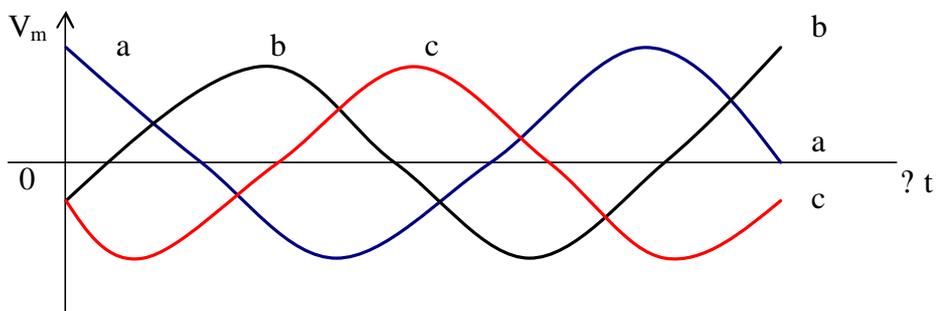
a. hubungan bintang (Y)

b. hubungan delta/segitiga (Δ)

Gambar 6.5 Hubungan sistem tiga fasa

Ketiga tegangan fasa tunggal itu dibangkitkan oleh sebuah medan fluks berputar yang dimiliki bersama dalam tiga kumparan identik yang terpisah 120^0 antara yang satu dengan yang lain dalam suatu generator listrik sistem fasa tiga.

Pada saat fasor-fasor berputar dengan kecepatan sudut ω terhadap suatu garis acuan dengan arah yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam (arah positif), maka diperoleh diagram fungsi waktu sebagai berikut :



Gambar 6.6 Hubungan V_m dengan kecepatan sudut (ω)

Sesuai dengan diagram fasor, mula-mula nilai maksimum untuk fasa a yang muncul, kemudian nilai maksimum fasa b dan fasa c. dengan alasan tersebut tegangan fasa tiga dikatakan mempunyai urutan fasa abc. Urutan ini penting artinya dalam beberapa pemakaian tertentu, misalnya dalam motor induksi fasa tiga, urutan fasa ini yang menentukan apakah motor berputar searah (ke kanan) atau berlawanan (ke kiri) dengan arah putaran jarum jam.

7. Kegiatan Belajar 7

TRANSFORMATOR

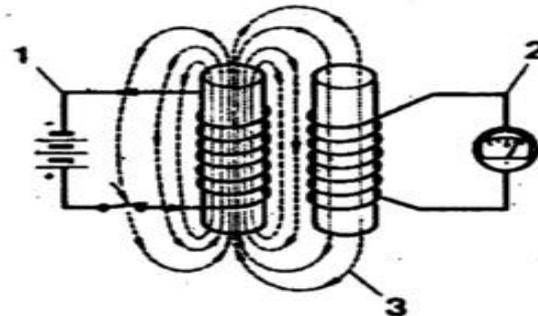
a. Tujuan Pembelajaran :

- Siswa memahami alat pengubah tegangan listrik dan mampu menerapkannya

b. Uraian Materi :

7.1 Pengertian dan Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk menaikkan tegangan (step up) dan menurunkan tegangan (step down) dengan menggunakan prinsip induksi. Telah dijelaskan bahwa gaya gerak listrik (ggl) dapat dibangkitkan di dalam sebuah kumparan, jika kumparan pembawa arus ditempatkan didekatnya. Peristiwa ini dinamakan *induksi timbal-balik*. Terjadinya induksi timbal balik disebabkan oleh adanya perubahan medan magnet, seperti dijelaskan pada gambar 7.1.



Gambar 7.1 Peristiwa induksi timbal-balik : (1) kumparan pembawa arus, (2) kumparan penerima arus induksi, (3) medan magnet

Bila saklar (S_1) dihubungkan, kumparan pembawa arus sebagai kumparan primer segera menginduksi diri lewat medan magnet yang terbentuk. Selanjutnya arus induksi tersebut diterima oleh kumparan penerima arus induksi sebagai kumparan sekunder. Besarnya arus induksi timbal-balik yang diterima dapat terbaca pada petunjuk tegangan yang dipasang paralel dengan kumparannya.

7.2 Konstruksi Transformator

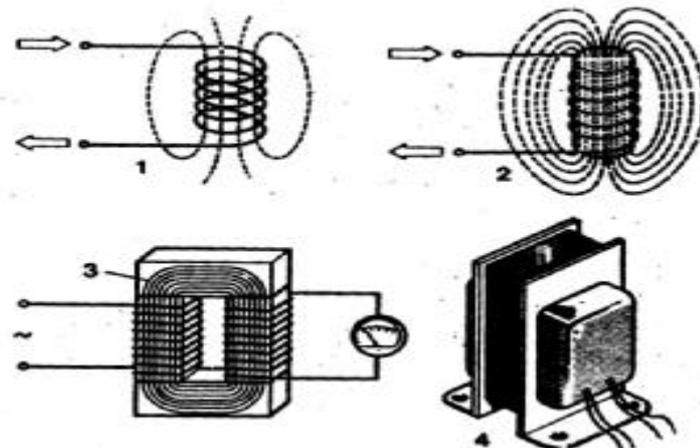
Sebuah transformator terdiri dari dua bagian penting, yaitu bagian *kumparan* dan bagian *inti*. Kedua bagian ini harus diperhitungkan secara teliti bila akan merancang sebuah transformator. Kesalahan dalam perhitungan kedua bagian ini akan menghasilkan kekecewaan baik pada pembuat maupun pemakainya.

a. Kumparan Transformator

Kumparan transformator merupakan suatu kawat email yang berisolasi tipis dengan ketebalan kawat tergantung kepada daya kumparan primer (dalam satuan volt ampere atau watt) yang ingin dihasilkannya dengan satuan penampang mm^2 . Sedangkan banyaknya kumparan diperhitungkan dengan jumlah/besarnya tegangan induksi yang ingin dihasilkan.

b. Inti Transformator

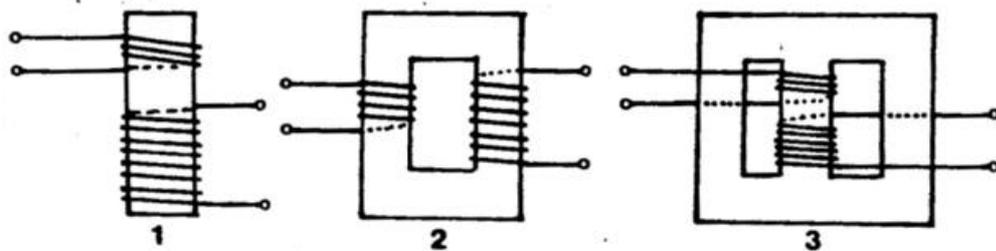
Inti transformator biasanya mempergunakan besi, dan inti besi ini sering disebut dengan "*kern*". Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah dengan menggulungkan kumparan di sekeliling inti besi dan akan mendapatkan medan magnet yang lebih kuat. Selain itu inti besi berfungsi juga sebagai pemusat garis-garis medan yang akan menghasilkan medan magnet yang lebih kuat dan induksi yang lebih baik. Beberapa penggunaan inti transformator dijelaskan pada gambar 7.2.



Gambar 7.2 Penggunaan inti pada transformator : (1) kumparan tanpa inti, (2) kumparan dengan inti medan magnet lebih kuat, (3) garis-garis gaya pada inti magnet, (4) konstruksi sebuah transformator praktis

Inti besi yang digunakan untuk keperluan ini sejenis lunak yang mengandung silikon. Sesuai dengan susunan intinya, maka transformator terdiri dari tiga jenis inti, yaitu : transformator dengan : *inti terbuka*, *inti tertutup*, dan *inti kelopak (shell)*. Secara sederhana ketiga bentuk inti transformator seperti pada gambar 7.3.

Variasi lain dari ketiga inti di atas sebenarnya dapat saja dilakukan, namun pada dasarnya masih berupa tiga jenis inti tersebut. Inti transformator biasanya berlapis-lapis yaitu terdiri dari sejumlah pelat-pelat tipis yang disusun membentuk teras besi transformator. Keuntungan mempergunakan pelat-pelat ini adalah selain memudahkan membentuk teras pada koker, juga dapat memperkecil rugi daya yang disebabkan oleh arus pitar, yaitu arus diinduksikan ke dalam inti besi oleh medan bolak-balik.



Gambar 7.3 Jenis inti transformator : (1) *inti terbuka*, (2) *inti tertutup*, dan (3) *inti kelopak*

7.3 Macam-Macam Transformator

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandingan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dengan rangkaian lain, dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian.

Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Frekuensi daya : 50 Hz – 60 Hz
- b. Frekuensi pendengaran : 50 Hz – 20 kHz
- c. Frekuensi radio : di atas 30 kHz

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi

- c. Transformator pengukuran, yaitu terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghendaki adanya gandengan magnet antara *rangkaian primer* dan *sekunder*. Gandengan magnet ini beru-pa inti besi tempat melakukan fluks bersama. Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal ada dua macam transformator, yaitu *tipe inti* dan *tipe cangkang*.

7.3 Perhitungan Jumlah Kumparan Transformator

Secara teori, jika kedua kumparan (primer dan sekunder) mempunyai jumlah gulungan yang sama, maka tegangan yang dihasilkan pada terminal-terminalnya adalah sama. Pernyataan di atas apabila ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{atau} \quad E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1$$

dimana E_1 : tegangan pada gulungan primer (volt), E_2 : tegangan pada gulungan sekunder (volt), N_1 : jumlah gulungan primer (lilit), dan N_2 : jumlah gulungan sekunder (lilit).

Dalam perhitungan selanjutnya $\frac{N_2}{N_1}$ disebut sebagai perbandingan transformasi

(transformer ratio) yang umumnya ditulis dengan notasi "T".

Contoh 7.1

Berapakah tegangan yang timbul pada bagian sekunder, jika kumparan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan 110 volt dengan jumlah gulungan masing-masing gulungan primer 200 lilit dan sekunder 400 lilit.

Jawab :

$$E_1 = 110 \text{ volt}, \quad N_1 = 200 \text{ lilit}, \quad \text{dan} \quad N_2 = 400 \text{ lilit}$$

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot E_1 = \frac{400}{200} \cdot 110 = 220 \text{ volt}$$

dari rumus dan contoh soal di atas, dapat disimpulkan : "jika kumparan sekunder mempunyai jumlah gulungan lebih banyak, maka tegangan yang timbul akan lebih besar sebanding dengan jumlah gulungannya".

c. Rangkuman 2

Kemagnetan seperti konsep dasar magnet, medan magnet, struktur magnet, induksi kemagnetan dan gaya magnet, termasuk permeabilitas dan lengkung kemagnetannya, sangat penting diketahui oleh setiap siswa yang ingin mempelajari di bidang kelistrikan. Konsep dasar kemagnetan ini sangat besar peranan dan fungsinya dalam proses pembentuk listrik, karena medan magnet ini merupakan suatu medium dalam proses konversi energi baik dari energi mekanik menjadi energi listrik seperti pada generator, energi listrik menjadi energi mekanik pada motor, maupun proses pemindahan energi listrik dari satu kumparan ke kumparan lain seperti pada transformator.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak sekali peralatan yang ada di rumah tangga menggunakan energi listrik untuk mengaktifkannya. Jenis arus listrik yang digunakan untuk peralatan tersebut adalah arus bolak-balik (ac). Pada dunia industri selain mengenal arus listrik sistem satu fasa, juga banyak menggunakan peralatan-peralatan yang memerlukan energi listrik sistem tiga fasa. Peralatan listrik sistem tiga fasa ini biasanya mempunyai beban listrik yang besar. Kelebihan dari menggunakan sistem tiga fasa untuk peralatan dengan daya yang besar adalah memerlukan peralatan proteksi yang relatif lebih rendah dan murah, juga mempunyai bentuk fisik yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan sistem satu fasa untuk ukuran atau kapasitas daya yang sama. Dalam arus bolak-balik ini dikenal istilah harga maksimum, harga rata-rata, harga efektif, faktor bentuk dan faktor puncak.

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Bagian yang terpenting dari transformator adalah bagian inti dan bagian kumparan atau lilitan. Macam-macam transformator ini dapat dikelompokkan berdasarkan dari frekuensinya, ukuran dayanya, atau berdasarkan fungsinya. Sehingga dikenal ada istilah transformator penaik tegangan (step up), transformator penurun tegangan (step down), transformator instrumentasi (PT : potensial transformer, CT : current transformer), dan lain-lain

d. Tugas 2 :

1. Buatlah suatu percobaan untuk membuktikan adanya spektrum magnet ?
 - a. Berdasarkan hasil percobaan di atas apa yang dimaksud dengan medan magnet dan kuat medan magnet ?
 - b. Darimana ke manakan jalan garis gaya magnet di dalam magnet ?
 - c. Apa yang dimaksud dengan gaya pemagnet ?
2. Buatlah percobaan untuk mengamati arus bolak-balik dan jawab pertanyaan-pertanyaan berikut :
 - a. Gambarkan bentuk arus bolak-balik sinusoida ?
 - b. Jelaskan apa yang dimaksud dengan : frekuensi, amplitudo, periode, dan fase ?
3. Buatlah suatu rangkaian dengan sebuah alat listrik mempunyai hambatan 40 ohm dipasang pada tegangan 110 volt. Amati dan ukur dengan menggunakan voltmeter dan ampermeter. Hitung berapakah besar arus efektif dan arus maksimum yang mengalir melalui hambatan ?
4. Buatlah percobaan untuk membuktikan suatu transformator berfungsi sebagai penaik tegangan (step up) dan penurun tegangan (step down)

e. Tes Formatif 2 :

1. Jenis logam apakah yang memiliki sifat kemagnetan yang paling besar ?
2. Sebutkan dua cara bagaimana membuat magnet ?
3. Sebutkan beberapa macam bentuk magnet yang saudara ketahui ?
4. Kuat medan pada suatu titik A 20 oersted, sedangkan jarak titik tersebut dari kutub 10 cm. Berapakah kuat kutub magnet di titik A tersebut ?
5. Berapakah besarnya harga efektif, harga rata-rata dan harga maksimum jika jarum suatu voltmeter yang digunakan untuk mengukur tegangan bolak-balik menunjukkan harga 110 volt ?
6. Apa yang dimaksud dengan faktor bentuk dan tentukan besarnya ?
7. Apa yang dimaksud dengan kecepatan sudut ?
8. Sebutkan jenis hubungan sumber tegangan dan beban listrik yang banyak digunakan pada sistem tiga fasa ?
9. Besarnya tegangan pada fasa a : $V_a = 200 \sin (314 t + 30^\circ)$ volt.
 - a. Hitung frekuensi
 - b. Tuliskan besar tegangan pada fasa b (V_b) dan fasa c (V_c) ?
10. Suatu transformator mempunyai perbandingan $N_2/N_1 = 4$. Jika lilitan bagian primer jumlahnya 150 lilit, dan dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar 55 volt. Hitunglah :
 - a. Jumlah lilitan sekunder
 - b. Besar tegangan bagian primer dan sekunder ?

f. Kunci Jawaban Formatif 2 :

1. Ferromagnetik
2. Dengan menggosokkan ke logam yang bersangkutan, dan dengan cara meliliti bahan yang akan dijadikan magnet dan mengalirkannya arus listrik dc ke lilitan tersebut.
3. Bentuk batang, bentuk tapal kuda, dan bentuk jarum
4. 2000 weber
5. $V_{ef} = 110$ volt, $V_m = 155,6$ volt, dan $I_t = 99,11$ volt
6. Faktor bentuk (f_b) adalah merupakan perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata, dan nilainya $f_b = 1,11$
7. Kecepatan sudut (ω) adalah merupakan suatu perubahan arus atau tegangan selama satu periode sebesar 2π radian dengan sudut 360° listrik. Atau dirumuskan $\omega = 2\pi \cdot f$ atau $\omega = \frac{2\pi}{T}$
8. Hubungan bintang (Y) dan hubungan segitiga atau delta (Δ)
9. a. 50 Hz ; b. $V_b = 200 \sin(314 t + 150^\circ)$ V dan $V_c = 200 \sin(314 t + 270^\circ)$ volt.
10. a. 600 lilit; b. $E_1 = 55$ volt dan $E_2 = 220$ volt

g. Lembar Kerja 2 :

1. **Alat** : obeng, tang, cutter, isolasi, solder, alat tulis menulis, kabel, dan lain-lain
2. **Bahan** : magnet jarum, serbuk besi, kertas, kawat penghantar, sumber listrik ac, baterai atau aki, Ampermeter, voltmeter, osciloscop, beban listrik (lampu, reostat, dan lain-lain), sakelar, transformator step up dan step down, dan lain-lain
3. **Keselamatan kerja** : jas lab, sarung tangan, senter, kerjakan sesuai instruction manual, patuhi prosedur kerja yang telah ditentukan, patuhi peraturan yang tercantum di lab atau tempat praktik.
4. **Langkah kerja** : tentukan peralatan-peralatan dan komponen-komponen yang akan dibutuhkan, buat rancangan diagram pengawatan yang akan dilakukan, pasang peralatan pengukur yang akan digunakan sesuai dengan diagram rencana, rangkai peralatan yang telah dipasang, periksa dan uji rangkaian atau peralatan yang telah dipasang, perbaiki apabila masih terdapat kesalahan atau komponen yang belum berfungsi dengan benar, uji sesuai dengan prosedur dan instruction manual yang berlaku, buat berita acara laporan pengujian atau percobaan
5. **Laporan** : Jawab pertanyaan-pertanyaan dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan tugas yang diberikan

III. EVALUASI

A. PERTANYAAN :

1. Sebutkan simbol, satuan, dan singkatan satuan dari energi listrik ?
2. Jumlah elektron yang pindah melalui sebuah lampu yang dinyalakan selama $\frac{1}{2}$ menit adalah $9,36 \times 10^{19}$ buah elektron. Berapakan besarnya arus yang mengalir pada lampu tersebut ?
3. Suatu penghantar mempunyai luas penampang 4 mm^2 . Jika kawat penghantar tersebut digunakan untuk menghubungkan sebuah lampu yang mempunyai tahanan 110 ohm dengan sumber tegangan 220 volt , berapakah kerapatan arus yang mengalir melalui kawat penghantar tersebut ?
4. Apa tujuan dari beberapa baterai yang dihubungkan secara seri ?
5. Sebuah baterai mempunyai ggl 6 volt , dihubungkan dengan tahanan luar $5,4 \text{ ohm}$. Apabila arus yang mengalir pada tahanan tersebut sebesar $0,8 \text{ ampere}$, hitunglah besarnya tahanan dalam baterai dan rendemen (?) dari baterai tersebut ?
6. Lima buah baterai masing-masing mempunyai ggl $2,2 \text{ volt}$ dihubungkan seri sehingga menjadi satu sumber arus listrik. Tahanan dalam masing-masing baterai $0,05 \text{ ohm}$ dan tahanan luar sebesar $10,75 \text{ ohm}$. Berapakah besar arus yang dikeluarkan baterai tersebut ?
7. Sebuah lampu pijar tertulis $40 \text{ watt} / 220 \text{ volt}$ dihubungkan dengan sumber tegangan 220 volt selama 1 jam . Hitunglah besarnya tahanan pada lampu tersebut, besarnya arus yang mengalir, dan energi yang digunakan selama waktu tersebut ?
8. Berapa kalori panas yang ditimbulkan pada kasus soal nomor 7 di atas ?
9. Dua buah lampu dengan tahanan masing-masing 200 ohm , dihubungkan paralel pada sumber tegangan 200 volt . Berapakan kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut ?
10. Pada bagian manakah gaya tarik/tolak magnet yang paling kuat ?
11. Disebut apakah bahan yang tidak memiliki sifat magnet atau sedikit meolak magnet, dan berikan contohnya ?
12. Apa yang dimaksud dengan permeabilitas suatu bahan ?

13. Sebuah rotor generator satu detik terjadi perputaran sebanyak 100 periode. Hitung lamanya waktu untuk satu periode dan besarnya frekuensi dari generator tersebut ?
14. Sebuah lampu listrik mempunyai tahanan sebesar 100 ohm dipasang pada sumber tegangan 220 volt. Hitung besarnya arus efektif dan arus maksimum yang mengalir pada lampu tersebut ?
15. Hitung nilai rata-rata dari kasus soal nomor 6 di atas ?
16. Apa yang dimaksud dengan faktor bentuk dalam sistem tegangan dan arus bolak-balik ?
17. Apa yang dimaksud dengan faktor puncak dalam sistem tegangan dan arus bolak-balik ?
18. Salah satu fasa tegangan pada listrik sistem 3 fasa besarnya : $e_1 = 220 \sin(\omega t + 30^\circ)$ volt. Tentukan besarnya tegangan untuk dua fasa yang lainnya ?
19. Sebutkan macam-macam hubungan dari sumber tegangan listrik sistem tiga fasa yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari ?
20. Jelaskan apa yang dimaksud dengan transformator berdasarkan prinsip kerjanya ?

B. KUNCI JAWABAN

1. W, Joule, dan J
2. 0,5 ampere
3. $I = 220/110 = 2 \text{ A}$, $S = I/q = 2/4 = 0,5 \text{ A/mm}^2$
4. Apabila menghendaki tegangan yang lebih besar dengan arus yang tetap
5. $r_d = (6 - 5,4)/0,8 = 0,75 \text{ ohm}$, $\rho = 5,4/6 = 0,9$
6. $I = (5 \times 2,2)/(5 \times 0,05 + 10,75) = 11/11 = 1 \text{ A}$
7. $R = 220^2/40 = 1210 \text{ ohm}$; $I = 220/1210 = 0,182 \text{ A}$; $W = P \times t = 40 \times 3600 = 144 \text{ kJ}$
8. 34,56 kkalori
9. 2 ampere
10. Pada ujung magnet atau kutub-kutub magnet
11. Diamagnet, contohnya : bismuth, tembaga, seng, dan lain-lain
12. Bersarnya kerapatan arus gaya magnet di dalam bahan itu sendiri
13. $T = 1/100 = 0,01 \text{ detik}$, $f = 1/T = 1/0,01 = 100 \text{ hertz}$.
14. $I_{ef} = 220/100 = 2,2 \text{ ampere}$, dan $I_{mak} = I_{ef} \times \sqrt{2} = 2,2 \times 1,4142 = 3,11 \text{ ampere}$.
15. $I_{rt} = 0,637 \times I_{mak} = 0,637 \times 3,11 = 1,981 \text{ ampere}$.
16. F_b adalah perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata dari suatu tegangan atau arus bolak-balik.
17. F_p adalah perbandingan antara harga maksimum dengan harga efektif dari suatu tegangan atau arus bolak-balik.
18. $e_2 = 220 \sin(\omega t + 150^\circ)$ volt atau $e_2 = 220 \sin(\omega t - 210^\circ)$ volt, dan $e_3 = 220 \sin(\omega t + 270^\circ)$ volt atau $e_2 = 220 \sin(\omega t - 90^\circ)$ volt.
19. (a) hubungan delta atau segitiga, (b) hubungan bintang tanpa pentanahan (3 kawat), dan hubungan bitang dengan pentanahan (4 kawat)
20. Alat yang dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik.

IV. PENUTUP

Materi pembelajaran pada modul ini merupakan materi dasar yang harus dimiliki oleh setiap siswa yang mengambil keahlian di bidang teknik listrik, sehingga harus sudah menempuh materi pembelajaran atau modul Rangkaian Listrik dan telah lulus dengan mendapat skor minimal 60 (skala 100). Apabila belum menempuh dan belum lulus, maka siswa yang bersangkutan harus melalui remedial terlebih dahulu atau mengulang lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Murdhana dan Djadjat Sudrajat, 1993, *Teknik Listrik STM*, Armico, Bandung.
- B.L. Theraja dan A.K. Theraja, 1993, *A Text-Book of Electrical Technology*, vol I, Basic Electrical engineering, New Delhi.
- Budiono Mismail, 1995, *Rangkaian Listrik*, jilid pertama, ITB, Bandung
- David E Johnson, dkk., 1995, *Basic Electric Circuit Analysis*, Fifth edition, Prentice Hall International editions, USA
- Johny BR, 1992, *Keterampilan Teknik Listrik Praktis*, Yrama Widya Dharma, Bandung
- Joseph A. Edminister, 1988, *Rangkaian Listrik*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- M. Afandi dan Agus Ponidjo, 1977, *Pengetahuan Dasar Teknik Listrik 1*, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen P dan K, Jakarta.
- Widowati S., 1995, *Diktat Rangkaian Listrik 1*, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI, Bandung
- William H. Hayt, Jr. dan Jack E. Kemmerly, 1991, *Rangkaian Listrik 1*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.

STORYBOARD

Judul Modul Pembelajaran : RANGKAIAN LISTRIK

Bidang Keahlian : KETENAGALISTRIKAN

Program Keahlian : Teknik Pembangkitan

Teknik Transmisi

Teknik Distribusi

Teknik Pendingin dan Tata Udara

Teknik Pemanfaatan Energi

NO	URUTAN PEMBELAJARAN	N A R A S I	SIMULASI PEMBELAJARAN SESUAI URUTAN TOPIK								KETERANGAN SIMULASI	
			Animasi	Gambar	Video	Audio	Simulasi Praktik	Latihan	Evaluasi	Skor		
1.	DESKRIPSI MATERI	Lingkup materi modul ini: satuan dasar dan satuan turunan, rangkaian listrik sederhana, tahanan, pengaruh arus listrik, hubungan seri-paralel, kemagnitan, tegangan dan arus bolak-balik, dan teori dasar transformator.	X	X	X							
2.	PRASYARAT	Pendidikan Formal : Telah menyelesaikan pendidikan setara Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) atau sederajat Kaitan dengan modul/kemampuan lain : Tidak ada, karena merupakan mata ajar konsep dasar						X			X	
3.	PETA KEDUDUKAN MODUL	Modul ini termasuk ke dalam bidang keahlian Ketenagalistrikan pada program keahlian Teknik Pembangkitan		X								
4.	PERISTILAHAN	ac (alternating current), accumulator, dc (di-rect	X		X	X						

		current), di-charge, dk, efisiensi, daya guna, frekuensi, ggl, kern, ? (miu), ? (omega), periode, pj (panas jenis), spektrum magnet										
5.	PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL	<p>Petunjuk bagi siswa: Baca petunjuk kegiatan belajar pada setiap modul kegiatan belajar, baca tujuan dari setiap modul kegiatan belajar, pelajari setiap materi yang diuraikan/ dijelaskan pada setiap modul kegiatan, pelajari rangkuman yang terdapat pada setiap akhir modul kegiatan belajar, baca dan kerjakan setiap tugas yang harus dikerjakan pada setiap modul kegiatan belajar, kerjakan dan jawablah dengan singkat dan jelas setiap ada ujian akhir modul kegiatan belajar (test formatif)</p> <p>Peran guru : menjelaskan petunjuk-petunjuk kepada siswa yang masih belum mengerti, mengawasi dan memandu siswa apabila ada yang masih kurang jelas, menjelaskan materi-materi pembelajaran yang ditanyakan oleh siswa yang masih kurang dimengerti, membuat pertanyaan dan memberikan penilaian kepada setiap siswa</p>	X		X	X						
6.	KEGIATAN BELAJAR 1 6.1. Penjelasan Umum	Modul ini merupakan modul dasar yang harus dipahami oleh setiap siswa pada tingkat pertama, karena banyak konsep-konsep dasar dari rangkaian listrik yang akan digunakan untuk pembelajaran pada mata ajaran lainnya baik untuk pengembangan maupun aplikasi-aplikasi praktis.		X	X	X						
	6.2. Uraian Sub Materi	Satuan dasar dan satuan turunan Rangkaian listrik sederhana Tahanan Hubungan seri-paralel Kemagnitan		X	X	X	X					

		Tegangan dan arus bolak-balik Transformator.										
	Evaluasi	Evaluasi dilakukan pada setiap akhir kegiatan belajar, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/derajat kemampuan atau daya serap siswa terhadap materi pembelajaran yang telah disampaikan						X	X	X		
7.	PEMBELAJARAN 1 7.1. Penjelasan Umum	Pada pembelajaran satu diharapkan siswa mampu menginterpretasikan besaran listrik menurut standar internasional, menerapkan hukum-hukum dasar kelistrikan untuk menghitung dan mengukur besaran listrik arus searah, menerapkan konsep dasar hukum ohm dalam rangkaian listrik, dan menerapkan konsep dasar hukum ohm dalam rangkaian listrik Pada pembelajaran dua, diharapkan siswa mampu menerapkan konsep kemagnitan pada rangkaian listrik, menggunakan konsep arus listrik bolak-balik dalam menganalisis besaran listrik, memahami alat pengubah tegangan listrik dan mampu menerapkannya	X	X	X	X						
	7.2. Penjelasan Materi Materi 1 :	<ul style="list-style-type: none"> - Satuan dasar dan satuan turunan - Sumber listrik dan rangkaian arus searah - Tahanan - Hubungan seri-paralel 	X	X	X	X	X					
	Evaluasi 1	Evaluasi dilakukan setelah selesai materi pembelajaran satu yang mencakup empat unit materi dengan : a. Tugas/latihan : sebanyak 8 soal b. Test formatif : 10 soal pertanyaan dalam bentuk essay						X	X	X		
	Materi 2 :	<ul style="list-style-type: none"> - Kemagnitan 	X	X	X	X	X					

