Buku Ajar Fisika Dasar

Materi Rangkaian Listrik dan Hukum Ohm Dalam Rangkaian Listrik

Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.
Dr. Joko Siswanto, M.Pd.
Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd.
Muhammad Habibbulloh, M.Pd.

© Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
All rights reserved

BUKU MODEL PEMBELAJARAN INVESTIGATION-BASED MULTIPLE REPRESENTATION ONLINE (IBMRO)

Copyright © 2022

Penulis : Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.
Dr. Joko Siswanto, M.Pd.
Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd.
Muhammad Habibbulloh, M.Pd.

Surabaya : Penerbit JDS 2022
97 hlm
ISBN

Hak cipta pada penulis

Tata Letak Isi : Nizar Rizki Rahman, S.Pd.
Desain Sampul : Nizar Rizki Rahman, S.Pd.

Hak penerbitan pada Penerbit JDS, Surabaya (Anggota IKAPI)

Dicetak di CV. JAUHAROH DARUSALAM

Penerbit JDS
Jl. Jemur Wonosari Lebar 61
Wonocolo, Surabaya-60237
Telp. 085649330626
Email : jdspresssurabaya@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha kuasa, hanya karena pertolonganNya saja kami dapat menyelesaikan Buku Model Pembelajaran *Investigation-Based Multiple Representation Online* (IBMRO) untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa Pendidikan Fisika. Buku Ajar Mahasiswa dengan model IBMRO ini merupakan salah satu luaran program Penelitian Kebijakan Guru Besar Universitas Negeri Surabaya Tahun 2022.

Buku Ajar Mahasiswa ini disusun sebagai pedoman dalam menerapkan pembelajaran inovatif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan kolaboratif mahasiswa. Buku Model IBMRO ini diharapkan dapat membantu para dosen dalam mengembangkan perangkat pembelajaran dan melaksanakan kegiatan perkuliahan di perguruan tinggi untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis mahasiswa: Alternatif kuliah Online di masa pandemi Covid-19. Buku Ajar Mahasiswa ini terdiri atas dua kajian utama yaitu: Bab I Rangkaian Listrik dan Bab II Hukum Ohm dalam Rangkaian Listrik.

Dalam kesempatan ini, kami mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Surabaya yang telah memberikan kesempatan dan dana Penelitian dengan judul Model IBMRO untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa Pendidikan Fisika.
2. Kepala LPPM Universitas Negeri Surabaya yang telah berkenan menyetujui penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat didanai untuk dilakukan penelitian.
3. Validator Dr. Muhammad Satriawan, M.Pd. dan Dr. Oka Saputra, M.Pd. selaku validator.
4. Semua pihak yang telah membantu penyusun mulai perencanaan, penyiapan awal, pelaksanaan dan evaluasi kegiatan penelitian ini.

Kami menyadari bahwa dalam penulisan Buku Ajar Mahasiswa ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan Buku Ajar Mahasiswa ini. Akhirnya kami berharap semoga Buku Ajar Mahasiswa ini dapat bermanfaat bagi siapa saya yang memerlukannya dan menjadi bahan informasi dan model inovatif bagi perkuliahan Fisika Dasar.

Surabaya, Agustus 2022

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Kata Pengantar ii
Daftar Isi iii

BAB I RANGKAIAN LISTRIK 1
A. Arus Listrik 1
1. Definisi Arus Listrik 2
2. Kuat Arus Listrik 2
B. Hambatan 5
1. Resistivitas (Hambatan Jenis) 5
2. Resistansi (Hambatan) 5
3. Hukum Ohm 6
4. Nilai Tahanan Resistor 10
C. Tegangan Gerak Elektrik 11
D. Energi dan Daya Dalam Rangkaian Listrik 12
1. Potensial Listrik 16
E. Rangkaian Listrik Arus Searah 21
1. Sumber Tegangan 23
a. Elemen Volta 23
b. Elemen Kering/Baterai 24
c. Sel Bikromat 25
d. Akki/Accumulator 26
e. Dinamo/Generator 26
2. Kuat Arus dalam Rangkaian Tertutup 27
a. Hukum I Kirchoff 28
3. Hukum Ohm 32
4. Hambatan Listrik dalam Suatu Penghantar 34
5. Penghambat Seri dan Paralel 37
a. Penghambat Seri 37
b. Penghambat Paralel 38
6. Sumber Tegangan dalam Rangkaian Tertutup 41
a. Rangkaian Tertutup dengan Satu Sumber Tengangan 41
b. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Seri 41
c. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Paralel 42
d. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Campuran Seri dan Paralel 42
7. Hukum II Kirchoff 45
8. Jembatan Wheatstone 53
F. Energi dan Daya Listrik 55
1. Energi Listrik 55
2. Daya Listrik 57
3. Hukum-hukum Faraday 59
a. Hukum I Faraday 59
b. Hukum II Faraday 59

G. Penerapan Listrik AC dan DC Dalam Kehidupan Sehari-hari 61
1. Pemasangan Jaringan Transmisi Listrik AC di Jalan 61
2. Pengamanan Jaringan Listrik AC dalam Rumah 62
3. Pemakaian Alat-alat Rumah Tangga 63
4. Daya Listrik Sesungguhnya pada Alat Listrik 64
5. Penerapan Hukum Ohm pada Alat Listrik 65
6. Hubungan Antara Joule dengan KWh pada Penggunaan Energi Listrik 66
7. Penerapan Listrik DC dalam Kehidupan Sehari-hari 66

BAB II HUKUM OHM DALAM RANGKAIAN LISTRIK 70
A. Arus Listrik 71
B. Hambatan 74
1. Resistivitas (Hambatan Jenis) 74
2. Resistansi (Hambatan) 74
3. Hukum Ohm 76
4. Nilai Tahanan Resistor 77
C. Rangkaian Seri dan Paralel 80
1. Resistor Tersusun Seri 80
2. Penghambat Tersusun Paralel 80
D. Energi dan Daya Dalam Rangkaian Listrik 84
1. Energi Listrik 84
2. Daya Listrik 84

Daftar Pustaka 90

BAB 1 RANGKAIAN LISTRIK

Buku Ajar ini berbasis model IBMRO. Apa itu IBMRO?
IBMRO adalah model *Investigation Based Multiple Representation Online* atau Investigasi berbasis kemampuan Multi Representasi online. Online artinya buku ini dapat digunakan untuk pembelajaran daring. Model IBMRO memiliki 4 fase utama yaitu: 1. Orientasi; 2. Investigasi; 3. Aplikasi-Multirepresentasi; dan 4. Evaluasi. Model IBMRO merupakan pengembangan dari model IBMR yang telah disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran di era pandemi covid-19, yaitu pembelajaran daring.

Fase Orientasi

Pada bagian ini akan menginformasikan tujuan pembelajaran, menyajikan fenomena /simulasi/melakukan demonstrasi terkait materi fisika yang akan dipelajari. Pada bagian ini akan ada pertanyaan terkait konsep kunci dan meminta mahasiswa untuk membuat dugaan.
Fase ini didukung teori ARCS bahwa agar timbul rasa ingin tahu dan minat terhadap pembelajaran yang akan dilakukan maka pebelajar (mahasiswa) harus menaruh perhatian (Keller, 2010). Fase ini didukung hasil penelitian Rotgans & Schmidt (2011).

Pada materi sebelumnya yaitu Listrik Statis, sudah dijelaskan bahwa elektron-elektron bergerak atau berpindah dari rambut ke penggaris plastik sehingga penggaris tersebut bermuatan negatif. ***Dapatkah Anda menyalakan lampu pijar dengan menempelkan penggaris itu ke lampu pijar?*** Tentu tidak dapat, karena lampu tersebut dapat menyala memerlukan aliran elektron secara terus menerus, dan tidak terputus.

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

Sebagian besar dari kita bergantung pada peralatan listrik untuk membuat hidup kita lebih aman, lebih sehat, lebih mudah, dan lebih nyaman. Lampu lalu lintas, penerangan listrik, *VCD player*, pesawat TV, *tape recorder*, dan alat-alat rumah tangga yang lain seperti *rice cooker*, seterika listrik, mesin cuci, kulkas, dan lain sebagainya, merupakan sebagian kecil dari peralatan listrik tersebut.

Pada Bab ini, Anda akan belajar tentang arus listrik, tegangan, dan hambatan (resistansi) pada rangkaian listrik.

1. ARUS LISTRIK

Dalam pembahasan listrik statik dipelajari tentang partikel yang bermuatan listrik di dalam atom, yaitu elektron dan proton. Elektron adalah pembawa muatan listrik negatif yang dapat digunakan untuk menjelaskan terjadinya arus listrik dan proton pembawa muatan positif (Giancoli, 2008).

Listrik dinamis adalah ilmu yang mempelajari tentang listrik yang mengalir. Pada listrik statik, muatan listrik yang telah dipelajari itu pada umumnya tidak mengalir sama sekali atau kalau ada aliran, maka aliran tersebut berlangsung sangat singkat dan sangat kecil sehingga tak dapat ditunjukkan dengan alat pengukur arus (Ni Putu Trisna Sulistyan, 2022).

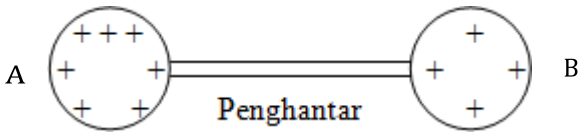
Seperti yang telah kita ketahui bahwa elektron-elektron itu adalah pambawa muatan negatif. Di dalam suatu penghantar elektron-elektron dapat berpindah dengan mudah, sedangkan di dalam suatu isolator elektron-elektron tersebut sukar berpindah (Silfiasyafitri, 2022).

1. Definisi Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik atau muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu (Giancoli, 2008). Arah arus listrik dari dari potensial yang tinggi ke potensial rendah, jadi berlawanan dengan arah aliran electron. Seandainya muatan-muatan positif di dalam suatu penghantar dapat mengalir, maka arah alirannya sama dengan arah arus listrik,yaitu dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Perhatikan Gambar 1.1. !

Representasi Visual



Gambar 1.1. Penghantar yang menghubungkan duabenda berbeda potensial

Representasi Verbal

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

Supaya arus listrik tetap mengalir dari A ke B, maka muatan positif yang telah sampai di B harus dipindahkan kembali ke A. Dengan demikian maka potensial A selalu lebih tinggi daripada B. Jadi dapat disimpulkan bahwa supaya arus listrik dapat mengalir dalam kawat penghantar, maka antara kedua ujung kawat tersebut harus ada beda potensial.

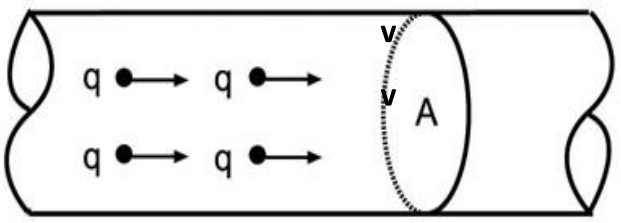
2. Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik ialah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap detik melalui suatu penghantar (Giancoli, 2008). Simbol kuat arus adalah I.

Satuan kuat arus listrik ialah Ampere yang diambil dari nama seorang ilmuwan Perancis yaitu : Andrey Marie Ampere (1775 – 1836). Misalkan bahwa dalam waktu t detik

mengalir muatan listrik sebesar q coulomb dalam suatu penghantar berpenampang A (Gambar 1.2), maka dirumuskan:

Representasi Visual



Gambar 1.2. Muatan listrik q melalui penampang penghantar A tiap satuan waktu

Representasi Matematis

$$I = \frac{q}{t} \; atau \; q = I.t \qquad (1.1)$$

Satuan $I = \frac{Coulumb}{sekon}$ = Ampere (A). Satuan lain untuk kuat arus misalnya miliampere (mA) dan mikroampere (μA), dengan konversi 1 mA = 10^{-3} A dan 1μA = 10^{-6} A.

Sedangkan kuat arus untuk setiap satuan luas penampang dinamakan *kerapatan arus*. Rapat arus dinyatakan dengan:

$$I = \frac{I}{A} \text{ dengan satuan A/m}^2 \qquad (1.2)$$

Jumlah muatan adalah n x elektron-elektron yang berpindah.

Atau $q = n.E$ sehingga berlaku pula $n.e = I.t$ (1.3)

Perhatikan lagi Gambar 1.2. Muatan yang bergerak pada penghantar dengan penampang A (m^2), dan muatan-muatan itu bergerak dengan kecepatan v (m/s). Misalkan dalam setiap satuan volume ada n elektron yang bergerak, dan setiap elektron itu memiliki muatan e = 1,6 x 10^{-19} C, maka dalam setiap selang waktu t elektron-elektron itu menempuh jarak:

$$s = v.t \quad \text{dengan satuan meter.}$$

Sehingga jumlah elektron-elektron itu dalam volume silinder (V = s.A) penghantar berjumlah

$$q = n.e.s.A$$

dimana q dalam Coulumb. Kuat arus listriknya sebesar

$$I = \frac{n.e.v.t.A}{t} = n.e.v.A$$

dimana I dalam Ampere. Sedangkan rapat arusnya adalah

$$J = \frac{I}{A} = \frac{n.e.v.A}{A} = n.e.v$$

dimana J dalam A/m^2

CONTOH SOAL

1. Jika kuat arus dalam sepotong kawat penghantar = 2 ampere, berapakah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penampang kawat penghantar tersebut selama 1menit ?

Penyelesaian

Diketahui :

I = 2 ampere

t = 1 menit = 60 detik

Ditanya:

q =.....?

Jawab:

q = I. t

q = 2 A x 60 detik

q = 120 coulomb

Representasi Matematis

Jadi banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penampang kawat penghantar tersebut selama 1 menit adalah **120 Coulumb**.

Representasi Verbal

2. Sebuah kawat tembaga mempunyai diameter sebesar 1,02 mm. Kawat ini mengangkut sebuah arus konstan sebesar 1,67A ke sebuah lampu. Carilah besarnya kerapatan arus!

Penyelesaian

Diketahui :

d = 1,02 mm

I = 1,67 A

Ditanya:

J =..... ?

Jawab:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1{,}02\ x\ 10^{-3})^2}{4} = 8{,}17\ x10^{-7} m^2$$

maka, $J = \frac{1{,}67}{8{,}17\ x\ 10^{-7}} = 2{,}04\ x\ 10^6$ A/m²

Representasi Matematis

Representasi Verbal

Jadi, besarnya kerapatan arus pada kawat tembaga adalah $2{,}04\ x\ 10^6$ A/m²

2. HAMBATAN

1. Resistivitas (Hambatan Jenis)

Resistivitas ρ dari sebuah material didefinisikan sebagai rasio besarnya medan listrik dan kerapatan arus (David Halliday & Robert Resnick, 1989).

$$\rho = E/J \tag{1.4}$$

Satuan SI dari resistivitas adalah ohm meter (Ω.m). Konduktor yang baik memiliki resistivitas kecil dan isolator yang baik mempunyai resistivitas besar.

Resistivitas ρ meningkat dengan bertambahnya suhu. Untuk perubahan suhu yang kecil, perubahan ini secara aproksimasi dapat dinyatakan oleh:

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha\,(T-T_0)] \tag{1.5}$$

dimana α adalah koefisien suhu resistivitas. Untuk beberapa bahan, dinyatakan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Resistivitas dan koefsien suhu resistivitas bahan dalam suhu kamar (20^0)

Bahan	ρ (Ωm)	α(1/K)
Alumunium	$2{,}8 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Besi	10×10^{-8}	$5{,}0 \times 10^{-3}$
Belerang	1×10^{15}	
Kaca	10^{10}-10^{14}	
Kayu	10^{8}-10^{14}	
Karet	10^{13}-10^{16}	
Karbon	$3{,}5 \times 10^{3}$	$-0{,}5 \times 10^{-3}$
Perak	$1{,}6 \times 10^{-8}$	$3{,}8 \times 10^{-3}$
Tembaga	$1{,}7 \times 10^{-7}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Timah	22×10^{-8}	$4{,}3 \times 10^{-3}$

2. Resistansi (Hambatan)

Ketika "mengalir" dalam suatu kawat konduktor, elektron berhadapan/mengalami rintangan dari molekul-molekul dan ion-ion dalam konduktor tersebut sehingga mengalami aliran arus listrik mengalami semacam hambatan (Viona Permata Sari Eriska, 2022). Seberapa besar hambatan ini dinyatakan dengan resistansi (hambatan) yang disimbolkan dengan R. Satuan dari hambatan dalam SI adalah ohm (Ω). Besarnya resistansi suatu bahan atau konduktor dengan luas penampang A dan panjang l serta hambat-jenis (resistivitas) ρ adalah (Giancoli, 2008):

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{1.6}$$

dengan

R : Hambatan/resistansi (ohm)

ρ : Hambatan jenis/Resistivitas (ohm. Meter)

l : panjang kawat (m)

A : luas penampang kawat (m)

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

$$R(T) = R_0[1 + \alpha\ (T\text{-}T_0)] \qquad (1.7)$$

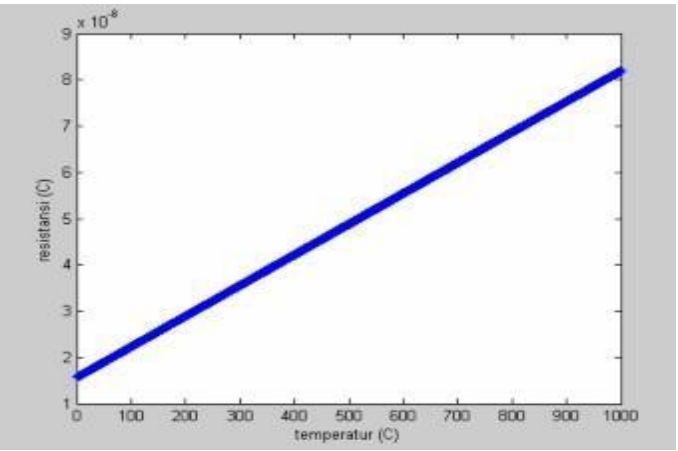
dengan

R : resistansi pada temperatur T

R_0 : resistiansi pada temperatur T_o (temperatur kamar)

Perubahan resistansi terhadap temperatur dapat dilihat pada kurva, pada Gambar 1.3 berikut:

Representasi Visual



Gambar 1.3. Kurva Perubahan Resistansi terhadap Temperatur untuk Bahan Tembaga

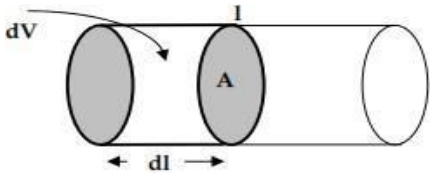
kurva di atas merupakan kurva perubahan resistansi terhadap temperatur untuk bahan tembaga dengan resistansi pada temperatur kamar 1,7 x10-8 Ω dan koefisien temperatur pada temperatur kamar 3,9 x 10^{-3} C^{-1}.

Resistansi suatu bahan akan meningkat dengan naiknya temperatur (Setyaningsih, 2022), dalam hal ini yang terjadi adalah kenaikan temperatur membuat elektron bergerak lebih aktif dan lebih banyak tumbukan yang terjadi sehingga arus listrik menjadi terhambat.

3. Hukum Ohm

George Simon Ohm (1789-1854) merumuskan hubungan antara kuat arus listrik (I), hambatan (R) dan beda potensial (V) yang kemudian dikenal dengan hukum Ohm (Giancoli, 2008).

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



Representasi Visual

Gambar 1.4. Kawat Konduktor dengan Panjang elemen volume *dV*

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

$$dV = A.dl \tag{1.8}$$

karena *dl* adalah jarak yang ditempuh elektron dengan kecepatan *Vd* dengan waktu 1 detik maka:

$$dl = \boldsymbol{v}d.l = \boldsymbol{v}d \tag{1.9}$$

sehingga:

$$dV = A.vd \tag{1.10}$$

sehingga banyaknya muatan yang mengalir pada *dV* adalah:

$$I = A.vd.n.q_e \tag{1.11}$$

maka diperoleh:

$$I = \left(\frac{q_e^2 \tau.n}{m_e}\right) AE \tag{1.12}$$

yang berada dalam kurung pada persamaan (1.12) merupakan sifat bahan dan sering disebut konduktivitas σ, sehingga:

$$I = \sigma AE$$

$$I = \frac{\sigma AV}{l} = \frac{V}{\left(\frac{\rho l}{A}\right)} \tag{1.13}$$

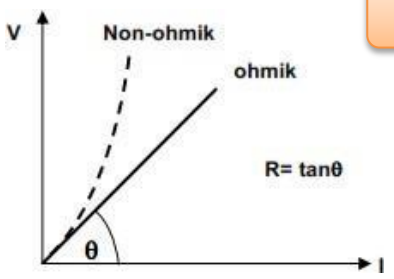
bagian di dalam kurung dari persamaan (1.13) kita ketahui sebagai R (resistansi),sehingga:

$$I = \frac{V}{R} \tag{1.14}$$

Ini merupakan hukum Ohm. Jika persamaan (1.14) dinyatakan dalam *V = I R,* kemudian disketsa dalam grafik, hasilnya nampak bahwa kurva berupa garis lurus dengan gradien menunjukkan nilai dari R. Sifat material yang menunjukkan kurva V-I berbentuk garis lurus seperti Gambar 5. disebut materal ohmik. Selain material Ohmik ada juga material non ohmik di mana hambatan R bergantuk juga pada arus listrik I dan jika diplot dalam

gravik terhadap I tidak lagi linier.

Representasi Visual



Gambar 1.5. Kurva Linier Hambatan Ohmik dan non-Ohmik

Fase Investigasi

FASE INVESTIGASI
Pada bagian ini, mahasiswa melakukan investigasi terkait dengan fenomena/ simulasi/ demonstrasi fisika menggunakan panduan LKM yang telah disediakan.
Fase investigasi didukung teori belajar konstruktivistik, yaitu individu membangun pengetahuan dalam pikirannya (konstruktivis kognitif), dan individu berinteraksi dengan individu lainnya untuk membangun pengetahuan (konstruktivis sosial) (Moreno, 2010)

Ayo Berkegiatan!

Untuk lebih memahami hukum ohm, lakukan kegiatan dengan menggunakan Lembar Kegiatan Mahasiswa (LKM-01)

LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA-01 (LKM-01)

Nama: 1. ..... 2. ..... 3. ..... 4.	Kelas : ..... Hari, tanggal:.....

LKM 01- HUKUM OHM

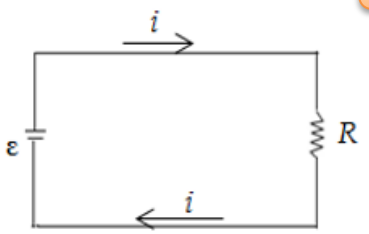
INDIKATOR

1. Membuat grafik hubungan antara kuat arus listrik dan tegangan berdasarkan data hasil percobaan (representasi grafik)
2. Menjelaskan hubungan antara kuat arus dan tegangan dengan kalimat sendiri (representasi verbal)
3. Memformulasikan hubungan antara kuat arus listrik, tegangan, dan resistansi pada suatu rangkaian listrik (representasi matematika).
4. Memecahkan masalah hubungan antara kuat arus listrik, tegangan, dan resistansi pada rangkaian listrik.

ORIENTASI PADA FENOMENA FISIKA

Representasi Visual

Perhatikan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram rangkaian listrik

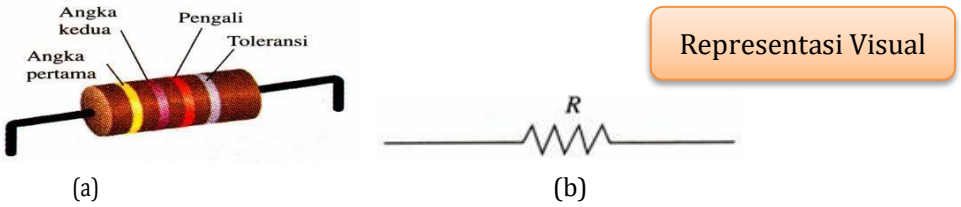
Rangkaian listrik yang dihubungkan dengan sumber tegangan yang dapat divariasi. Jika tegangan diperbesar, bagaimana dengan kuat arusnya? Bagaimana dengan besar resistansinya?

INVESTIGASI

1. Hipotesis (dugaan sementara)

4. Nilai Tahanan Resistor

Sebuah komponen rangkaian yang dibuat memiliki nilai hambatan spesifik di antara ujung-ujungnya disebut resistor. Besarnya nilai tahanan resistor biasanya ditunjukan oleh cincin-cincin warna yang terdapat pada badan resistor tersebut (Valendio Febriano, 2022) (Fuada, 2022), pada umumnya sebuah resistor memiliki 4 cincin warna. Gambar dan simbol resistor ditunjukkan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6. (a) Cincin warna resistor, (b) simbol resistor dalam rangkaian

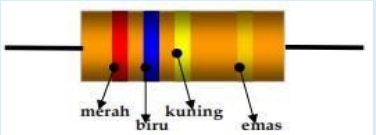
Warna-warna tersebut adalah kode-kode yang manunjukan besaran-besaran tertentu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Kode Warna Resistor

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

CARA MEMBACA NILAI TAHANAN RESISTOR

Resistor dengan cincin warna sebagai berikut :

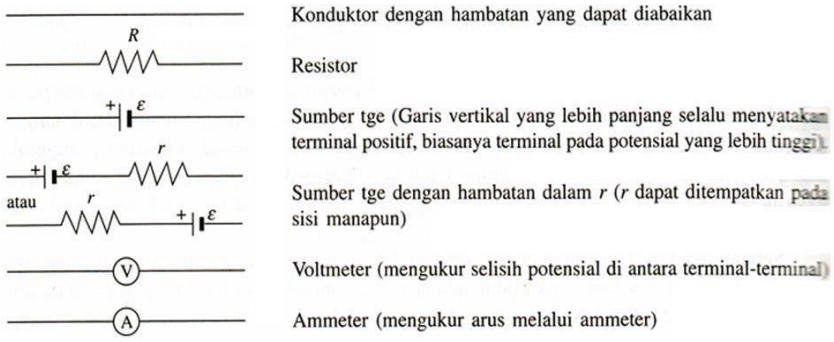


Cincin-1 : merah benilai 2
Cincin-2 : biru bernilai 6
Cincin-3 : kuning bernilai 10000
Cincin-4 : emas bernilai 5 %

Sehingga nilai dari resistor tersebut adalah : 620000 ± 5%

B. TEGANGAN GERAK ELEKTRIK

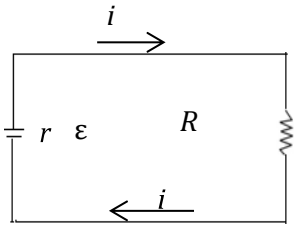
Di sekitar kita terdapat alat-alat seperti baterai dan generator listrik yang mampu untuk memepertahankan perbedaan potensial di antara dua titik di mana baterai dan generator listrik tersebut dihubungkan. Sebuah rangkaian lengkap yang mengangkut arus kontinu harus mengandung sebuah sumber tegangan gerak elektrik (tge, dengan simbol: ε) (David Halliday & Robert Resnick, 1989). Satuan SI dari tegangan gerak elektrik adalah volt (V). Sebuah sumber tge mempertahankan selisih potensial yang konstan dan mempunyai suatu hambatan dalam (r). Gambar 1.7 merupakan simbol-simbol diagram beberapa komponen dan alat yang digunakan untuk menggambar rangkaian.



Gambar 1.7. Simbol-simbol Diagram Komponen dan Alat Listrik

Aplikasi-Multirepresentasi
Menggunakan simbol diagram upaya untuk meningkatkan kemampuan multi representasi eksternal mahasiswa.
Mahasiswa akan dapat membuat dan mengubah representasi satu ke yang lain, serta mendapatkan pemahaman konsep.

Gambar 8 memperlihatkan tge pada sebuah rangkaian yang dihubungkan dengan baterai.



Gambar 8. Rangkaian Listrik Sederhana

Pada waktu tertentu maka arus yang mengalir adalah:

$$i = \frac{s}{R + r} \qquad (1.15)$$

C. ENERGI DAN DAYA DALAM RANGKAIAN LISTRIK

Energi Sebuah elemen rangkaian dengan selisih potensial V_{ab} dan arus I memberi energi ke dalam sebuah rangkaian jika arah arus adalah dari potensial yang lebih rendah ke potensial yang lebih tinggi dalam alat itu, dan mengambil energi ke luar dari rangkaian itu jika arus itu berada dalam arah yang berlawanan. Daya P (laju transfer energi) diberikan oleh:

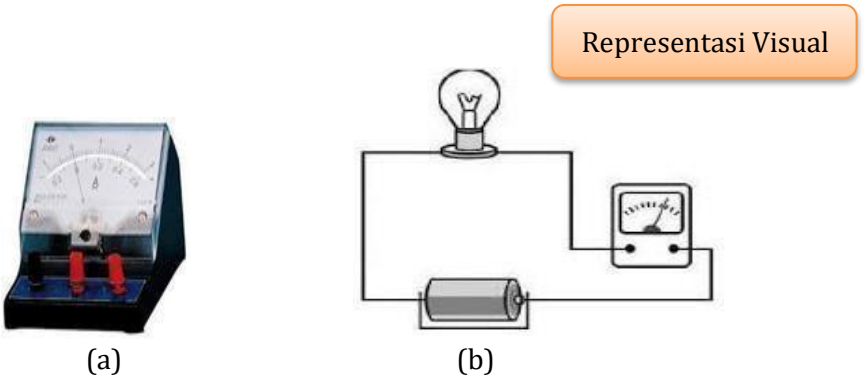
$$P = V_{ab}I \tag{1.16}$$

Sebuah hambatan R selalu mengambil energi listrik keluar dari sebuah rangkaian, yang mengkonversikannya menjadi energi termal dengan laju yang diberikan oleh

$$P = V_{ab}l = I^2R = \frac{V_{ab}^2}{R} \tag{1.17}$$

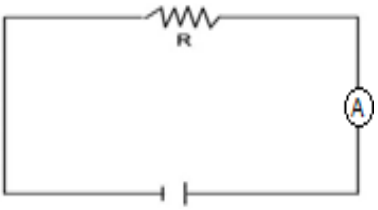
==========

Untuk mengukur kuat arus digunakan suatu alat yang disebut amperemeter. Ampermeter terdiri dari galvanometer yang dihubungkan paralel dengan resistor yang mempunyai hambatan rendah. Tujuannya adalah untuk menaikan batas ukur ampermeter. Hasil pengukuran akan dapat terbaca pada skala yang ada pada ampermeter.

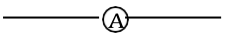


Gambar 1.9. (a) Amperemeter, (b) Rangkain untuk mengukur kuat arus listrik

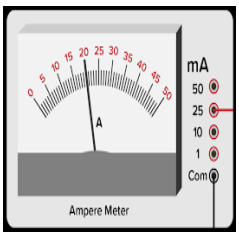
Amperemeter ini dipasang secara seri sehingga arus yang hendak diukur kekuatannya mengalir melalui amperemeter. Berdasarkan Gambar 1.9 (b), dapat dibuat skema rangkaian seperti pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10. Skema rangkain mengukur arus listrik

Simbol amperemeter : 

Dengan memutus salah satu penghantar dan menghubungkannya dengan amperemeter dapat diukur kuat arus yang mengalir. Pemasangan alat semacam itu disebut secara seri.



Gambar 1.11.
Membaca amperemeter

Cara membaca amperemeter: Misalnya menggunakan batas ukur 1A, pada skala tertulis angka dari 0 sampai dengan 50. Pada saat jarum amperemeter menunjuk angka 50 berarti kuat arus yang mengalir hanya 1A. Jika menunjukkan angka 20 berarti kuat arus yang mengalir 0,4 A. Pembacaan skala amperemeter untuk pengukuran besar kuat arus yang mengalir dalam suatu rangkaian adalah sebagai berikut :

Representasi Visual

$$Besar\ kuat\ arus = \frac{Skala\ yang\ ditunjuk}{Skala\ maksimum} x Batas\ ukur$$

Representasi Matematis

Representasi Verbal

Contoh :

1. Jika sebuah kawat penghantar listrik dialiri muatan listrik sebesar 360 coulomb dalam waktu 1 menit, tentukan kuat arus listrik yang melintasi kawat penghantar tersebut !

   Penyelesaian

   Diketahui :

   q = 360 coulomb

   t = 1 menit = 60 detik

   Ditanya:

   I =..... ?

   Jawab:

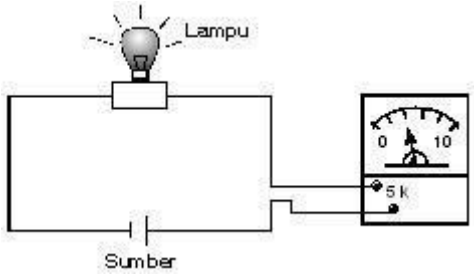
   $$I = \frac{q}{t} = \frac{360}{60} = 6A$$

   Representasi Matematis

   Jadi, besar kuat arus yang melintasi penghantar adalah 6 A.

   Representasi Verbal

2. Berapa kuat arus yang mengalir pada rangkaian berikut ini?



Representasi Visual

Diketahui: skala maksimum = 10

Batas ukur = 5 A

Ditanya: I hasil pengamatan?

Jawab: $I = \frac{4}{10} \times 5A$

$= 2\ A$

Representasi Matematis

Jadi besar kuat arus listrik adalah 2 A.

Representasi Verbal

3. Sebuah amperemeter yang mempunyai batas ukur maksimum I_A ampere dan hambatan dalam amperemeter R_A Ohm, supaya dapat dipakai untuk mengukur arus yang kuat arusnya I = n x I_A ampere harus dipasang shunt sebesar :

$$R_{Sh} = \frac{1}{n-1} R_A$$

4. Suatu amperemeter mempunyai hambatan dalam 4 ohm, hanya mampu mengukur sampai 5 mA. Amperemeter tersebut akan digunakan untuk mengukur arus listrik yang besarnya mencapai 10 A. Tentukan besar hambatan shunt yang harus dipasang secara paralel pada amperemeter.

PENYELESAIAN:

Diketahui :

$I_A = 5\ mA = 5.10^{-3}\ A$

$I = 10\ A$

$R_A = 20\,\Omega$

Ditanya :

$R_{sh} = \ldots?$

Jawab :

$I = n \times I_A$

$10 = n \,.\, 5.10^{-3}$

$n = 2000$

$$R_{sh} = \frac{1}{n-1} R_a$$

$$= \frac{1}{2000-1} \cdot 4$$

$$= 2.\,10^{-3}\Omega$$

Jadi, besar hambatan shunt yang harus dipasang secara paralel pada amperemeter $2.\,10^{-3}\Omega$

Representasi Matematis

Representasi Verbal

Fase Aplikasi Multi-representasi

Fase Aplikasi-Multirepresentasi juga membantu mahasiswa untuk menggunakan simbol-simbol dalam pemecahan masalah. Secara empirik, fase **Aplikasi-Multirepresentasi** didukung hasil penelitian Ainsworth (1999), bahwa multi representasi sangat terkait dan diperlukan untuk membangun kemampuan mengembangkan konsep dan metode ilmiah

Latihan

Kerjakan soal-soal berikut ini di buku latihanmu!

1. Arus sebesar 5 Ampere mengalir dalam penghantar metal, berapa coulomb besar muatan q yang berpindah selama 1 menit ?
2. Berapa besar kuat arus listrik yang memindahkan muatan 30 coulomb melalui sebuah penghantar tiap menit ?
3. Di dalam penghantar kawat yang penampangnya 1 mm^2 terdapat 3.10^{21} elektron bebas per m^3 . Berapa kecepatan elektron-elektron tersebut, jika dialiri listrik dengan kuat arus 12 ampere. Berapa kuat arusnya ?

Fase Evaluasi

Fase Ke-4 adalah Evaluasi yaitu mengevaluasi proses dan hasil pemecahan masalah yang telah diberikan.
didukung teori *self regulated learning*, bahwa kemampuan seseorang untuk mengontrol semua aspek pembelajarannya sendiri, dari perencanaan awal sampai mengevaluasi kinerjanya yang dicapainya (Moreno, 2010) dan dukungan empirik hasil penelitian Zimmerman & Schunk (2012)

1. Potensial Listrik

Untuk mengalirkan muatan listrik dari katoda ke anoda membentuk siklus yang tiada henti sumber tegangan harus mengeluarkan energi. Energi ini diperlukan untuk gerakan muatan-muatan listrik, terindikasi dengan nyala lampu yang dipasangkan. Nyala lampu terjadi karena muatan-muatan listrik menimbulkan energi kalor ketika melalui kawat filament lamp.

Gambar 1.12. Lampu pijar pertama kali buatan Thomas Alva Edison

Banyaknya energi yang dikeluarkan oleh sumber tegangan tersebut bergantung pada banyaknya muatan listrik yang dipindahkan. Makin besar muatan yang dipindahkan, makin besar energi yang harus dikeluarkan.

Beda potensial antara kutub-kutub sumber tegangan pada saat sumber tegangan itu belum mengalirkan arus dinamakan gaya gerak listrik (ggl) yang diberi symbol ε. Satuan ggl adalah volt (V). Beda potensial antara titik A dan B di luar sumber tegangan disebut tegangan jepit atau tegangan terpakai, dinyatakan dengan simbol V_{AB}. Satuan beda potensial ialah volt. Konversi lain yang sering dipakai adalah satuan milivolt (mV).

Dimana 1 mV = 10^{-3} volt.

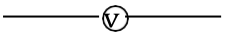
Dua titik mempunyai beda potensial 1 volt, bila sumber arus mengeluarkan energi sebesar 1 joule untuk setiap coulnmb muatan yang dipindahkannya A ke B.

Jika energi yang dikeluarkan sumber tegangan = Wjoule, muatan yang dipindahkan dari A ke B = q coulomb, maka beda potensial antara A dan B =

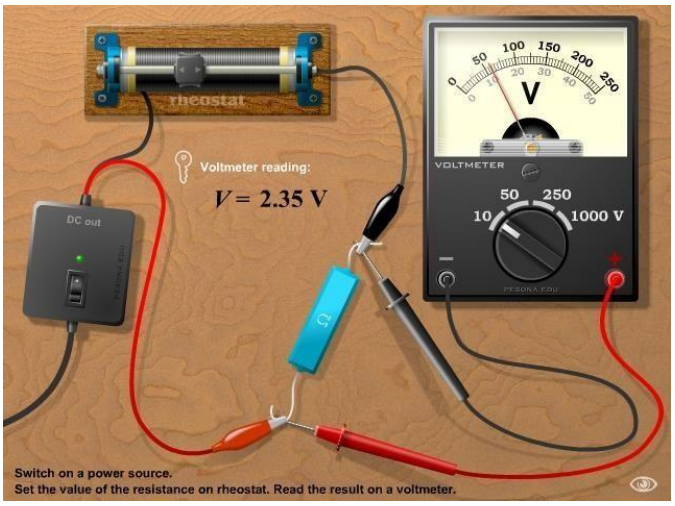
$$V_{AB} = \frac{W}{q}$$

dimana, V dalam volt. Jadi, $1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulumb}}$

Untuk mengukur ggl suatu sumber tegangan atau beda potensial dua titik menggunakan alat voltmeter atau multimeter/AVO meter, dengan cara menghubungkan kedua pencolok alat ukur listrik itu ke katoda dan anoda. Ingat jangan terbalik kutub-kutubnya. Pencolok merah (+) ke anoda dan pencolok hitam (-) ke katoda.

Simbol dari volt meter : 

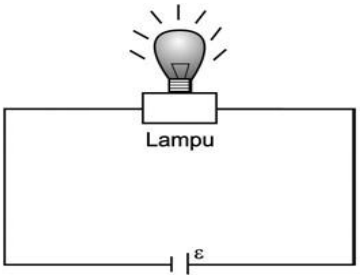
Untuk mengukur besar ggl atau beda potensial dengan menggunakan volt meter atau multimeter yang saklarnya ditunjukkan pada tulisan DC V atau AC V, dan juga dapat menggunakan basicmeter yang dirangkai dengan multiplayer.



Representasi Visual

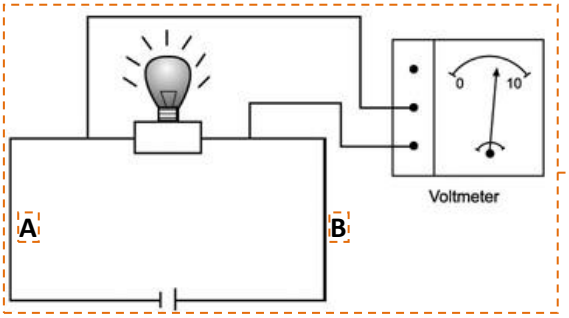
Gambar. 1.13. Merangkai votmeter pada pengukuran beda potensial suatu hambatan

Misalkan terdapat suatu rangkaian sederhana terdiri sumber tegangan searah, lampu pijar dan kabel-kabel penghubung seperti pada Gambar 1.14 berikut ini. Dengan menggunakan voltmeter akan diukur beda potensial di ujung-ujung lampu. Menggunakan voltmeter berbeda dengan menggunakan ampermeter, dalam menggunakan voltmeter harus dipasang paralel pada kedua ujung yang akan dicari beda tegangannya.



Gambar 1.14. Sebuah rangkaian listrik sederhana

Perlu diingat bahwa dalam mengukur tegangan jepit, volt meter harus dipasang paralel dengan sumber tegangan dan alat tersebut tidak mengukur potensial A maupun potensial B, tetapi volt meter hanya mengukur beda atau selisih potensial antara titik A dan titik B (Dohar Sinabutar, 2019).

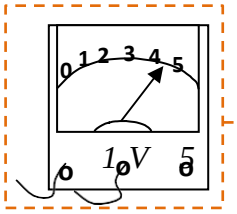


Representasi Verbal

Representasi Visual

Gambar 1.15. Cara merangkai voltmeter secara paralel dengan menghubungkan dua kabel dari voltmeter ke ujung-ujung lampu di titik A dan B

Cara pembacaan skala votmeter pada saat digunakan untuk pengukuran ggl atau beda potensial dalam suatu rangkaian adalah sebagai berikut :



Gambar 1.16. Pembacaan voltmeter

Pembacaan voltmeter pada Gambar 1.16 menunjukkan skala = 4,5 dan skala maksimum = 5, serta batas ukur 1 V. Besar beda potensial = 4,5/5 x 1 V = 0,9 V.

Representasi Visual

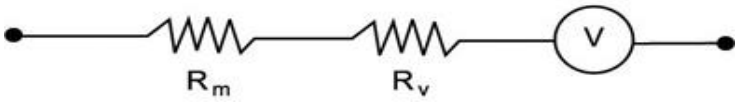
Representasi Verbal

Hasil pengukuran ggl atau beda potensial dibaca dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Besar tegangan} = \frac{\text{skala}}{\text{skala maksimum}} \text{ x batas ukur}$$

Representasi Matematis

Untuk mengukur beda potensial yang melebihi batas ukurnya, berarti beda potensial yang diukur lebih besar dari kemampuan alat ukur. Sehingga harus diperbesar batas ukurnya (V_v) dengan memasang hambatan depan/muka seri dengan voltmeter yang memiliki hambatan dalam R_v.

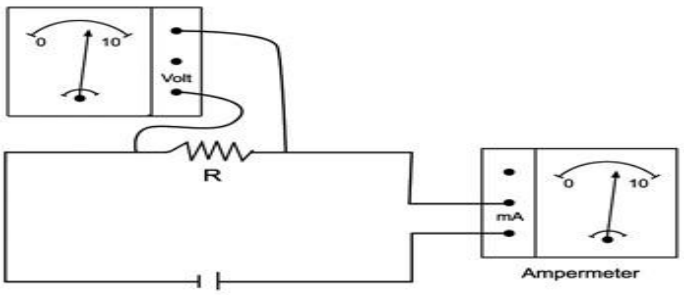


Gambar 1.17. Pemasangan hambatan muka/depan harus secara seri denganvoltmeter.

Untuk mengukur beda potensial V = n x V_v (batas ukur maksimumnya), harus dipasang hambatan depan (R_m). Besar hambatan muka yang dipasang pada Voltmeter tersebut adalah:

$$R_m = (n - 1)\ R_v$$

Untuk memasang amperemeter dan voltmeter sekaligus di dalam sebuah rangkaian , harus tetap mengingat bahwa amperemeter harus terpasang seri dan voltmeter harus terpasang paralel. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 1.18. Cara pemasangan amperemeter dan voltmeter dalam sebuah rangkaian secara bersaman.

Contoh:

Sebuah voltmeter mempunyai hambatan dalam 3 kΩ, dapat mengukur tegangan maksimal 5 volt. Jika ingin memperbesar batas ukur voltmeter menjadi 100 volt, tentukan hambatan muka yang harus dipasang secara seri pada voltmeter.

Penyelesaian:

Diketahui :

$R_V = 3\ k\Omega$

$V_V = 5\ V$

$V = 100\ V$

Ditanya :

$R_m = ...?$

Jawab :

$V = n \times V_V$

$100 = n \,.\, 5.$

$n = 20$

$R_m = (n - 1)\ R_v$

$= (20 - 1) \,.\, 3$

$= 57\ k\Omega$

Representasi Matematis

Representasi Verbal

Jadi, hambatan muka yang harus dipasang secara seri pada voltmeter adalah 57 kΩ

Agar kamu lebih terampil menggunakan alat-alat ukur listrik seperti amperemeter atau voltmeter, lakukanlah percobaan berikut ini.

Kegiatan Percobaan Mandiri

Tujuan :

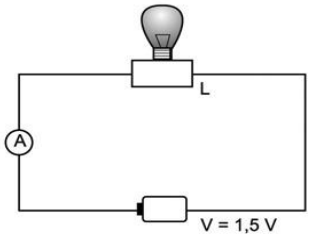
Pengukuran kuat arus listrik.

Alat dan Bahan :

a. bola lampu senter 1 buah
b. amperemeter
c. 1 buah batu baterai 1,5 V
d. kabel penghubung kira-kira 30 cm

Petunjuk Teknis:

1. Rangkaian alat seperti pada gambar di bawah ini.

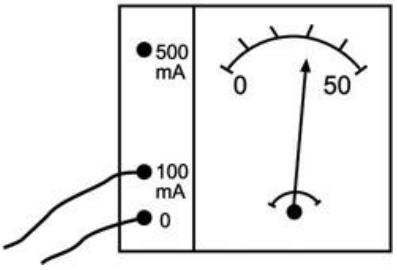


2. Perhatikan, apakah lampu menyala? Dan apakah jarum amperemeter bergerak menyimpang.
3. Coba lepaskan salah satu kabel penghubung pada lampu, apa yang Kamulihat?
4. Sambungkan lagi kabel yang kamu lepaskan dan perhatikan alat ukur kuat arus (amperemeter), apa yang terjadi?
   Buatlah kesimpulan dari percobaanmu!

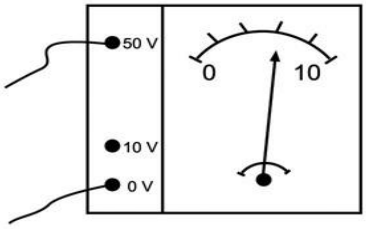
Latihan

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut di buku latihanmu!

1. Tentukan hasil pengamatan yang ditunjukkan oleh amperemeter berikut ini!



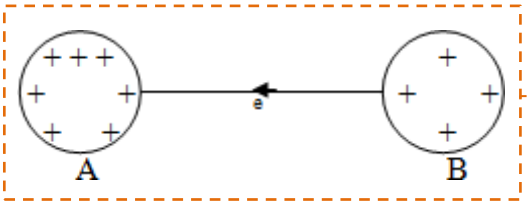
2. Tentukan hasil pengamatan yang ditunjukkan oleh voltmeter berikut ini!



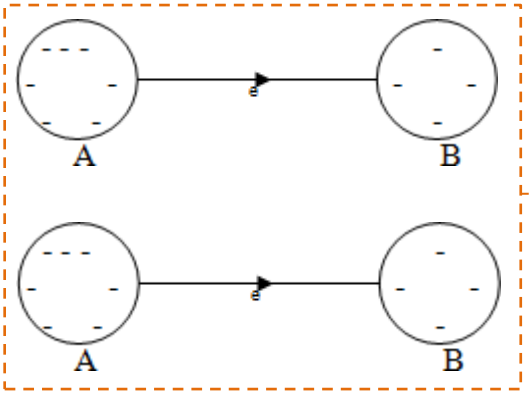
3. Suatu ampermeter mempunyai hambatan dalam 2 ohm, hanya mampu mengukur sampai 10 mA. Ampermeter tersebut akan digunakan untuk mengukur arus listrik yang mencapai 10 A. Tentukan besar hambatan shunt yang harus di pasang secara paralel pada amperemeter!

D. RANGKAIAN LISTRIK ARUS SEARAH

Telah diketahui bahwa bila dua buah benda yang memiliki potensial listrik berbeda berinteraksi, potensial listrik dari dua buah benda tersebut dapat dibandingkan mana yang memiliki potensial tinggi dan mana yang memiliki potensial rendah (David Halliday & Robert Resnick, 1989).



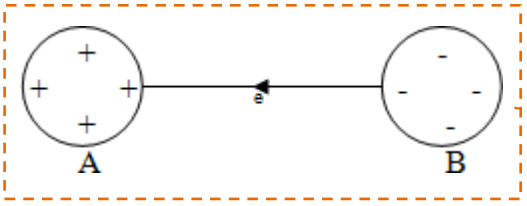
Benda A mempunyai potensial listrik lebih tinggi dari pada B



Representasi Visual

Representasi Verbal

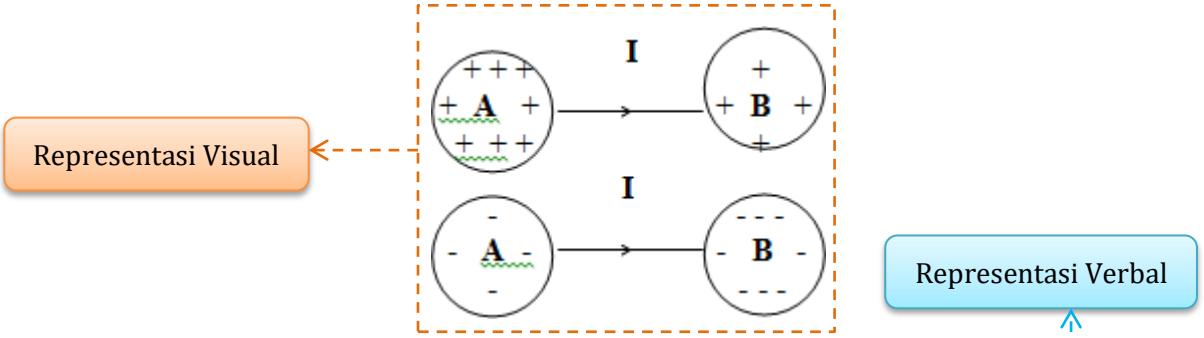
Benda A mempunyai potensial listrik lebih rendah dari pada B



Benda A mempunyai potensial listrik lebih tinggi dari pada B.

Arah elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi, karena benda yang berpotensial rendah berarti mengandung lebih banyak elektron dibanding benda yang berpotensial tinggi.

Di dalam sebuah penghantar bila terdapat beda potensial, maka terjadilah aliran elektron yang arahnya dari potensial rendah ke potensial tinggi. Bila muatan positif dianggap dapat bergerak, maka muatan positif akan bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah. Aliran muatan positif itulah yang dinamakan arus listrik. Sehingga dapat dikatakan bahwa arah arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah atau arah arus listrik berlawanan dengan arah aliran elektron. Arah aliran listrik dua buah benda yang bermuatan listrik dapat dilihat seperti gambar berikut :

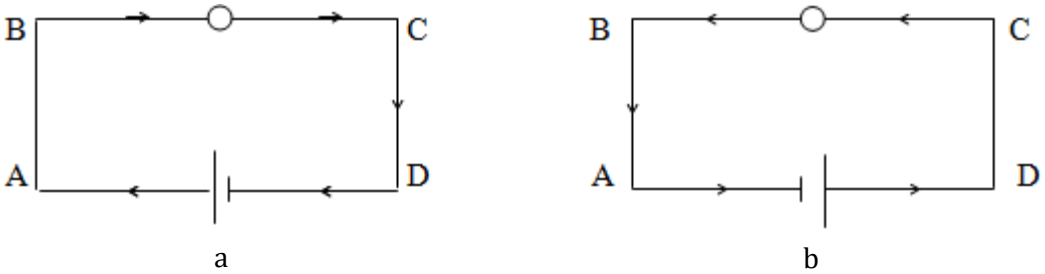


Gambar 1.19. Benda A mempunyai potensial lebih tinggi dari benda B, sehingga arah arus listrik mengalir dari A ke B

Dua buah benda bermuatan masing-masing A dan B dihubungkan dengan sebuah penghantar. Bila benda A lebih tinggi dari pada potensialnya dari pada benda B, maka elektron akan mengalir dari B ke A. Aliran ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat. Setelah potensial A sama dengan potensial B maka elektron berhenti mengalir, karena telah tercapai keseimbangan potensial.

Supaya elektron tetap mengalir dari A ke B, maka elektron yang telah sampai di B harus dipindahkan kembali ke A. Dengan demikian maka potensial A selalu lebih tinggi daripada B. Jadi dapat disimpulkan bahwa supaya elektron dapat mengalir dalam kawat penghantar, maka antara kedua ujung kawat tersebut harus ada beda potensial. Supaya aliran elektron ini dapat berlangsung dalam waktu lama beda potensial kedua ujung penghantar tidak sama dengan nol.

Untuk mengetahui arah arus listrik dan arah aliran elektron dalam suatu rangkaian listrik tertutup (loop) dapat dilihat seperti gambar berikut :



a b

Gambar 1.20. a. Arah arus listrik: A-B-C-D; b. Arah aliran elektron: D-C-B-A

Supaya arus listrik dapat mengalir dalam kawat penghantar, maka antara kedua ujung kawat tersebut harus ada beda potensial. Alat yang dapat membuat suatu titik agar potensialnya selalu lebih tinggi dari pada potensial titik lainnya disebut sumber tegangan.

Contoh-contoh sumber tegangan : dinamo, generator, baterai, akki, stop kontak dan lain-lain. Menurut pemakaiannya sumber tegangan digolongkan menjadi tiga yaitu,

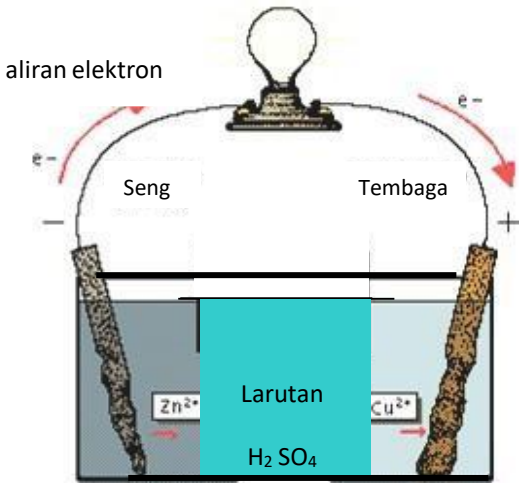
1. sumber arus listrik primer seperti baterai (elemen Leclanche), elemen volta, elemen Daniel, dan lain-lain, yang apabila telah tercapai keseimbangan potensial tidak dapat diisi potensial kembali karena terjadi perubahan atau kerusakan satu atau beberapa komponen di dalamnya.
2. sumber arus listrik sekunder seperti (accumulator, elemen alkaline (energizer), dan lain-lain, yang apabila telah tercapai keseimbangan potensial dapat diisi potensial kembali dengan cara diestrum listrik.
3. sumber arus listrik mekanis seperti generator, dynamo, stop kontak dari PLN.

Kutub-kutub sumber tegangan sebelum mengalirkan arus disebut gaya gerak listrik (ggl) atau *electromotive force (emf)*, sedangkan kutub-kutub sumber tegangan selama mengalirkan arus disebut beda potensial atau tegangan jepit. Atau dengan istilah lain, beda potensial antara kutub positif dan kutub negatif dalam keadaan terbuka disebut gaya gerak listrik dan dalam keadaan tertutup disebut tegangan jepit. Dalam hal ini ggl nilainya selalu lebih besar daripada tegangan listrik.

1. Sumber Tegangan

a. Elemen Volta

Elemen Volta, ditemukan oleh Alessandro Volta (1745-1827) ilmuwan dari Italia. Elemen Volta yang paling sederhana ini terdiri dari sebuah bejana kaca yang berisi asam sulfat encer. Sebuah lempeng tembaga (Cu) dan sebuah lempeng seng (Zn) dicelupkan ke dalam larutan tersebut. Bila lempeng tembaga dan lempeng seng tersebut dihubungkan dengan kawat penghantar maka akan ada arus yang mengalir sepanjang penghantar tersebut. Ini terbukti dengan menyalanya lampu yang dipasang pada penghantar tersebut. Hal ini juga membuktikan bahwa antara tembaga dan seng terdapat beda potensial.

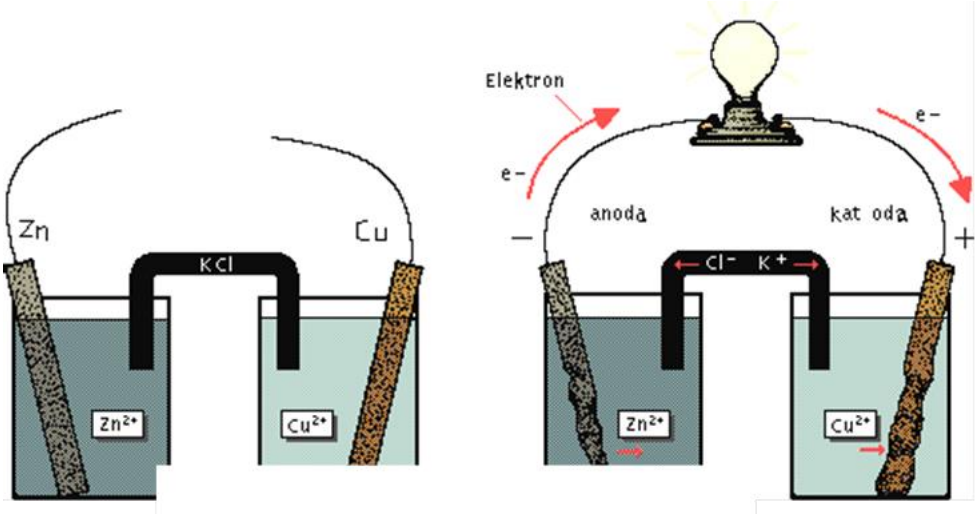


Gambar 1.21. Penampang elemen Volta

Beda potensial antara seng dan tembaga sebesar 1,5 volt. Namun beda potensial ini tidak dapat bertahan dalam waktu lama karena pada seng mengalami pelepasan ion-ion Zn^{2+} yang bergabung dengan ion SO_4^{2-} dan menyebabkan plat seng menjadi korosif dan lama kelamaan habis. Selain itu terjadi peristiwa polarisasi pada tembaga, yaitu tertutupnya permukaan tembaga yang tercelup oleh gelembung-gelembung gas H_2 yang berasal dari ion-ion H+ yang bergerak menuju plat tembaga untuk mengambil elektron.

Di dalam praktek, elemen volta ini jarang digunakan sebab kurang praktis. Elemen Volta ini tidak dapat mengalirkan arus yang lama sebab dalam reaksi kimia tersebut terjadi gelembung-gelembung gas hidrogen yang menempel pada tembaga dan menghambat arus listrik yang mengalir.

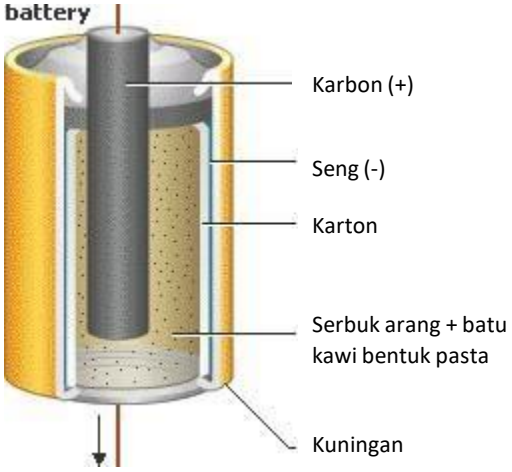
Pada perkembangannya elemen volta disempurnakan dengan menambahkan jembatan garam KCl. Namun secara keseluruhan elemen Volta ini mengandung kelemahan yaitu kurang praktis.



Gambar 1.22. Aliran elektron dari elemen Volta

b. Elemen Kering/ Baterai

Elemen Kering atau baterai atau elemen Leclanche kering merupakan penyempurnaan elemen Leclanche basah, terdiri dari sebuah bejana seng yang bagian dalamnya dilapisi dengan kertas karton dan berisi campuran salmiak, serbuk arang dan batu kawi yang berbentuk pasta.



Gambar 1.23. Elemen Kering

Batang arang ini mempunyai potensial yang lebih tinggi dari pada seng. Kutub positif elemen kering ini adalah batang arang (C), sedangkan kutub negatifnya adalah seng (Zn). Potensial kutub positif ini lebih tinggi daripada potensial kutub negatif.

GGL yang diperoleh standar tiap baterai atau sel adalah 1,5 volt. Bila dua baterai kita serikan berarti memperoleh ggl 3 volt. Seperti elemen Volta elemen kering termasuk elemen kimiawi yaitu mengubah energi kimia menjadi energi listrik, Elemen Leclanche kering ini trermasuk elemen primer sehingga apabila potensialnya habis, sudah tidak dapat digunakan lagi. Untuk mengatasi kelemahan itu diciptakan baterai yang dapat disetrum lagi seperti baterai alkali atau baterai nikel-besi yang dikembangkan oleh Thomas Alva Edison tahun 1900, energizer dan lain-lain yang termasuk elemen sekunder.

c. Sel Bikromat

Banyaknya penemuan sumber tegangan yang menggunakan berbagai plat katoda dan anoda untuk mengatasi kelemahan sel Volta dan sel Leclanche kering, misalnya

- sel oksida mercuri-seng (katoda = seng, anoda = oksida mercuri) dengan larutan elektrolit potassium hidroksida yang menghasilkan ggl = 1,34 volt
- sel nikel-besi atau baterai Edison (katoda = besi, anoda= oksida nikel, elektrolit potassium hidroksida) menghasilkan ggl = 1,15 volt
- sel nikel-cadmium atau baterai cadmium (katoda = cadmium, anoda = oksida nikel, elektrolit potassium hidroksida) dengan ggl = 1,15 volt; baterai ini menyempurnakan baterai Edison.
- Dan masih banyak lagi

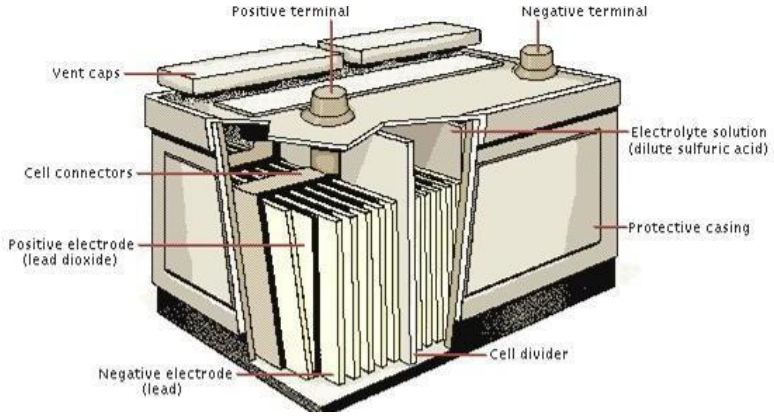
Namun demikian kekhawatiran terhadap bahan beracun dari elektrolit yang dipakai mendorong ditemukannya sel bikromat.

Gambar 1.24. Sel Bikromat

Sel Bikromat dikembangkan pada tahun 1850, berisi plat elektroda dari seng (katoda) dan karbon (anoda) dalam tabung kaca yang berisi asam kromit, sel ini lebih aman penggunaannya daripada sel yang menggunakan asam nitrat atau potassium hidroksida karena beracun.

d. Akki (Accumulator)

Akki (accumulator), akki terdiri dari sebuah bak kecil yang terbuat dari karet keras atau kaca yang berisi larutan asam sulfat encer. Di dalamnya terdapat dua kerangka P (positif) dan N (negatif) terbuat dari timbal (Pb) yang berlubang-lubang berbentuk segiempat. Lubang-lubang kerangka P diisi dengan timbal peroksida (PbO_2) yang berupa lapisan berpori. Kerangka P ini berwarna coklat dan merupakan kutub positif akki. Kerangka N berisi lapisan timbal berpori (Pb), warnanya abu-abu dan merupakan kutub negatif akki. Ggl yang dihasilkan kedua kutub ini besarnya sekitar 2 volt.



Gambar 1.25. Accumulator

Bila akki mengalirkan arus listrik, maka lapisan timbal dan timbal peroksida keduanya berubah sedikit demi sedikit menjadi timbal sulfat ($PbSO_4$), sehingga kemampuan akki untuk mengalirkan arus listrik menjadi berkurang. Untuk memulihkan kembali kemampuan akki ini, maka akki harus "diisi" kembali dengan cara menyetrumnya, yaitu dengan jalan mengalirkan arus searah dari sumber arus, dengan arah yang bertentangan dengan arah arus yang dialirkan oleh aki tersebut. Karena aliran listrik ini, timbal sulfat berubah menjadi timbal dan timbal peroksida kembali.

Dalam pemakaian elemen Volta, elemen kering, maupun akki terjadi perubahan bentuk energi dari energi kimia menjadi energi listrik. Sedangkan dalam pengisian akki terjadi perubahan bentuk energi yaitu dari energi listrik menjadi energi kimia.

e. Dinamo/ Generator

Dinamo, terdiri dari sebuah magnet dan sebuah kumparan (gulungan kawat penghantar) yang dapat berputar di antara kutub-kutub magnet tersebut. Bila kumparan tersebut berputar, maka terjadi beda potensial pada kedua ujung-ujung kawat kumparan. Dalam teknis prakteknya dapat diubah magnet yang berputar dan kumparan yang diam. Generator adalah dinamo yang berukuran besar. Prinsip kerja dinamo atau generator menggunakan induksi elektromagnetik yaitu terjadi perubahan garis-garis medan magnet tiap satuan waktu yang melalui kumparan kawat

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

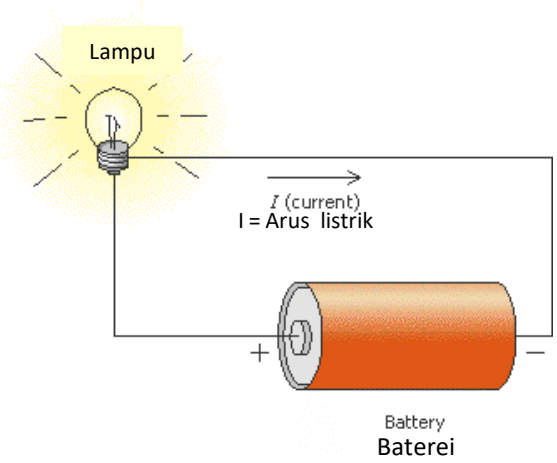
dimana ε adalah ggl yang dihasilkan kedua ujung kumparan generator, N adalah jumlah lilitan kawat kumparan, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ adalah perubahan fluks magnet tiap satuan waktu.

Dinamo ini berfungsi untuk mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik.

Gambar 1.26. Generator

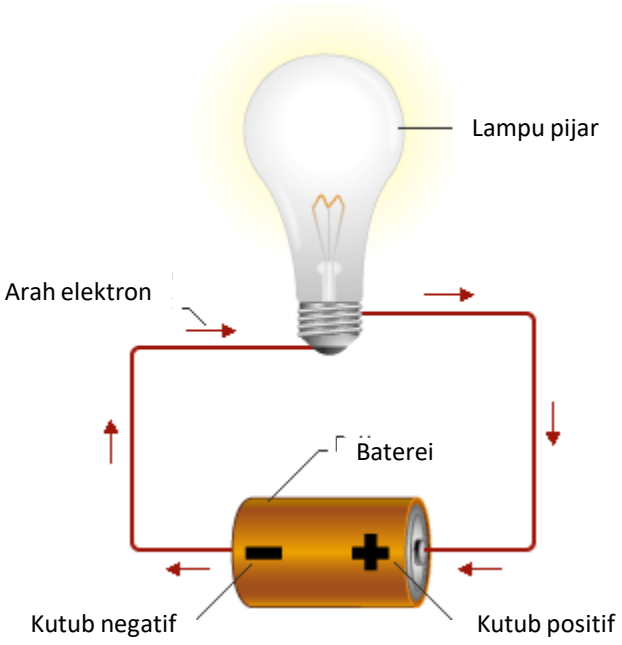
2. Kuat Arus dalam Rangkaian Tertutup

Suatu rangkaian tertutup ialah rangkaian yang tiada berujung dan tiada berpangkal. Arus listrik akan mengalir terus menerus dalam siklus tertutup. Di luar baterei arah arus listrik ini dari kutub positif ke kutub negatif. Sedangkan di dalam baterei arah arus listrik dari kutub negatif ke kutub positif baterei. Perhatikan gambar 1.27 di bawah ini.



Gambar 1.27. Rangkaian satu loop

Arah aliran elektron berlawanan dengan arah arus listrik. Sebuah lampu (L) dihubungkan pada kutub-kutub sebuah sumber tegangan/baterei (ε) seperti pada gambar 1.28. Di luar baterei elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif, sedangkan di dalam baterei elektron mengalir dari kutub positif ke kutub negatif baterei.



Gambar 1 . 28. Rangkaian listrik

Rangkaian seperti pada gambar 1.27 dan 1.28 tersebut sering juga disebut rangkaian tetutup tak bercabang. Kuat arus di dalam suatu rangkaian tak bercabang di mana-mana sama besarnya.

Sedangkan untuk suatu rangkaian yang bercabang, berlaku hukum-hukum Kirchhoff.

a. Hukum I Kirchhoff

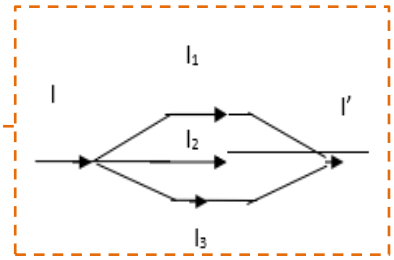
Hukum-hukum Kirchhoff ada dua, namun yang akan dibahas terlebih dahulu adalah Hukum I Kirchhoff, sedangkan Hukum II Kirchhoff akan dibahas di bagian tersendiri.

Hukum I kirchhoff berbunyi sebagai berikut. " Jumlah kuat arus yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik itu"

Hukum I Kirchhoff tersebut sebenarnya tidak lain sebutannya dengan hukum kekekalan muatan listrik. Hukum I Kirchhoff secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

Representasi Verbal



Representasi Visual

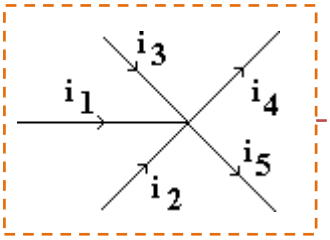
Dari gambar di samping, dengan memasang amperemeter pada masing-masing cabang dapat dibuktikan bahwa

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I'$$

Representasi Matematis

Perhatikan pula contoh berikut ini.



Representasi Visual

Bila P adalah titik cabangnya, maka :

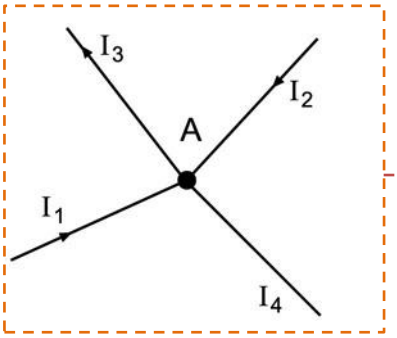
$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 + i_5$$

Representasi Matematis

Contoh Soal:

Perhatikanlah titik simpul A dari suatu rangkaian listrik seperti tampak pada gambar! Kuat arus I_1 = 10 A, I_2 = 5 A arah menuju titik A. Kuat arus I_3 = 8 A arah keluar dari titik A. Berapakah besar dan arah kuat arus I_4?



Representasi Visual

Penyelesaian :

Menurut Hukum I Kirchhoff

$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$

$\sum I_{masuk} = I_1 + I_2 = 10 + 5 = 15$ ampere

I_3 = 8 A arah keluar dari titik A

I_4 harus berarah keluar juga agar seimbang.

$\sum I_{keluar} = I_3 + I_4 = 8 + I_4$

Jadi

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$I_5 = 8 + I_4$$

$$I_4 = 15 - 8$$

$$I_4 = 7 \text{ A},$$

Representasi Matematis

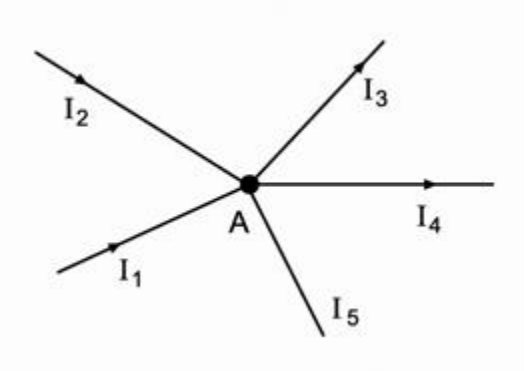
Jadi, besar kuat I_4 adalah 7A dengan arah keluar dari titik A

Representasi Verbal

Latihan:

Kerjakan soal berikut di buku latihanmu!

1. Ada lima buah percabangan berarus listrik, percabangan berarus listrik masuk yaitu I_1 = 10 ampere, I_2 = 5 ampere sedangkan percabangan berarus listrik keluar yaitu I_3 = 5 ampere, I_4 = 7 ampere Tentukan besar dan arahnya I_5 !



<u>Tugas</u>

Jawablah pertanyaan berikut di buku tugasmu!

1. Jelaskan terjadinya polarisasi ? Bagaimana cara mengatasinya ?
2. Apakah elemen Daniel itu ? Dapatkah Anda menunjukkan bagian-bagian dalam elemen Daniel. Sebutkan. Apakah pada elemen Daniel terjadi polarisasi ?
3. Apakah kelemahan-kelemahan elemen Volta ? Apa pula kelemahan-kelemahan baterai ?
4. Apakah keuntungan dan kelemahan sebuah accumulator ?
5. Apa perbedaan pokok dari elemen Leclanche kering dan elemen Leclanche basah?
6. Mengapa muatan-muatan positif dianggap dapat mengalir ? Mengapa tidak dapat mengalir ?
7. Bukalah sebuah baterai kering yang baru dan sebuah lagi yang sudah tidak mempunyai beda potensial. Bagian-bagian manakah yang mengalami perbedaan?
8. Jelaskan reaksi kimia pada saat sebuah accu dipakai.
9. Apakah keuntungan dan kelemahan sebuah dinamo atau generator ?
10. Bila sebuah sumber tegangan memerlukan energi 25 joule untuk memindahkan muatan sebanyak 12,5 coulomb, Berapakah tegangan sumbernya ?

Kegiatan Percobaan Mandiri

Tujuan:

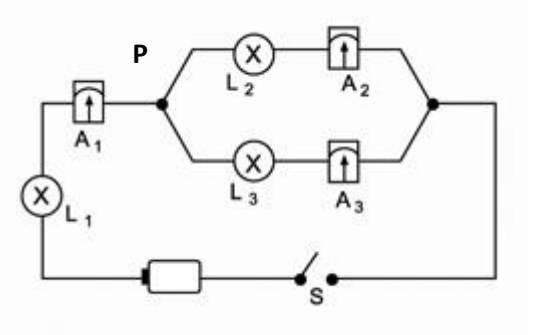
Menyelidiki kuat arus listrik pada titik simpul.

Alat dan Bahan :

1. bola lampu 3 buah masing-masing 1,5 V (L_1, L_2, L_3)
2. amperemeter 3 buah (A_1, A_2, A_3)
3. Baterai 1,5 volt 3 buah
4. Power supply DC untuk 1,5 volt, 3 volt dan 4,5 volt
5. kabel penghubung
6. saklar penghubung (S)

Petunjuk Teknis :

1. Rangkaian alat-alat seperti pada gambar di bawah ini:



2. Apakah semua lampu menyala?
3. Jika semua lampu menyala, bacalah angka yang ditunjukkan oleh alat A1, A2 dan A3.
4. Catatlah angka yang ditunjukkan oleh A2 dan A3 dengan titik P merupakan titik cabang rangkaian.
5. Tuliskan kesimpulan dari hasil percobaanmu!

3. Hukum Ohm

Seorang guru fisika dari Jerman bernama George Simon Ohm (1789-1854) berhasil mendapatkan hubungan antara besarnya beda potensial dengan besarnya arus yang mengalir. Ia menyimpulkan penemuannya ini ke dalam suatu hukum yang dikenal dengan nama Hukum Ohm. Bunyi Hukum Ohm sebagai berikut.

"Kuat arus yang mengalir dalam suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu, asalkan suhu penghantar itu tetap"

Secara ringkasnya hukum ini dapat ditulis sebagai berikut;

$$V \sim I \qquad \text{(V sebanding dengan I)}$$

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

Dalam persamaan ini, R merupakan suatu faktor perbandingan yang besarnya tetap untuk suatu penghantar tertentu dan pada suhu tertentu pula. Faktor tetap R ini disebut hambatan listrik.

Definisi hambatan suatu penghantar adalah hasil bagi beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu dengan kuat arus dalam penghantar itu.

Satuan hambatan listrik $= \frac{V}{I} =$ Ohm. Simbolnya dalam huruf yunani Ω (omega)

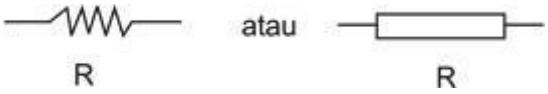
Satuan lainnya kilo ohm (KΩ) = 1000 Ω, mega ohm (MΩ) = 10^6 Ω

Sebuah penghantar disebut mempunyai hambatan sebesar satu ohm bila beda potensial sebesar satu ampere melalui penghantar itu.

Penghambat/resistor adalah komponen yang diproduksi pabrik dan memiliki nilai hambatan tetap dengan toleransi tertentu.

Gambar 1.29. Salah satu bentuk resistor dari berbagai bentuk yangdiproduksi oleh pabrik.

Gambar skema penghambat dalam rangkaian listrik adalah:



Kegiatan Percobaan Mandiri

Tujuan:

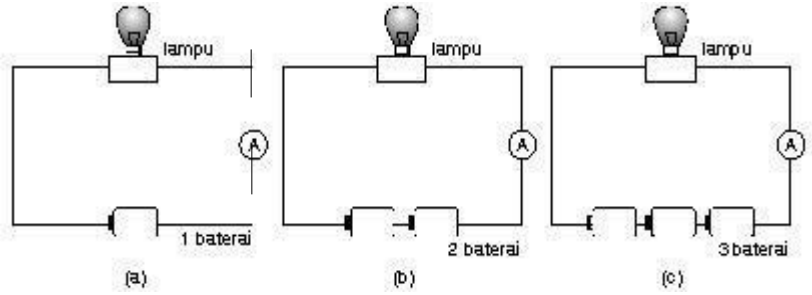
Menyelidiki hubungan antara tegangan (V) dan kuat arus (I)

Alat dan bahan:

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

Petunjuk Teknis :

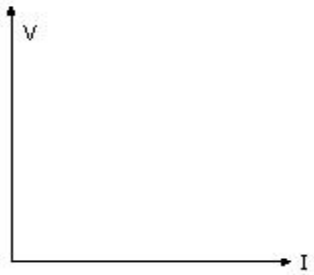
1. Susunlah tiga macam rangkaian seperti pada gambar di bawah ini!



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

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

3. Buat grafik V – I



4. Buat kesimpulan, dan faktor yang mempengaruhi hasil percobaan.

Contoh Soal:

1. Kuat arus di dalam sepotong kawat penghantar sama dengan 2 ampere, apabila kedua ujungnya diberi beda potensial sebesar 12 volt. Berapakah hambatan kawat kedua kawat tersebut ?

   Penyelesaian

   Diketahui :

   I = 2 A

   V = 12 volt

   Ditanya :

   R = ...?

   Jawab :

   $$R = \frac{V}{I} = \frac{12}{2} = 6 \text{ ohm}$$

Latihan :

Kerjakan soal berikut di buku latihanmu!

1. Arus listrik 400 mA mengalir pada suatu penghantar. Jika beda potensial antara ujung kawat 40 V, carilah hambatan listrik kawat tersebut!
2. Berapa besarnya arus yang akan mengalir di dalam sepotong kawat penghantar yang mempunyai hambatan sebesar 110 ohm bila dipasang pada suatu sumber tegangan 220 volt ?
3. Metode amperemeter-voltmeter dipasang sedemikian rupa untuk maksud mengetahui besar hambatan R. Ampermeter A dipasang seri terhadap R dan menunjukkan 0,3 A. Voltmeter V dipasang pararel terhadap R dan menunjukkan tegangan sebesar 1,5 volt. Hitung besar hambatan R

4. Hambatan Listrik dalam suatu Penghantar

Hambatan sepotong kawat penghantar dapat diukur secara langsung dengan alat ohmmeter. Sebuah alat yang dapat digunakan untuk mengukur hambatan, beda potensial dan kuat arus disebut multimeter. Multimeter ini merupakan satu kesatuan alat dari volt meter, ampere meter dan ohm meter. Dengan memutar sebuah saklar, alat itu dapat digunakan sebagai amperemeter, volt meter atau ohm meter tergantung mana

yang diperlukan.

Hambatan atau resistansi suatu penghantar berguna untuk mengatur besarnya kuat arus listrik yang mengalir melalui suatu rangkaian listrik. Dalam radio dan televisi, resistansi berguna untuk menjaga kuat arus dan tegangan pada nilai tertentu dengan tujuan agar komponen-komponen listrik lainnya dapat berfungsi dengan baik.

Bila panjang kawat penghantar dinyatakan dengan huruf l, luas penampangnya dinyatakan dengan huruf A, maka untuk berbagai jenis pengkantar, panjang dan penampang berbeda terdapat hubungan sebagai berikut:

Representasi Matematis

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

Representasi Verbal

Ternyata hambatan sepotong kawat penghantar adalah:

1. Sebanding dengan panjang kawat penghantar tersebut (l)
2. Berbanding terbalik dengan luas penampang kawat penghantar (A)
3. Bergantung kepada jenis bahan penghantar (ρ)

Dalam persamaan ini ρ disebut hambatan jenis kawat penghantar, yang besarnya bergantung kepada jenis bahan yang digunakan membuat kawat itu.

Persamaan dapat diubah menjadi sebagai berikut:

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

sehingga satuan $\rho = \frac{\Omega m^2}{m} = \Omega m$

Tabel 1.3. Hambatan jenis beberapa zat.

No	Zat	Hambatan jenis (ρ) pada 20° C (ohmmeter)
1.	Penghantar	
	• Perak	$1{,}8 \times 10^{-8}$
	• Tembaga	$1{,}7 \times 10^{-8}$
	• Alumunium	$2{,}8 \times 10^{-8}$
	• Tungsten	$5{,}6 \times 10^{-8}$
	• Nikel	$6{,}8 \times 10^{-8}$
	• Besi	$10{,}0 \times 10^{-8}$
	• Baja	$18{,}0 \times 10^{-8}$
	• Mangan	$44{,}0 \times 10^{-8}$
	• Karbon	3500×10^{-8}
2.	Semikonduktor	
	• Germanium	0,5
	• Karbon	$3{,}5 \times 10^{-5}$
	• Doiksid tembaga	1×10^{3}
3.	Isolator	
	• Kaca	$10^{10} - 10^{14}$
	• Karet	$10^{13} - 10^{16}$

Contoh Soal:

Seutas kawat besi panjangnya 20 meter dan luas penampangnya 1 mm^2, mempunyai hambatan jenis 10^{-7} ohmmeter. Jika antara ujung-ujung kawat dipasang beda potensial 60 volt, tentukan kuat arus yang mengalir dalam kawat!

Penyelesaian:

Diketahui : I = 20 m

A = 1 mm^2 = 1 x $10^{-6} m^2$

V = 60 V

p = 10^{-7} ohm meter

Ditanya : I = ... ?

Jawab :

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

$$R = 10^{-7} \cdot \frac{20}{1 \times 10^{-6}}$$

$$R = 2 \text{ ohm}$$

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

$$= \frac{60}{2}$$

$$I = 30 \text{ A}$$

Representasi Matematis

Jadi, besar kuat arus yang mengalir dalam kawat adalah 30 A

Representasi Verbal

Latihan

Kerjakan di buku latihanmu!

1. Sebatang aluminium panjangnya 2,5 m, berpenampang = 5 cm^2. Hambatan jenis aluminium = $2{,}63.10^{-8}$ ohm.meter. Jika hambatan yang ditimbulkan oleh aluminium sama dengan hambatan yang ditimbulkan oleh sepotong kawat besi yang berdiameter 15 mm dan hambatan jenisnya = 10.10^{-7} ohm.meter, maka berapakah panjang kawat besi tersebut ?
2. Sepotong penghantar yang panjangnya 10 meter berpenampang 0,5 mm^2 mempunyai hambatan 50 ohm. Hitung hambatan jenisnya.
3. Hambatan kawat pijar pada suhu 0 ºC adalah 6 ohm. Berapa hambatannya pada suhu 1000 ºC, jika koefesien suhu α = 0,004

5. Penghambat Seri dan Paralel

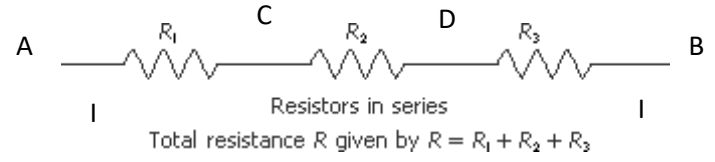
Di dalam suatu rangkaian arus sering terdapat lebih dari satu penghambat. Penghambat-penghambat ini dapat tersusun secara seri atau secara paralel atau gabungan antara seri dan paralel.

Yang akan dibicarakan di sini yaitu penghambat yang tersusun secara seri dan paralel.

a. Penghambat Seri

Yang dimaksud dengan penghambat seri adalah penghambat-penghambat yang disusun secara berurutan, yang satu di belakang yang lain.

Contoh penghambat seri :



Representasi Visual

Gambar 1. 30. Penghambat tersusun seri Rs = R1 + R2 + R3

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

Representasi Verbal

Dari gambar di atas dapat dituliskan bahwa :

$$V_{AB} = V_A - V_B = V_A - V_C + V_C - V_D + V_D - V_B$$
$$= V_{AC} + V_{CD} + V_{DB}$$
$$V_{AB} = V_A - V_B = V_{AC} + V_{CD} + V_{DB} = I\,R_1 + I\,R_2 + I\,R_3$$

Representasi Matematis

Padahal : $V_{AB} = I\ R_S$

Dengan demikian : $I\ R_S = I\ R_1 + I\ R_2 + I\ R_3$, sehingga :

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

R_S adalah penghambat pengganti dari penghambat-penghambat yang tersusun secara seri tersebut. Jadi kesimpulannya bahwa :

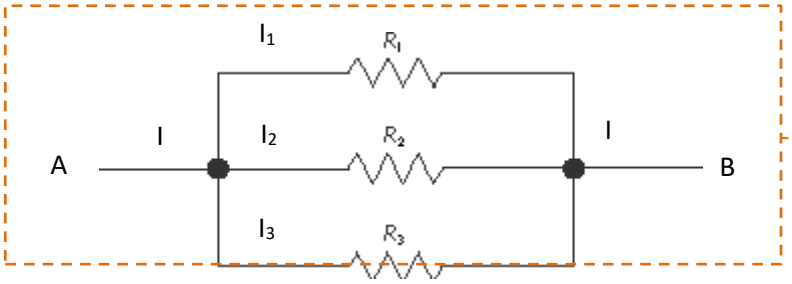
Besar penghambat pengganti dari penghambat-penghambat yang tersusun secara seri sama dengan jumlah dari penghambat-penghambat seri itu sendiri.

b. Penghambat Paralel

Yang dimaksud dengan penghambat paralel ialah penghambat-penghambat yang disusun secara berdampingan atau sejajar.

Representasi Visual

Contoh penghambat paralel :



Gambar 1.31. Penghambat tersusun paralel

R_1, R_2 dan R_3 pada gambar di atas tersusun secara paralel. Ketiga hambatan ini dapat diganti menjadi satu penghambat saja, misalnya disebut R_p, sedemikian rupa sehingga kuat arus I dan beda potensial V_{AB} tidak berubah besarnya.

Berdasarkan hukum pertama dari Kirchhoff, maka dari gambar di atas dapat dituliskan bahwa :

Representasi Verbal

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{Vab}{Rp} = \frac{Vab}{R_1} + \frac{Vab}{R_2} + \frac{Vab}{R_3},$$

$$\text{Jadi : } \frac{1}{Rp} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Representasi Matematis

Jadi kesimpulannya bahwa, penghambat-penghambat yang disusun secara paralel dapat diganti dengan sebuah penghambat yang kebalikan harganya sama dengan jumlah kebalikan harga hambatan-hambatan penghambat yang tersusun secara paralel itu.

Contoh Soal:

1. Dua buah penghambat yang besar hambatannya masing-masing 2 ohm dan 4 ohm dipasang secara seri. Berapakah besar penghambat penggantinya ?

   Jawab :

   $$R_S = R_1 + R_2 = 2 \text{ ohm} + 4 \text{ ohm} = 6 \text{ ohm}$$

2. Empat buah penghambat yang besar hambatannya masing-masing 2 ohm, 4 ohm, 4 ohm dan 1 ohm dipasang secara paralel. berapakah besar penghambat penggantinya?

   Jawab :

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

   $$\frac{1}{Rp} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{1} = 2$$

   $$R_p = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ ohm}$$

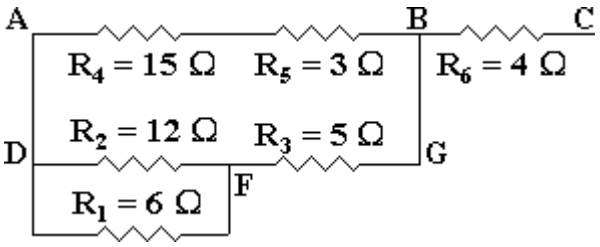
Latihan Pemecahan Masalah Fisika

Kerjakan soal-soal berikut di buku latihanmu!

1. Hitung hambatan pengganti untuk rangkaian paralel hambatan 0,6 ohm dan 0,2 ohm !
2. Berapa ohm harus dihubungkan paralel dengan hambatan 12 ohm agar mengahasilkan hambatan pengganti sebesar 4 ohm ?
3. Berapa banyak hambatan 40 ohm harus dipasang paralel agar menghasilkan arus sebesar 15 ampere pada tegangan 120 volt ?
4. Hambatan yang disusun seperti pada gambar dibawah ini, dipasang tegangan antara titik AC 30 volt. Tentukanlah :

   a. Hambatan penggantinya antara titik AC

   b. Arus yang memasuki pada rangkaian.



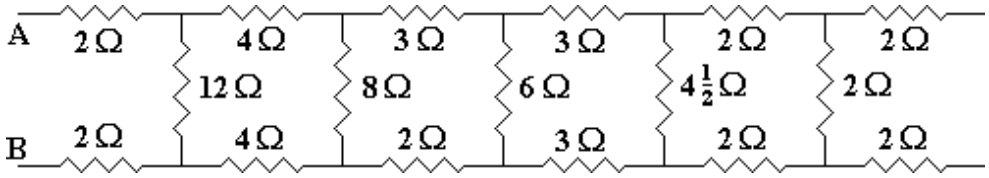
5. Pada suhu 0^0 C resistor-resistor tembaga, karbon dan wolfram masing-masing

mempunyai hambatan 100 ohm. Kemudian suhu resistor serentak dinaikkan menjadi 100^0 C. Jika α_{cu} = 0,00393 / ^{0}C, α_c = 0,005 / ^{0}C, α_{wo} = 0,0045 / ^{0}C. Maka tentukan hambatan penggantinya jika :

a. Resistor-resistor tersebut disusun seri.

b. Resistor-resistor tersebut disusun pararel

6. Hitunglah hambatan pengganti antara titik AB dari rangkaian di bawah ini.

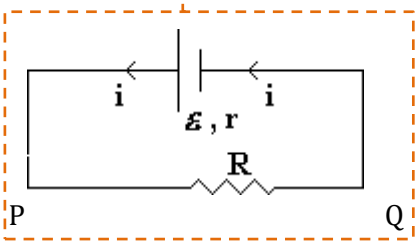


6. Sumber Tegangan dalam Rangkaian Tertutup

Suatu rangkaian arus yang sederhana, terdiri sebuah sumber tegangan, misalnya baterai dan sebuah penghantar yang hambatannya R yang menghubungkan kutub-kutub baterai tersebut.

a. Rangkaian Tertutup dengan Satu Sumber Tegangan

Representasi Visual



Gambar 1.32. Sebuah rangkaian sederhana tertutup terdiri dari sumber tegangan deganGGL ε dan hambatan dalam r, dan hambatan luar R.

Representasi Verbal

Di luar sumber tegangan, arus mengalir dari P ke Q melalui hambatan yang besarnya R ohm. Di dalam sumber tegangan, arus mengalir dari Q ke P melalui hambatan yang besarnya r ohm. Hambatan r ini disebut hambatan dalam.

Kutub-kutub sumber tegangan sebelum mengalirkan arus disebut gaya gerak listrik (GGL) atau *emf = electromotiveforce*, sedangkan kutub-kutub sumber tegangan selama megalirkan arus disebut beda potensial atau tegangan jepit. Bila arus I mengalir melalui rangkaian di atas, maka hambatan seluruhnya yang dilewati arus listrik adalah R + r.

Kuat arus I yang mengalir dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

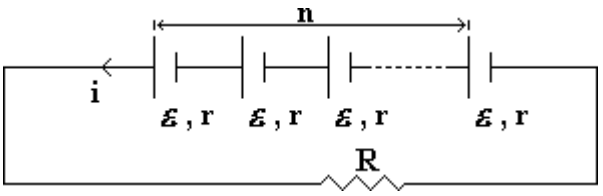
Representasi Matematis

Tegangan jepit ialah_beda potensial antara kutub-kutub sumber tegangan pada waktu sumber tegangan tersebut mengalirkan arus. Tegangan jepit pada gambar di atas ialah V_{PQ} , dimana

$$V_{PQ} = I\,R$$

b. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Seri

Beberapa sumber tegangan dapat dihubungkan secara seri, yaitu kutub positif sumber yang pertama dihubungkan dengan kutub negatif sumber yang berikutnya. Contoh terlihat pada gambar berikut.



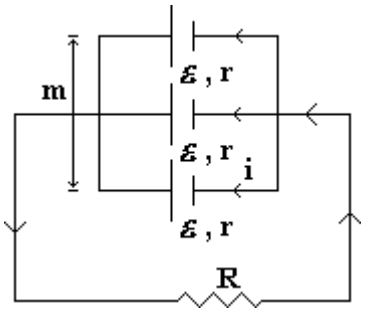
Bila ada n buah sumber tegangan yang tiap-tiap ggl nya adalah : ε volt dihubungkan secara seri, makaggl seluruhnya adalah n x ε volt.

Dan bila hambatan dalam masing-masing sumber adalah r, maka hambatan dalam seluruhnya sama dengan n x r ohm. Kalau n buah sumber tersebut dihubungkan oleh hambatan luar sebesar R, maka kuat arus yang mengalir sama dengan :

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

c. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Paralel

Apabila n buah sumber tegangan tersebut dihubungkan secara paralel, maka ggl susunannya juga ε volt. (lihat gambar di bawah ini dan apabila hambatan dalam tiap sumber = r ohm, maka hambatan dalam n sumber sama dengan : $\frac{1}{n}$ r ohm

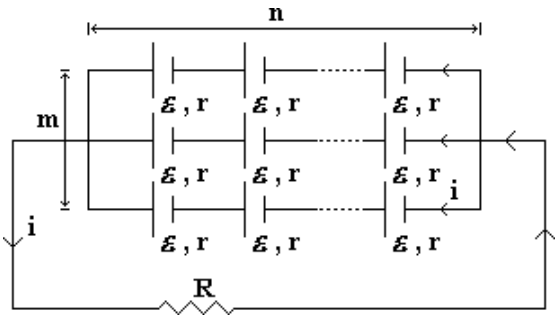


Sekarang bila kutub-kutub susunan tersebut dihubungkan oleh sebuah hambatan yang besarnya R, maka kuat arus yang mengalir adalah :

$$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{1}{n} r}$$

d. Rangkaian Tertutup dengan Beberapa Sumber Tegangan Disusun Campuran Seri dan Paralel

Bila beberapa elemen (n buah elemen) yang masing-masing mempunyai GGL ε dan tahanan dalam r disusun secara seri, sedangkan berapa elemen (m buah elemen) yang terjadi karena hubungan seri tadi dihubungkan paralel lagi, maka kuat arus yang timbul :



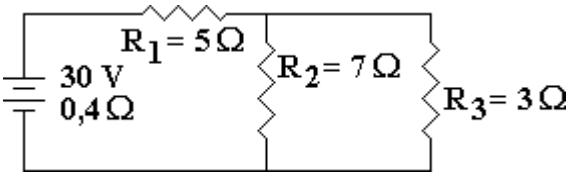
Kuat arus yang mengalir sebesar :

$$I = \frac{n.\varepsilon}{R + \frac{n}{m} r}$$

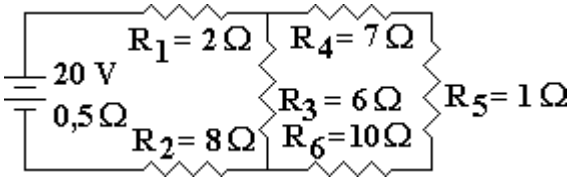
Latihan Pemecahan Masalah Fisika

Kerjakan soal-soal berikut di buku latihanmu!

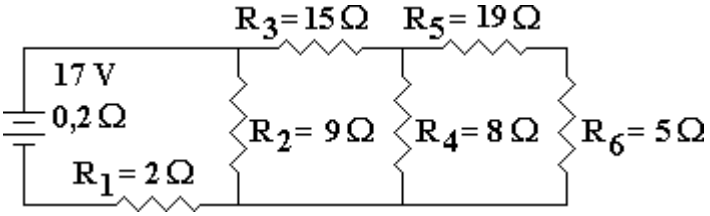
1. Baterai 24 volt dengan hambatan dalam 0,7 ohm dihubungkan dengan rangkaian 3 kumparan secara pararel, masing-masing dengan hambatan 15 ohm dan kemudian diserikan dengan hambatan 0,3 ohm. Tentukan :
   a. Buatlah sketsa rangkaiannya.
   b. Besar arus dalam rangkaian seluruhnya.
   c. Beda potensial pada rangkaian kumparan dan antara hambatan 0,3 ohm.
   d. Tegangan baterai pada rangkaian.
2. Suatu sumber listrik terdiri dari 120 elemen yang disusun gabungan. Masing-masing elemen mempunyai GGL = 4,125 volt dan hambatan dalam 0,5 ohm. Kutub-kutubnya dihubungkan dengan sebuah hambatan 30 ohm, sehingga kuat arus yang dihasilkan adalah 2 ampere. Bagaimana susunan elemen ?
3. Dua buah hambatan dari 12 ohm dan 5 ohm dihubungkan seri terhadap baterai 18 volt yang hambatan dalamnya = 1 ohm. Hitunglah :
   a. Arus rangkaian.
   b. Beda potensial antara kedua hambatan tersebut.
   c. Beda potensial pada kutub baterai.
4. Dari rangkaian di bawah ini, maka tentukan arus yang dihasilkan baterei.



5. Hitunglah arus yang dihasilkan baterai pada rangkaian yang di bawah ini.



6. Tentukan arus yang dihasilkan baterai pada rangkaian di bawah ini.

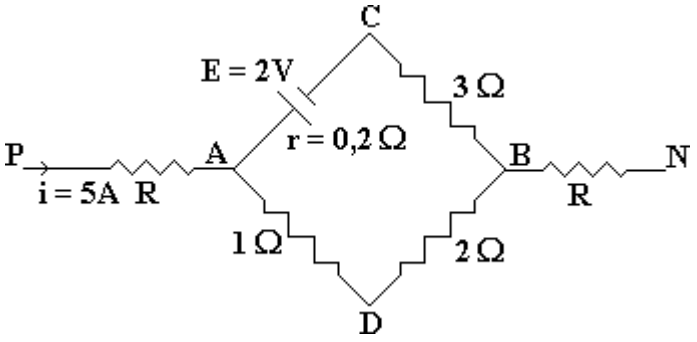


7. Hambatan PA = BN = R.

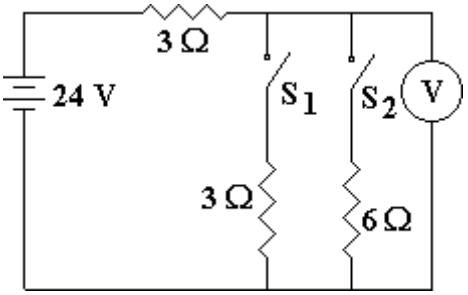
   a. Hitung arus yang melalui cabang ADB dan ACB.

   b. Hitung beda potensial antara A dan B

   c. Hitung berapakah hambatan PA.



8. Untuk rangkaian di bawah ini jika S_1 dan S_2 ditutup, maka voltmeter (V) akan menunjukkan harga.....



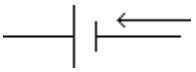
7. Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff berbunyi : "Jumlah aljabar gaya gerak listrik (GGL) dalam satu rangkaian tertutup (loop) sama dengan jumlah aljabar hasil kali I x R dalam rangkaian tertutup itu."

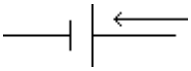
$$\Sigma \varepsilon = \Sigma I.R$$

Untuk menuliskan persamaan diatas, perlu diperhatikan tanda dari pada GGL, yaitu sebagai berikut :

GGL bertanda positif jika kutub negatif lebih dulu di jumpai loop dan sebaliknya ggl negatif jika kutub positif lebih dulu dijumpai loop.



ε = positif



ε = negatif

Untuk perjanjian arah arus menggunakan :

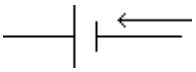
Kuat arus bertanda positif jika searah dengan loop dan bertanda negatif jika berlawanan dengan arah loop.

Untuk memudahkan pengingatan Hukum II kirchhoff dapat dimodifikasi dengan persamaan sebagai berikut.

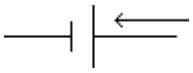
$$\Sigma \varepsilon + \Sigma I.R = 0$$

Dengan perjanjian tanda untuk GGL sebagai berikut:

- GGL bertanda positif jika kutub positip lebih dulu di jumpai loop dan sebaliknya ggl negatif jika kutub negatif lebih dulu dijumpai loop.



ε = negatif



ε = positif

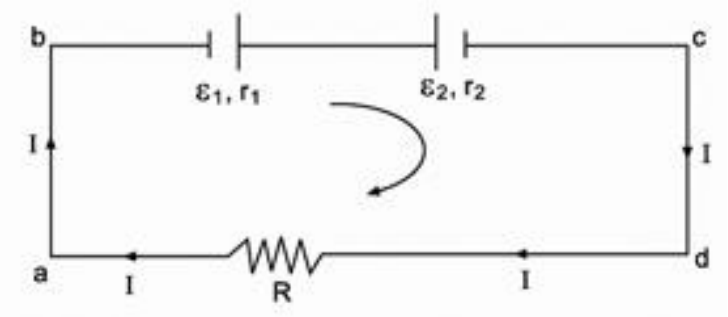
Untuk perjanjian arah arus tetap sama menggunakan :

- Kuat arus bertanda positif jika searah dengan loop dan bertanda negatif jika berlawanandengan arah loop.
- Dimana arah I adalah arah acuan dalam loop itu. Artinya arah arus yang keluar darimasing-masing sumber arus.

Sebagai contoh dari pemakaian Hukum II Kirchhoff misalnya dari rangkaian listrik berikut ini.

- **Rangkaian Satu Loop**

Misalkan kita ambil arah loop searah dengan arah I, yaitu a-b-c-d-a



Gambar 1.33. Rangkaian dengan satu loop

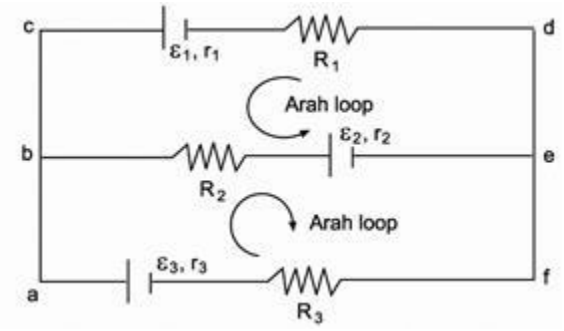
Kuat arus listrik I di atas dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum II kirchhoff

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$
$$-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + I(r_1 + r_2 + R) = 0$$

Jika harga ε_1, ε_2, r_1, r_2 dan R diketahui maka dapat ditentukan harga I

- **Rangkaian Dua Loop atau Lebih**

Rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih disebut juga rangkaian majemuk. Langkah-langkah dalam menyelesaikan rangkaian majemuk ini sangat penting untuk diperhatikan.



Gambar 1.34. Rangkaian dengan dua loop

Langkah-langkah umum untuk menyelesaikan rangkaian listrik majemuk (Syarifah Muthia Putri, 2022):

1) menggambar rangkaian listriknya

2) menetapkan arus (simbol dan arah) dalam setiap cabang yang penting

3) menyederhanakan sistem susunan seri dan pararel jika mungkin

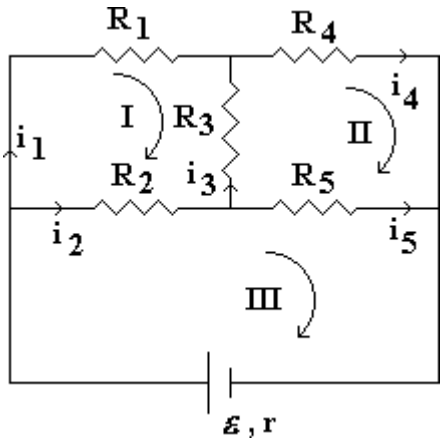
4) menetapkan loop berikut arahnya pada setiap rangkaian tertutup

5) menulis setiap persamaan setiap loop sesuai hukum II Kirchhof

6) menulis persamaan arus tiap percabangan sesuai hukum I Kirchhof

7) menghitung persamaan dengan teliti

Contoh Penerapan Hukum II Kirchhoff .



Pada loop I : $i_1 R_1 + I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0$. ..... (1)

Pada loop II : $i_4 R_4 - i_3 R_3 - i_5 R_5 = 0$. ..... (2)

Pada loop III ; $i_2 R_2 + i_5 R_5 + i.r_d = \varepsilon$..... (3)

Hukum I Kirchoff

Pada titik A : $I = I_1 + i_2$..... (4)

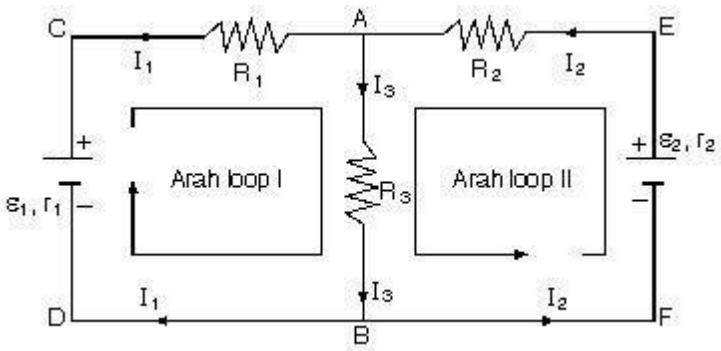
Pada titik D : $I_4 + I_5 = i$. ..... (5)

Pada titik C : $I_2 + I_3 = i_5$ ..... (6)

Dengan 6 buah persamaan di atas, dapat dihitung i_1 ; i_2 ; i_3 ; i_4 ; i_5 dan i .

Contoh Soal :

Perhatikanlah gambar rangkaian listrik berikut:



Diketahui:
$\varepsilon_1 = 10$ volt
$\varepsilon_2 = 10$ volt
$R_1 = 5\ \Omega$
$R_2 = 5\ \Omega$
$R_3 = 2\ \Omega$
$r_1 = 1\ \Omega$
$r_2 = 1\ \Omega$

Ditanyakan:

a. Kuat arus listrik yang mengalir dalam rangkaian (I_1, I_2, dan I_3).

b. Beda potensial antara A dan B (V_{AB}).

Penyelesaian :

a. Di titik simpul A:

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$
$$I_1 + I_2 = I_3 \text{ atau } I_1 = I_3 - I_2 \text{ atau } I_2 = I_3 - I_1 \quad \text{.....(1)}$$

Untuk loop I atau loop C-A-B-D-C:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$
$$\varepsilon_1 + (r_1 + R_1) + I_3 . R_3 = 0$$
$$-10 + I_1 (1 + 5) + I_3 . 2 = 0$$
$$-10 + 6 I_1 + 2 I_3 = 0 \quad \text{.....(persamaan 2)}$$

Untuk loop II atau loop F-E-A-B-F:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$
$$\varepsilon_2 + I_2 (r_2 + R_2) + I_3 . R_3 = 0$$
$$-10 + I_2 (1 + 5) + I_3 . 2 = 0$$
$$-10 + 6 I_2 + 2 . I_3 = 0 \quad \text{.....(persamaan –3)}$$

Representasi Matematis

Subtitusi persamaan (1) dan (2):

$$-10 + 6\,I_1 + 2\,I_3 = 0 \quad \ldots\ldots\; I_1 = I_3 - I_2$$
$$-10 + 6\,(I_3 - I_2) + 2\,I_3 = 0$$
$$-10 + 6\,I_3 - 6\,I_2 + 2\,I_3 = 0$$
$$-10 - 6\,I_2 + 8\,I_3 = 0 \;\ldots\ldots\ldots\ldots(\text{persamaan} - 4)$$

Eliminasikan persamaan 3 dan 4:

$$-10 + 6\,I_2 + 2\,I_3 = 0$$

$$-10 - 6\,I_2 + 8\,I_3 = 0$$

$$\text{———————} +$$

$$-20 + 10\,I_3 = 0$$
$$10\,I_3 = 20$$
$$I_3 = 2 \text{ Ampere.}$$

$I_3 = 2$ A ke persamaan (2):

$$-10 + 6\,I_1 + 2\,(2) = 0$$

$$6\,I_1 = 6$$

$I_1 = 1$ Ampere

$I_2 = I_3 - I_1 = 2 - 1 = 1$ Ampere.

Representasi Matematis

Jadi arus listrik pada cabang rangkaian B-D-C-A yaitu $I_1 = 1$ A.

Arus listrik pada cabang rangkaian B-F-E-A yaitu $I_2 = 1$A.

Arus listrik pada cabang rangkaian A-B yaitu $I_3 = 2$ A.

{Semua harga I_1, I_2 dan I_3bertanda positif (+), berarti arah pemisalan yang telah kita tentukan yaitu arah I sesuai}.

Representasi Verbal

b. Besar beda potensial antara A dan B (V_{AB}) dapat melalui tiga cara

- untuk lintasan yang menempuh jalan A – B (langsung),

- melalui A-C-D-B
- melalui A-E-F-B

Untuk jalan A-B (langsung):

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \Sigma\varepsilon + \Sigma I.R \\ &= 0 + I_3 (R_3) \\ &= 0 + 2 \ (2) \\ V_{AB} &= +4 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Untuk melalui A-C –D-B:

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \Sigma\varepsilon + \Sigma I.R \\ &= +\varepsilon_1 - I_1 (R_1 + r_1) \\ &= +10 - 1 \ (5 + 1) \\ &= +10 - 6 = +4 \\ \text{Jadi } V_{AB} &= +4 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Untuk jalur A-E-F-B:

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \Sigma\varepsilon + \Sigma I.R \\ &= +\varepsilon_2 - I_2 (R_2 + r_2) \\ &= +10 - 1 \ (5 + 1) \\ &= +10 - 6 = +4 \\ V_{AB} &= +4 \text{ volt} \end{aligned}$$

Representasi Matematis

Jadi V_{AB} = + 4 volt, analog dengan itu didapat V_{BA} = - 4 volt

Representasi Verbal

Latihan Soal Pemecahan Masalah Fisika:

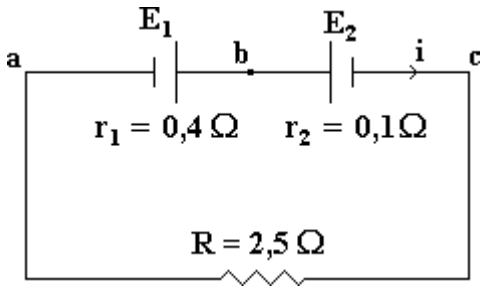
Kerjakan penyelesaiannya di buku latihanmu!

1. Dua baterei mempunyai potensial masing-masing 25 volt dan 10 volt. Hambatan dalam masing-masing baterai adalah 0,4 ohm dan 1 ohm, kedua baterai tersebut dihubungkan seri dengan hambatan R = 2,5 ohm, seperti terlihat pada gambar dibawah ini. Tentukanlah :

   a. Arus I pada rangkaian.

   b. Misalkan potensial di a = 0, cari potensial relatif di b dan c.

   c. Hitung beda potensial antara titik-titik a dan b , b dan c, c dan a.

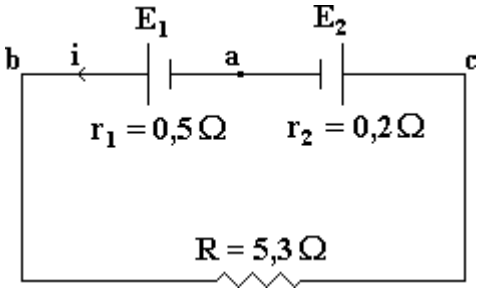


2. Dua baterai dengan emf 20 volt dan 8 volt dan hambatan dalamnya 0,5 ohm dan 0,2 ohm dihubungkan seri dengan hambatan R = 5,3 ohm (lihat gambar !)

   a. Hitung arus pada rangkaian tersebut.

   b. Misalkan potensial di a = 0 hitung potensial relatif di titik-titik b dan c.

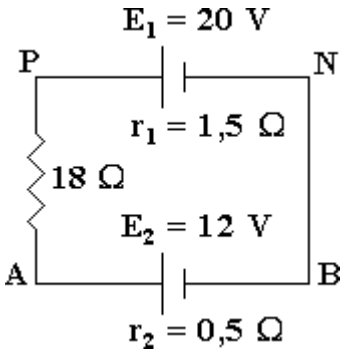
   c. Berapa beda potensial $V_{ab'}$, $V_{bc'}$dan $V_{ca'}$?



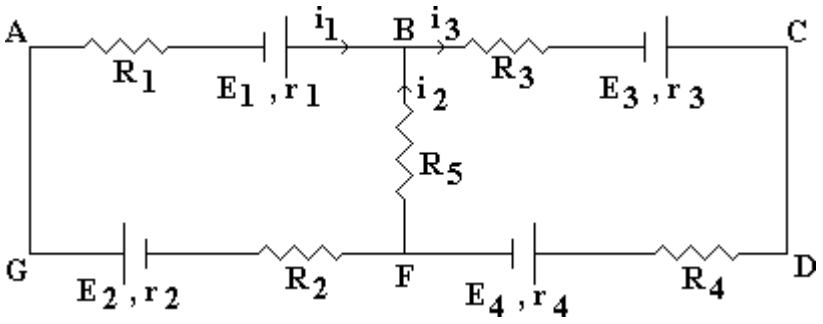
3. Ditentukan dua elemen masing-masing dengan GGL 20 volt dan 12 volt dan hambatan dalamnya 1,5 ohm dan 0,5 ohm di rangkai dengan hambatan 18 ohm seperti pada denah di bawah ini. Tentukanlah :

   a. Tegangan jepit antara P dan N

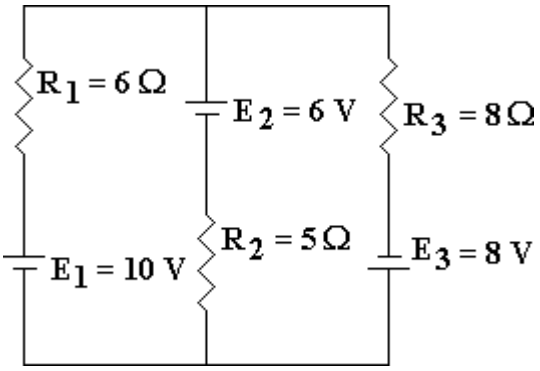
   b. Tegangan jepit antara A dan B



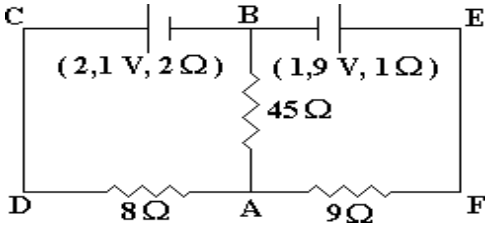
4. Jika di ketahui : r_1 = 0,5 ohm ; R_1 = 1,5 ohm ; r_2 = 1 ohm ; R_2 = 2 ohm ; E_1 = 2 V ; E_2 = 1 V ; E_3 = 1,5 V ; E_4 = 2,5 V ; R_5 = 2 ohm ; r_3 = 0,5 ohm ; R_3 = 1 ohm ; r_4 = 1 ohm; R_4 = 2 ohm. Hitunglah I_1, I_2 dan I_3.



5. Pada gambar di samping. Hitunglah besar tentukan arah dari I_1, I_2 dan I_3 ?



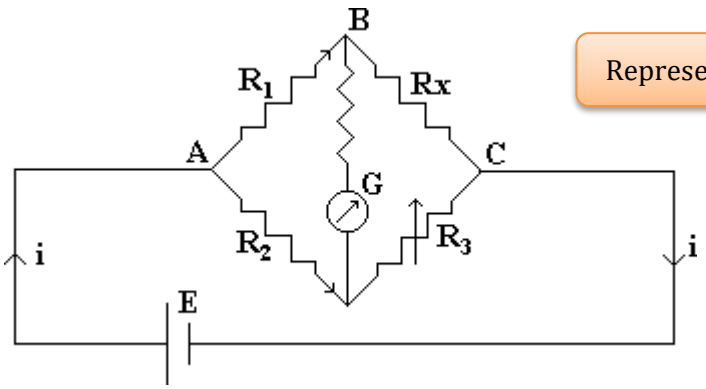
6. Hitunglah V_{ab}



8. Jembatan Wheatstone

Prinsip Jembatan Wheatstone dipakai untuk mengukur besar tahanan suatu penghantar.

Representasi Visual



Gambar 1.35. Jembatan wheatstone terdiri dari empat tahanan disusun segi empat dan Galvanometer.

Jika R_1 dan R_2 diketahui besarnya dan R_3 tahanan yang dapat diatur besarnya sehingga tidak ada arus yang mengalir lewatrangkaian B-C-G (Galvanometer) serta Bila arus yang lewat G = 0, maka R_X tahanan dapat diukur besarnya adalah

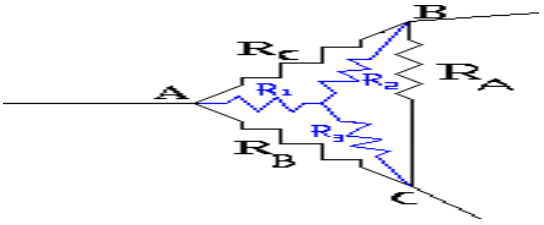
Representasi Verbal

$$R_X \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

$$R_X = \frac{R_1 . R_3}{R_2}$$

Representasi Matematis

- Jika ternyata dijumpai $R_X \cdot R_2 \neq R_1 \cdot R_3$ maka digunakan metode trnsformasi Δ↔Y.



Susunan resistor bentuk delta (Δ atrau TT) dapat ditransformasikan ke bentuk Bintang (Y atau T)

Rumus equivalensi dari bentuk delta ke bentuk bintang, sebagai berikut :

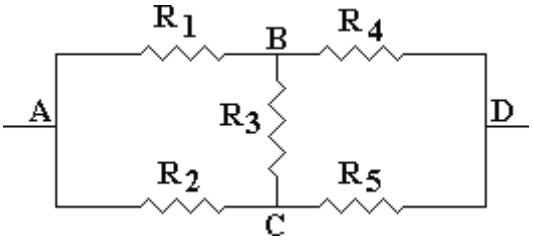
$R_1 = \frac{R_B . R_C}{R_A + R_B + R_C}$
$R_2 = \frac{R_A . R_C}{R_A + R_B + R_C}$
$R_3 = \frac{R_A . R_B}{R_A + R_B + R_C}$

Sebaliknya rumus equivalensi dari bentuk bintang (Y) ke bentuk delta (Δ), sebagai berikut :

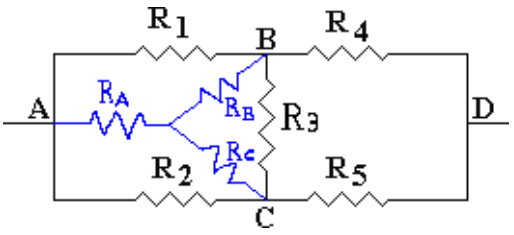
$R_A = \frac{R_1 . R_2 + R_2 . R_3 + R_1 . R_3}{R_1}$
$R_B = \frac{R_1 . R_2 + R_2 . R_3 + R_1 . R_3}{R_2}$
$R_C = \frac{R_1 . R_2 + R_2 . R_3 + R_1 . R_3}{R_3}$

Perhatikan contoh berikut.

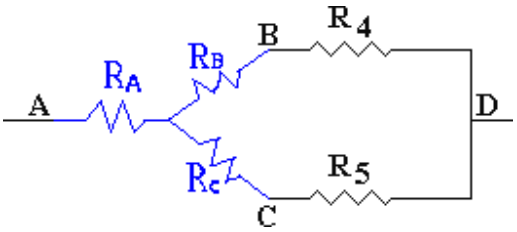
Rangkaian ini tidak dapat diselesaikan dengan hokum Ohm maupun jembatan Wheatstone dengan asumsi bahwa R_3 tetap dialiri arus listrik artinya $R_1 . R_5 \neq R_2 . R_4$



Langkah berikutnya adalah mengubah salah satu bentuk Δ (boleh Δ ABC atau Δ BCD) menjadi bentuk Y. Misalkan dipilih Δ ABC. Sebagai berikut.



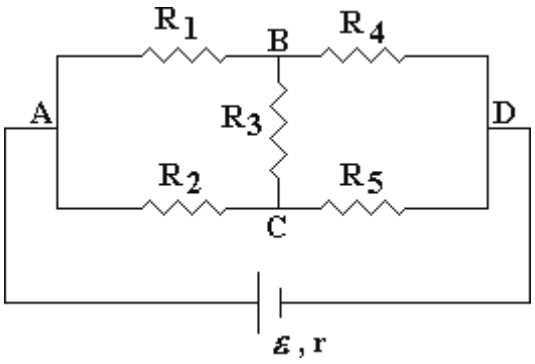
Dengan demikian R_1, R_2, dan R_3 sudah ditiadakan sehingga rangkaian berubah menjadi sebagai berikut.



Akhirnya dapat diselesaikan dengan menghitung seri hambatan R_B dengan R_4 dan R_C dengan R_5. Kedua hasil seri tersebut diparalel dan hasilnya diseri dengan R_A.

Latihan

Kerjakan soal-soal berikut di buku latihanmu!



Bila $R_1 = R_5 = 3$ ohm, dan $R_3 = 5$ ohm serta $R_4 = R_4 = 4$ ohm hitunglah hambatan totalnya

F. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

1. Energi Listrik

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

1. besarnya hambatan kawat yang dilalui arus
2. besarnya arus yang mengalir
3. waktu atau lamanya arus mengalir

Besarnya energi yang dikeluarkan oleh sumber arus untuk mengalirkan arus listrik adalah : W = V I t

dimana : V dalam Volt

i dalam ampere dan

t dalam detik atau sekon

Karena $V = I R$

maka $W = I^2 R t$

Karena $I = V/R$

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

Apabila semua energi listrik berubah menjadi kalor, maka banyaknya kalor yang timbul

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

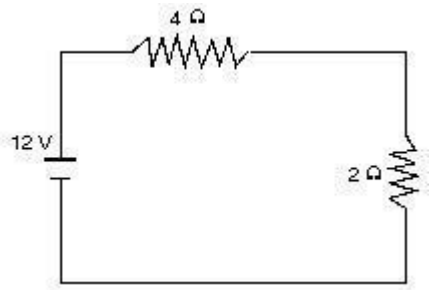
dimana 1 kalori = 4,2 joule

1 joule = 0,24 kalori

Contoh :

Berdasarkan rangkaian di samping tentukan

a. Energi listrik yang dibangkitkan oleh baterai selama 1 menit.
b. Energi listrik yang berubah menjadi panas pada R = 4 ohm selama 1 menit.



Diket: $V = 12$ V

$R_2 = 4$ ohm

$R_2 = 2$ ohm

$t = 1$ menit = 60 sekon

Ditanyakan :

a. W =.....? t = 60 s

b. W_1....? R_1 = 4 ohm ...?.

Jawab :

a.

$$W = \frac{V^2}{(R_1+R_2)} \cdot t = \frac{(12)^2}{(4+2)} \cdot 60$$

$$W = 1440 \text{ Joule}$$

Representasi Matematis

Jadi, besar energi listrik yang dibangkitkan oleh baterai selama 1 menit adalah 1440 Joule.

Representasi Verbal

b.

$$I = \frac{V}{(R_1+R_1)} = \frac{12}{4+2} = 2 \text{ A}$$

$$W_1 = (I^2) \cdot R_1 \cdot T = (2)^2 \cdot (4) \cdot (60)$$

$$W_1 = 960 \text{ Joule}$$

Representasi Matematis

Jadi, besar energi listrik yang berubah menjadi panas pada R = 4 ohm selama 1 menit adalah 960 joule.

Representasi Verbal

2. Daya Listrik

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

Jadi daya suatu alat listrik = $\frac{\text{usaha yang dilakukan}}{\text{waktu}}$ atau P = W / t

Karena W = V . i . t

maka : P = V . i . t / t

P = V.i

Atau : P = I^2 R t/t

P = I^2 R

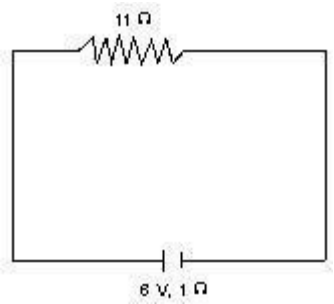
atau : $P = \frac{V^2}{R} t/t$

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

Satuan daya = volt Ampere

= Joule / detik atau watt

Contoh :



Berdasarkan gambar di samping, Tentukan:

a. Daya listrik yang dibangkitkan oleh baterai.

b. Daya disipasi (daya yang berubah jadi panas) pada hambatan 11 ohm

Diketahui $\varepsilon = 6V$,
$r = 1\Omega$,
$R = 11\Omega$

Ditanyakan : a. Daya yang di bangkitkan baterai, $P\varepsilon$ = ...

b. Daya pada hambatan 11Ω, Pr = ...

Jawab : a. $I = \frac{\varepsilon}{r+R} = \frac{6}{1+11} = 0{,}5\ A$

$P\varepsilon = (I)^2 (r + R) = (0{,}5)^2.(12) = 3$ Watt

Representasi Matematis

Jadi, daya listrik yang dibangkitkan oleh baterai adalah 3 Watt

Representasi Verbal

b. $Pr = (I)^2 (R) = (0{,}5)^2.(12) = 2{,}75$ Watt

Representasi Matematis

Jadi, daya disipasi (daya yang berubah jadi panas) padahambatan 11 ohm

Representasi Verbal

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

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

3. Hukum-hukum Faraday

a. Hukum I Faraday

Hukum I Faraday berbunyi sebagai berikut.

"Massa zat yang diendapkan selama proses elektrolisa sebanding dengan jumlah muatan listrik yang melalui larutan itu"

$$m = z \cdot q$$

atau

$$m = z \cdot I \cdot t$$

m = massa zat yang diendapkan.

q = I . t = jumlah muatan listrtik yang melalui larutan.

z = tara Kimia listrik zat, yaitu massa zat yang dipisahkan oleh muatan 1 coulombselama proses elektrolisa satuan kg/coulomb.

b. Hukum II Faraday

Hukum II faraday berbunyi sebagai berikut.

" Massa sebagai zat yang dipisahkan oleh suatu arus listrik pada proses elektrolisa berbanding lurus dengan tara kimia listrik masing-masing " .

Misalkan zat A dan B bersama-sama dipisahkan oleh suatu arus listrik yang besarnya sama dan dalam waktu yang sama pula, maka :

$$m_A : m_B = z_A ; z_B$$

AR = massa atom relatif; v = valensi atom

$$AR/v = \text{berat ekivalen}$$

$$z_A : z_B = \frac{AR_A}{v_A} : \frac{AR_B}{v_B}$$

Latihan Pemecahan Masalah Fisika

Kerjakan di buku Latihanmu!

1. Hitung usaha dan daya rata-rata yang diperlukan untuk memindahkan muatan 96.000 coulomb dalam waktu 1 jam pada beda potensial 50 volt.

2. Kuat arus yang sebenarnya 5 ampere mengalir dalam konduktor yang mempunyai hambatan 20 ohm dalam waktu 1 menit. Tentukanlah :

   a. Besar energi listrknya.

   b. Besar daya listriknya.

3. Sebuah tungku listrik yang mempunyai daya 300 watt hanya dapat dipasang pada beda tegangan 120 volt. Berapa waktu yang diperlukan untuk mendidihkan 500 gram air dari 28 ^{0}C sampai pada titik didih normalnya. Kalor jenis air = 1 kalori per gram ^{0}C.

4. Kawat penghantar dengan hambatan total 0,2 ohm menyalurkan daya 10 KW pada tegangan 250 volt, menuju pada sebuah pabrik mini. Berapa efisiensi dari transmisi tersebut.

5. Sebuah Voltmeter yang mempunyai hambatan 1000 ohm dipergunakan untuk mengukur potensial sampai 120 volt. Jika daya ukur voltmeter = 6 volt, berapa besar hambatan multiplier agar pengukuran dapat dilakukan?

6. Sebuah galvanometer dengan hambatan 5 ohm dilengkapi shunt agar dapat digunakan untuk mengukur kuat arus sebesar 50 ampere. Pada 100 millivolt jarum menunjukkan skala maksimum. Berapa besar hambatan shunt tersebut.

7. Dalam larutan perak nitrat dialirkan arus 4 amper. Jika tara kimia listrik Ag = 1,12 mg/c, berapa mg perak yang dipisahkan dari larutan selama dialiri arus 50detik.

8. Arus listrik 10 ampere dialirkan melalui larutan $CuSO_4$. Berapa lama diperlukan untuk memperoleh 50 gram tembaga murni. massa atom relative Cu = 63,5 Cu bervalensi 2.

9. Arus tetap sebesar 5 ampere mengendapkan seng pada katoda yang massanya 3,048 gram pada aliran arus selam 30 menit. Tentukan massa atom seng bila valensi seng = 2.

10. Dua batang kawat terbuat dari perak dan platina dihubungkan secara seri. Kawat perak panjangnya 2 meter, penampangnya 0,5 mm^2, hambatan jenisnya 1,6.10^{-8} ohm meter. Sedangkan kawat platina panjang 0,48 m. Penampangnya 0,1 mm^2 dan hambatan jenisnya 4.10^{-8}ohm meter. Hitung berapa kalori panas yang timbul pada kawat platina, jika ujung-ujung rangkaian tersebut diberi tegangan 12 volt selama 1 menit.

G. PENERAPAN LISTRIK AC DAN DC DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI

1. Pemasangan Jaringan Transmisi Listrik AC di Jalan

Dari pembangkit listrik menuju ke pelanggan yaitu rumah tinggal, pertokoan, industri maupun instansi. Arus listrik DC dikirim/ditransmisikan melalui sistem jaringan bertegangan tinggi.. Sistem tegangan tinggi dipilih dan bukan sistem arus tinggi sebab berkaitan dengan luas penampang penghantar.

Menurut hukum Ohm V = I R bila dipilih arus tinggi dengan menjaga tegangan konstan $I = \frac{V}{R}$, maka R harus sekecil-kecilnya. Sedangkan $R = \frac{\rho l}{A}$, bila R sekecil-kecilnya memerlukan luas penampang A sebesar-besarnya. Berarti perlu kabel kawat tembaga berpenampang besar, dan kabel seperti itu sangat berat (w = m.g) untuk dibentangkan, serta mahal biaya produksinya. Sedangkan bila dipilih tegangan tinggi dengan menjaga arus konstan, V = I . R maka R harus sebesar-besarnya. Sedangkan $R = \frac{\rho l}{A}$, bila R sebesar-besarnya memerlukan luas penampang A penghantar sekecil-kecilnya. Berarti cukup perlu kabel kawat tembaga berpenampang kecil, dan kabel seperti itu ringan untuk dipasang dan dibentangkan dari satu tiang ke tiang berikutnya, serta murah biayanya.

Gambar 1.36. Jaringan transmisi listrik AC bertegangan tinggi.

luas penampang A penghantar sekecil-kecilnya. Berarti cukup perlu kabel kawat tembaga berpenampang kecil, dan kabel seperti itu ringan untuk dipasang dan dibentangkan dari satu tiang ke tiang berikutnya, serta murah biayanya.

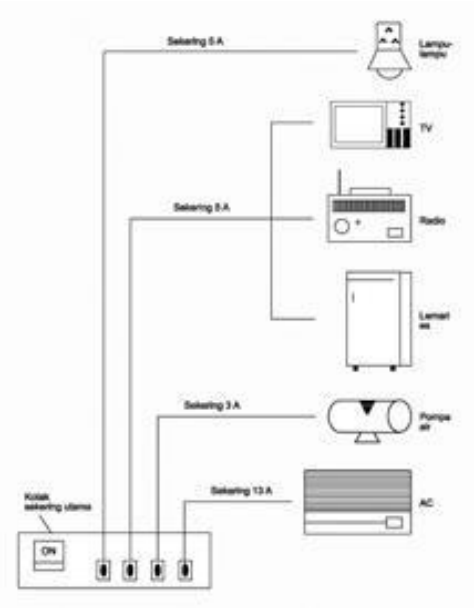
Gambar 1.37. Kabel tembaga memiliki hambatan berbanding terbalikdengan penampangnya

Gambar 1.38. Kabel transmisi listrik AC tegangan tinggi memiliki penampang tidak terlalu besar sehingga mudah dipasang dan dibentangkan

2. Pengamanan Jaringan Listrik AC dalam Rumah

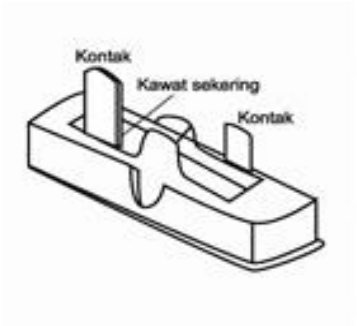
Pemakaian daya listrik jaringan listrik AC (arus bolak-balik) di rumah atau di kantor dibatasi oleh pemutus daya yang dipasang bersama dengan KWh meter. Pemutus daya tersebut memiliki spesifikasi arus tertentu: 2A, 4A. 6A, 10A, 15A. Pemutusan daya 2A digunakan untuk membatasi pemakaian 440 W, pemutusan daya 6A digunakan untuk membatasi pemakaian daya 220 x 6 = 1320 Volt dan seterusnya.

Jika arus listrik melebihi ketentuan maka dengan adanya pemutusan daya secara otomatis akan menurunkan saklar. Untuk keamanan pada alat-alat listrik rumah tangga biasanya pada masing-masing alat dipasang sekering (fuse) seperti ditunjukkan Gambar 1.39.

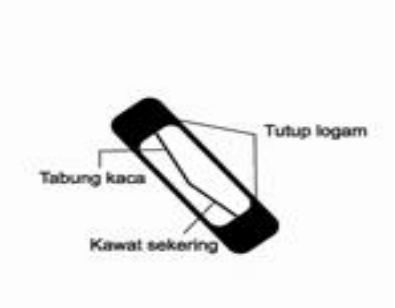


Gambar 1.39. Sekering sebagai pengaman

Pemasangan sekering pada alat listrik untuk mengantisipasi adanya arus yang tiba-tiba membesar yang memungkinkan alat listrik dapat rusak atau terbakar. Dengan adanya sekering, jika arus tiba-tiba membesar maka sekering akan putus dan alat listrik tidak rusak. Sekering di pasaran memiliki nilai tertentu yaitu: 3 A, 5 A, 13 A, 15 A. Bentuk sekering digambarkan pada Gambar 1.40.



(a)



(b)

Gambar 1.40. a) Sekering tipe kawat b) Sekering tipe peluru

Contoh :

Sebuah pembersih vakum memiliki spesifikasi 440 W/220 V. Jika nilai sekering yang ada 3 A, 5 A, 13 A dan 15 A. Sekering mana yang harus dipilih?

Penyelesaian :

Diketahui :

P = 440 W

V = 220 V

Nilai sakering 3 A, 5 A, 13 A dan 15 A

Ditanyakan: Sekering mana yang dipilih?

Jawab : $P = V\,I$

$I = \frac{P}{V} = \frac{440}{220}$

$I = 2A$

Representasi Matematis

Jadi, sekering yang digunakan adalah 3A

Representasi Verbal

3. Pemakaian Alat-alat Rumah Tangga

Pernahkah Anda melihat teko listrik? yaitu suatu alat yang dipergunakan untuk memasak air. Teko listrik ini merupakan salah satu contoh alat yang merubah energi listrik menjadi kalor (Hartatiek, 2022). Alat lain sejenis itu diantaranya rice cooker, kompor listrik, solder listrik, seterika listrik, dan lain-lain. Jika m massa air yang dipanaskan dan c kalor jenis air serta ΔT perubahan suhu, maka energi listrik sebesar

$W = P\,.t$ akan berubah menjadi kalor $Q = m.c.\Delta T$ (dalam hal ini kita mengabaikan kapasitas kalor teko).

Gambar 1.41. Teko Listrik

Contoh :

Sebuah teko listrik 400 watt / 220 volt digunakan untuk memanaskan 1 kg air yang kalor jenisnya 4200 J/kg 0C pada suhu 200 C. Berapakah suhu air setelah dipanaskan selama 2 menit?

Diketahui: P = 400 W, V = 220 V

t = 2 menit = 120 s

m = 1 kg

c = 4200 J/kg ^{0}C

t_1 = 20 ^{0}C

Ditanyakan: t_2 = ...

Jawab : $P.t = m \cdot c. \Delta t$

$400 \times 120 = 1 \times 4200 \times (t_2 - 20)$

$t_2 = 31{,}43$ ºC

Representasi Matematis

Jadi, suhu air setelah dipanaskan selama 2 menit adalah 31,43 ^{0}C

Representasi Verbal

4. Daya Listrik Sesungguhnya pada Alat Listrik

Pada alat listrik rumah tangga umumnya tertulis spesifikasi daya dan tegangannya. Sebagai contoh pada lampu pijar tertulis 60 W/220 V, artinya lampu pijar tersebut akan memiliki daya 60 Watt jika terpasang pada tegangan 220 Volt, dikatakan lampu menyala normal, jika lampu pijar terpasang pada tegangan lebih kecil dari 220 Volt lampu akan meredup, sebaliknya jika lampu terpasang pada tegangan lebih besar dari 220 Volt, maka lampu akan menyala lebih terang. Tegangan 220 V pada alat listrik tersebut merupakan tegangan efektif. Pada bohlam 24 W/ 12 V, tegangan 12 V maksimum, karena sumbernya berasal dari arus DC. Daya sesungguhnya yang digunakan oleh suatu alat listrik memenuhi persamaan:

$$P_2 = \frac{(V_1)^2}{(V_2)^2}.P_1$$

Gambar 1.42. Berbagai macam lampu

Contoh :

Lampu pijar memiliki spesifikasi 40 watt / 220 volt. Berapakah daya yang terpakai pada lampu jika dipasang pada tegangan 110 volt?

Penyelesaian :

Diketahui: P1 = 40 W

V1 = 220 W

V2 = 110 W

Ditanyakan : P_2 =....?

Jawab :

$$P_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 . P_1$$

$$= \left(\frac{110}{220}\right)^2 . (40)$$

$$P_2 = 10 \text{ watt}$$

Representasi Matematis

Jadi, daya yang terpakai padalampu jika dipasang pada tegangan 110 volt.

Representasi Verbal

5. Penerapan Hukum Ohm pada Alat Listrik

Coba kamu perhatikan bola lampu di rumah! Bila bola lampu diberi tegangan (V), apa yang terjadi? Yang terjadi adalah arus mengalir melalui filamen, sehingga bola lampu menyala.

Tegangan yang diberikan pada suatu alat listrik seperti bola lampu harus disesuaikan dengan tegangan yang seharusnya diperuntukkan bagi alat tersebut. Jika lampu 220 V diberi tegangan 110 V, filamen lampu akan dialiri oleh arus yang lebih kecil dari yang seharusnya sehingga lampu 220 V tersebut, menyala redup. Sebaliknya jika lampu 110 V diberi tegangan 220 V, filamen lampu akan dialiri oleh arus yang terlalu besar dari yang seharusnya sehingga lampu 110 V filamennya terbakar.

Jadi suatu alat listrik harus sesuai antara tegangan yang ada di rumah dan tegangan yang tercantumdi alat listrik tersebut.

6. Hubungan Antara Joule dengan KWh pada Penggunaan Energi Listrik

Dalam kehidupan sehari-hari satuan daya watt sekon terlalu kecil sehingga lazim digunakan satuan yang lebih besar yaitu kilo watt jam (KWh). Penggunaan energi listrik di rumah tangga diukur dengan menggunakan satuan kilowatt jam atau kilowatt hour disingkat KWh dimana 1 KWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

Sebuah lampu dari 100 watt yang dinyalakan selama 10 jam menggunakan tenaga listrik sebesar 1 kilo watt jam atau 1 kwh. Persamaan yang digunakan untuk menghitung penggunaan energi listrik tiap hari adalah

$W = P \cdot t$ dalam satuan KWh

Untuk beberapa alat listrik jumlah energi total yang digunakan adalah

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots$$

Pemakaian energi listrik tiap bulan sebesar

$$W = P \cdot t \times 30 \text{ hari}$$

Biaya yang harus dibayarkan tiap bulannya = W x Tarif per KWh

7. Penerapan Listrik DC dalam Kehidupan Sehari-hari

Pemakaian listrik DC (arus searah) sebagai sumber tegangan banyak dipakai pada berbagai peralatan elektronik atau otomotif. Lap top, televisi, radio, tape recorder, kamera,dan peralatan lainsering menggunakan listrik DC sebagai *power supply*nya.

Arus listrik DC diperlukan untuk memfungsikan rangkaian komponen elektronika yang menginput arus lemah. Untuk keperluan itu penggunaan adaptor sebagai pengubah sekaligus memperkecil tegangan arus AC menjadi arus DC sangat mutlak diperlukan

Di dalam computer, televise, tape, tadio yang memakai sumber arus listrik AC dari stop kontak PLN, adaptor di dalam peralatan tersebut mengubah dan menyearahkan arus AC menjadi arus DC dengan tujuan komponen-komponen dalam peralatan tersebut tidak terbakar dan rusak.

Gambar 1.43. Komputer bias digunakan dan menyala sesudah dihubungkan dengan arus AC yang disearahkan oleh adaptor menjadi arus DC

Penggunaan baterai maupun accu pada berbagai peralatan yang harus berfungsi dan digunakan di luar rumah seperti mobil, sepeda motor, traktor mutlak perlu untuk starter atau penerangan kendaraan-kendaraan itu.

Gambar 1.44. Kendaraan untuk memanen gandum, lampu penerangan mobil di jalan memerlukan sumber energi listrik DC untuk menyalakannya

Latihan Pemecahan Masalah Fisika

Kerjakan di buku latihanmu!

1. Elemen pemanas 400 watt / 220 volt digunakan untuk memasak air sebanyak 1 kg dari suhu 20 ^{0}C hingga mendidih pada suhu 100 ^{0}C. Jika kalor jenis air 4200 J/kg ^{0}C, berapakah lama air akan mendidih?
2. Sebuah TV berwarna 1000 W/220 V memerlukan sakering pengaman jika nilai sakering yang ada adalah 3 A, 5 A, 13 A, 15 A. Berapakah nilai sakering yang dipakai?
3. TV berwarna 600 watt / 220 volt tiap hari dinyalakan rata-rata selama 8 jam. Berapakah energi listrik yang terpakai oleh TV setiap hari?
4. Lampu pijar 100 watt / 250 volt dipasang pada tegangan 200 Volt. Berapa arus yang mengalir pada lampu?
5. Air terjun sebuah bendungan tingginya 100 meter memiliki debit aliran 50 m^3s^{-1}. Air terjun digunakan untuk memutar generator. Jika percepatan gravitasi 10 ms^{-2} dan massa jenis air 100 kgm^{-3} serta 80 % energi air terjun berubah menjadi energi listrik. Berapakah daya listrik yang dihasilkan?

Rangkuman

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

$I = Q/t$

I = kuat arus listrik ($^{coulomb}/_{sekon}$ = ampere)

Q = muatan listrik (coulomb)

t = waktu (sekon)

4. Arah arus listrik mengalir dari potensial tinggi (+) menuju ke potensial rendah (–). Arah arus elektron dari potensial rendah menuju ke potensial tinggi.

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

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

6. Hambatan suatu penghantar pada suhu tertentu ditentukan oleh panjang (l), hambatan jenis penghantar (r) dan luas penampang kawat penghantar (A), dirumuskan:

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

7. Beberapa sumber tegangan searah yang dirangkai paralel tidak akan merubah besar tegangan total, namun hanya meningkatkan arus listrik yang masuk.

8. Bunyi hukum I Kirchhoff yaitu kuat arus listrik yang masuk ke suatu titik simpul sama dengan jumlah kuat arus listrik yang keluar dari titik simpul tersebut.

   Persamaan Hukum I Kirchhoff yaitu: $\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$

   Σ dibaca 'sigma' artinya jumlah

   I_{masuk} = arus listrik masuk titik percabangan/simpul I_{keluar} = arus listrik keluar titik

   percabangan/simpul

9. Bunyi Hukum II Kirchhoff yaitu di dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik ( ) dengan penurunan tegangan (IR) sama dengan nol.

   Dirumuskan : $\Sigma\varepsilon + \Sigma IR = 0$

   Σε = jumlah GGL atau sumber arus listrik (baterai) I =

   arus listrik

   R = hambatan listrik

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

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

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

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

12. Satuan energi listrik dalam rumah tangga menggunakan satuan KWh (KiloWatt hour).

    $1\ kWh = 3{,}6 \times 10^6\ J$

    Biaya listrik adalah hasil kali energi listrik yang terpakai dengan tarif listrik.

13. Energi listrik W = P . t = V I t = pada proses pemanasan akan berubah menjadi kalor Q = mc Δt ditulis:

    $W = Q$

    $Pt = mc\ \Delta t$

    $VIt = mc\ \Delta t$

    $I^2Rt = mc\Delta t$

14. Spesifikasi alat listrik dinyatakan dalam daya P dan tegangan V. Jika alat listrik memiliki spesifikasi P_1/V_1 dipasang pada tegangan V_2, daya yang dipakai

$$P_2 = \frac{(V_1)^2}{(V_2)^2} P_1$$

BAB 2 HUKUM OHM DALAM RANGKAIAN LISTRIK

Fase Orientasi

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

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

Sebagian besar dari kita bergantung pada peralatan listrik untuk membuat hidup kita lebih aman, lebih sehat, lebih mudah, dan lebih nyaman. Lampu lalu lintas, penerangan listrik, *VCD player*, TV, *tape recorder*, dan alat-alat rumah tangga yang lain seperti *rice cooker*, seterika listrik, mesin cuci, kulkas, dan lain sebagainya, merupakan sebagian kecil dari peralatan listrik tersebut. Peralatan-peralatan tersebut, di dalamnya terdapat beberapa komponen yang dirangkai dalam sebuah rangkaian listrik dengan arus lemah.

Pada Bab ini, Anda akan belajar tentang arus listrik, tegangan, dan hambatan (resistansi) pada rangkaian listrik.

Pada bagian ini akan menginformasikan tujuan pembelajaran, menyajikan fenomena /simulasi/melakukan demonstrasi terkait materi fisika yang akan dipelajari. Pada bagian ini akan ada pertanyaan terkait konsep kunci dan meminta mahasiswa untuk membuat dugaan.
Fase ini didukung teori ARCS bahwa agar timbul rasa ingin tahu dan minat terhadap pembelajaran yang akan dilakukan maka pebelajar (mahasiswa) harus menaruh perhatian (Keller, 2010). Fase ini didukung hasil

A. ARUS LISTRIK

Dalam pembahasan listrik statik dipelajari tentang partikel yang bermuatan listrik di dalam atom, yaitu elektron dan proton. Elektron adalah pembawa muatan listrik negatif yang dapat digunakan untuk menjelaskan terjadinya arus listrik dan proton pembawa muatan positif.

Listrik dinamis adalah ilmu yang mempelajari tentang listrik yang mengalir. Pada listrik statik, muatan listrik yang telah dipelajari itu pada umumnya tidak mengalir sama sekali atau kalau ada aliran, maka aliran tersebut berlangsung sangat singkat dan sangat kecil sehingga tak dapat ditunjukkan dengan alat pengukur arus.

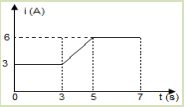
Gunakan Multi Representasi dalam mempelajari Fisika!

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

Fungsi masing-masing format:

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

Contoh: Konsep Arus

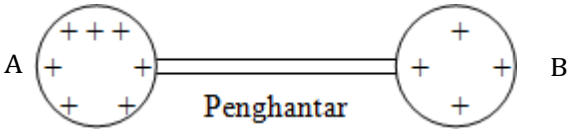
Format	Representasi
Verbal	Muatan yang mengalir tiap satuan waktu dalam sebuah penghantar
Matematis	$I = q/t$
Gambar/diagram	
Grafik	

Selamat Mencoba!

Seperti yang telah kita ketahui bahwa elektron-elektron itu adalah pambawa muatan negatif. Di dalam suatu penghantar elektron-elektron dapat berpindah dengan mudah, sedangkan di dalam suatu isolator elektron-elektron tersebut sukar berpindah.

Arus listrik adalah aliran muatan listrik atau muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Arah arus listrik dari dari potensial yang tinggi ke potensial rendah, jadi berlawanan dengan arah aliran electron. Seandainya muatan-muatan positif di dalam suatu penghantar dapat mengalir, maka arah alirannya sama dengan arah arus listrik, yaitu dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Perhatikan Gambar 1. !



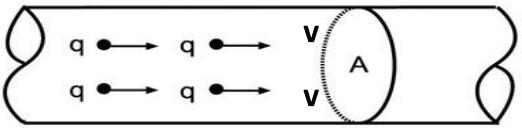
Gambar 1. Penghantar yang menghubungkan dua benda berbeda potensial

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

Supaya arus listrik tetap mengalir dari A ke B, maka muatan positif yang telah sampai di B harus dipindahkan kembali ke A. Dengan demikian maka potensial A selalu lebih tinggi daripada B. Jadi dapat disimpulkan bahwa supaya arus listrik dapat mengalir dalam kawat penghantar, maka antara kedua ujung kawat tersebut harus ada beda potensial.

Kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar ialah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap detik melalui suatu penghantar. Simbol kuat arus adalah I.

Satuan kuat arus listrik ialah Ampere yang diambil dari nama seorang ilmuwan Perancis yaitu : Andrey Marie Ampere (1775 – 1836). Misalkan bahwa dalam waktu t detik mengalir muatan listrik sebesar q coulomb dalam suatu penghantar berpenampang A (Gambar 1.2), maka dirumuskan:



Gambar 2. Muatan listrik q melalui penampang penghantar A tiap satuan waktu

$$I = \frac{q}{t} \text{ atau } q = I.t \qquad (1.1)$$

Satuan $I = \frac{C}{S}$ = Ampere (A). Satuan lain untuk kuat arus misalnya miliampere (mA) dan mikroampere (μA), dengan konversi 1 mA = 10^{-3} A dan 1μA = 10^{-6} A. Sedangkan kuat arus untuk setiap satuan luas penampang dinamakan *kerapatan arus*. Rapat arus dinyatakan dengan:

$$J = \frac{I}{A} \; dengan\ Satuan \frac{A}{m^2} \qquad (1.2)$$

Jumlah muatan adalah n x elektron-elektron yang berpindah.

Atau q = n. E sehingga berlaku pula n .e = I .t (1.3)

Perhatikan lagi Gambar 1.2. Muatan yang bergerak pada penghantar dengan penampang A (m^2), dan muatan-muatan itu bergerak dengan kecepatan v (m/s). Misalkan dalam setiap satuan volume ada n elektron yang bergerak, dan setiap elektron itu memiliki muatan e = 1,6 x 10^{-19} C, maka dalam setiap selang waktu t elektron-elektron itu menempuh jarak:

$s = v \,.\, t$ dengan satuan meter.

Sehingga jumlah elektron-elektron itu dalam volume silinder (V = s.A) penghantar berjumlah

$$q = n\,.e\,.s\,.A$$

$$q = n.e.v.t.\,A$$

dimana q dalam Coulumb. Kuat arus listriknya sebesar

$$I = \frac{n.e.v.t.A}{t} = n.e.v.A \qquad (1.4)$$

dimana I dalam Ampere. Sedangkan rapat arusnya adalah

$$J = \frac{I}{A} = \frac{n.e.v.A}{A} = n.e.v$$

dimana J dalam A/m^2

Pemecahan Masalah

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

Langkah Pemecahan Masalah:

Identification:

I = 2 ampere

t = 5 menit

Ditanya: q .....?

Set Up:

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

1 menit = 60 detik

t = 5 menit = 300 detik

I = q/t

Execute:

I = q/t

2 = q/300

q = 2.300 = 600 C

Evaluation:

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

Yang ditanyakan q dan sudah didapatkan besarnya 600 dengan satuan colomb (C)

Langkah Pemecahan Masalah Fisika (*I-SEE*),
Ingat dan pahami :

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

Selamat Mencoba!

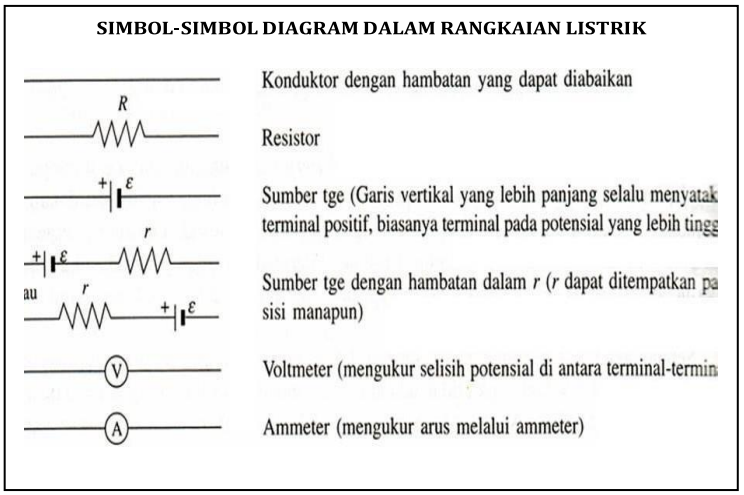
A. HAMBATAN

1. Resistivitas (Hambatan Jenis)

Resistivitas ρ dari sebuah material didefinisikan sebagai rasio besarnya medan listrik dan kerapatan arus.

$$\rho = E/J \qquad (5.4)$$

Satuan SI dari resistivitas adalah ohm meter (Ω.m). Konduktor yang baik memiliki resistivitas kecil dan isolator yang baik mempunyai resistivitas besar.



Resistivitas ρ meningkat dengan bertambahnya suhu. Untuk perubahan suhu yang kecil, perubahan ini secara aproksimasi dapat dinyatakan oleh:

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha\,(T-T_0)] \qquad (1.5)$$

dimana α adalah koefisien suhu resistivitas. Untuk beberapa bahan, dinyatakan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Resistivitas dan koefsien suhu resistivitas bahan dalam suhu kamar (20^0)

Bahan	ρ (Ωm)	α(1/K)
Alumunium	$2{,}8 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Besi	10×10^{-8}	$5{,}0 \times 10^{-3}$
Belerang	1×10^{15}	
Kaca	10^{10}-10^{14}	
Kayu	10^{8}-10^{14}	
Karet	10^{13}-10^{16}	
Karbon	$3{,}5 \times 10^{3}$	$-0{,}5 \times 10^{-3}$
Perak	$1{,}6 \times 10^{-8}$	$3{,}8 \times 10^{-3}$
Tembaga	$1{,}7 \times 10^{-7}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Timah	22×10^{-8}	$4{,}3 \times 10^{-3}$

2. Resistansi (Hambatan)

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

hambatan dalam SI adalah ohm (Ω). Besarnya resistansi suatu bahan atau konduktor dengan luas penampang A dan panjang l serta hambat-jenis (resistivitas) ρ adalah :

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{1.6}$$

dengan

R : Hambatan/resistansi (ohm)

ρ : Hambatan jenis/Resistivitas (ohm. Meter)

l : panjang kawat (m)

A : luas penampang kawat (m)

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

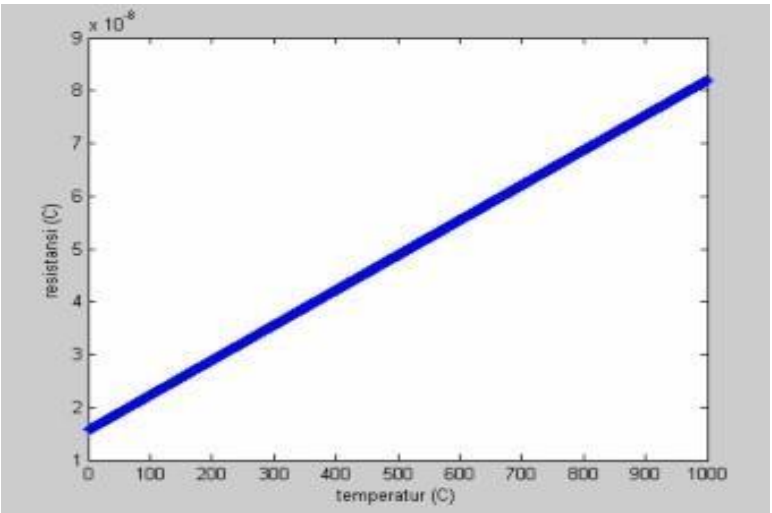
$$R(T) = R_0[1 + \alpha\ (T\text{-}T_0)] \tag{1.7}$$

dengan

R : resistansi pada temperatur T

R_0 : resistiansi pada temperatur T_o (temperatur kamar)

Perubahan resistansi terhadap temperatur dapat dilihat pada kurva, pada Gambar 3berikut:



Gambar 3. Kurva Perubahan Resistansi terhadap Temperatur untuk Bahan Tembaga

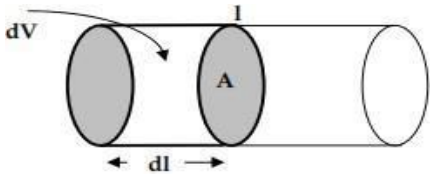
kurva di atas merupakan kurva perubahan resistansi terhadap temperatur untuk bahan tembaga dengan resistansi pada temperatur kamar 1,7 x10-8 Ω dan koefisien temperatur pada temperatur kamar 3,9 x 10^{-3} C^{-1}.

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

3. Hukum Ohm

George Simon Ohm (1789-1854) merumuskan hubungan antara kuat arus listrik (I), hambatan (R) dan beda potensial (V) yang kemudian dikenal dengan hukum Ohm.

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



Gambar 4. Kawat Konduktor dengan Panjang elemen volume *dV*

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

$$dV = A.dl \qquad (1.8)$$

karena *dl* adalah jarak yang ditempuh elektron dengan kecepatan *Vd* dengan waktu 1 detik maka:

$$dl = vd.l = vd \qquad (1.9)$$

sehingga:

$$dV = A.vd \qquad (1.10)$$

sehingga banyaknya muatan yang mengalir pada *dV* adalah:

$$I = A.vd.n.q_e \qquad (1.11)$$

maka diperoleh:

$$I = \left(\frac{q_e^2 \tau.n}{m_e}\right) AE \qquad (1.12)$$

yang berada dalam kurung pada persamaan (1.12) merupakan sifat bahan dan sering disebut konduktivitas σ, sehingga:

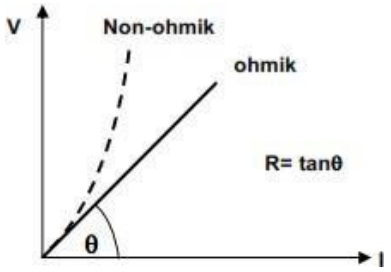
$$I = \sigma AE$$

$$I = \frac{\sigma AV}{l} = \frac{V}{\left(\frac{\rho l}{A}\right)} \qquad (1.13)$$

bagian di dalam kurung dari persamaan (1.13) kita ketahui sebagai R (resistansi), sehingga:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (1.14)$$

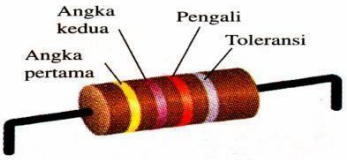
Ini merupakan hukum Ohm. Jika persamaan (1.14) dinyatakan dalam $V = I\ R$, kemudian disketsa dalam grafik, hasilnya nampak bahwa kurva berupa garis lurus dengan gradien menunjukkan nilai dari R. Sifat material yang menunjukkan kurva V-I berbentuk garis lurus seperti Gambar 1.5. disebut materal ohmik. Selain material Ohmik ada juga material non ohmik di mana hambatan R bergantuk juga pada arus listrik I dan jika diplot dalam gravik terhadap I tidak lagi linier.



Gambar 1.5. Kurva Linier Hambatan Ohmik dan non-Ohmik

4. Nilai Tahanan Resistor

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



(a)

Gambar 5.6. Cincin warna resistor

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

Fase Investigasi

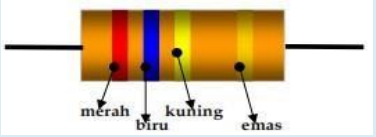
FASE INVESTIGASI
Pada bagian ini, mahasiswa melakukan investigasi terkait dengan fenomena/ simulasi/ demonstrasi fisika menggunakan panduan LKM yang telah disediakan.
Fase investigasi didukung teori belajar konstruktivistik, yaitu individu membangun pengetahuan dalam pikirannya (konstruktivis kognitif), dan individu berinteraksi dengan individu lainnya untuk membangun pengetahuan (konstruktivis sosial) (Moreno, 2010)

Tabel 1.2. Kode Warna Resistor

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

CARA MEMBACA NILAI TAHANAN RESISTOR

Resistor dengan cincin warna sebagai berikut :



Cincin-1 : merah benilai 2
Cincin-2 : biru bernilai 6
Cincin-3 : kuning bernilai 10000
Cincin-4 : emas bernilai 5 %

Sehingga nilai dari resistor tersebut adalah : 620000 ± 5%

Ekeperimen Fisika

Tujuan:

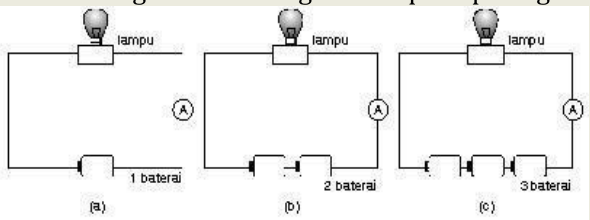
Menyelidiki hubungan antara tegangan (V) dan kuat arus (I)

Alat dan bahan:

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

Petunjuk Teknis :

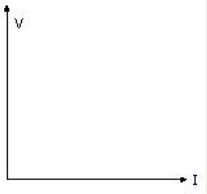
1. Susunlah tiga macam rangkaian seperti pada gambar di bawah ini!



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

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

3. Buat grafik V – I



4. Buat kesimpulan, dan faktor yang mempengaruhi hasil percobaan

B. RANGKAIAN SERI DAN PARALEL

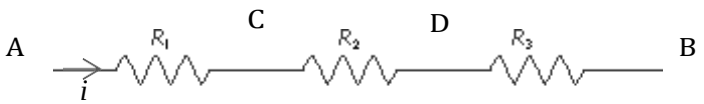
Di dalam suatu rangkaian listrik sering terdapat lebih dari satu resistansi oleh sebuah resistor. Resistor-resistor tersebut tersusun secara seri atau secara paralel atau gabungan antara seri dan paralel.

Yang akan dibahas di sini yaitu resistor yang tersusun secara seri dan paralel.

1. Resistor tersusun Seri

Yang dimaksud dengan resistor tersusun seri adalah resistor-resistor yang disusun secara berurutan, yang satu di belakang yang lain.

Contoh resistor seri :



Gambar 1.6. Resistor tersusun seri

Pada 5.6, R_1, R_2 dan R_3 tersusun secara seri. Didapat pengganti ketiga penghambat ini menjadi sebuah penghambat saja, misalnya disebut saja Rs, sedemikian rupa sehingga kuat arus I dan beda potensial V_{AB} tidak berubah besarnya.

Dari gambar di atas dapat dituliskan bahwa :

$$V_{AB} = V_A - V_B = V_A - V_C + V_C - V_D + V_D - V_B$$

$$= V_{AC} + V_{CD} + V_{DB} \qquad (1.15)$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = V_{AC} + V_{CD} + V_{DB} = I\,R_1 + I\,R_2 + I\,R_3$$

Padahal : $V_{AB} = I\,R_S$

Dengan demikian : $I\,R_S = I\,R_1 + I\,R_2 + I\,R_3$, sehingga :

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (1.16)$$

R_S adalah resistor pengganti dari resistor – resistor yang tersusun secara seri tersebut. Jadi kesimpulannya bahwa besar resistor pengganti dari resistor - resistor yang tersusun secara seri sama dengan jumlah dari resistor - resistor seri itu sendiri.

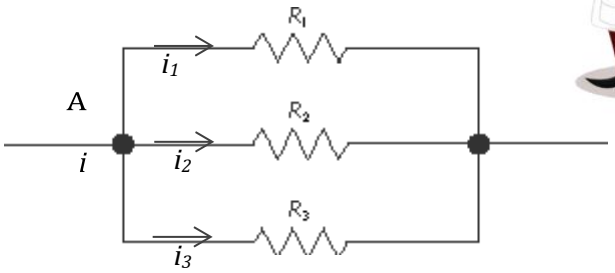
2. Penghambat tersusun Paralel

Yang dimaksud dengan resistor paralel ialah resistor - resistor yang disusun secara berdampingan atau sejajar.

Fase Aplikasi Multi-representasi

Fase Aplikasi-Multirepresentasi juga membantu mahasiswa untuk menggunakan simbol-simbol dalam pemecahan masalah. Secara empirik, fase **Aplikasi-Multirepresentasi** didukung hasil penelitian Ainsworth (1999), bahwa multi representasi sangat terkait dandiperlukan untuk membangun kemampuan mengembangkankonsep dan metode ilmiah

Contoh resistor paralel :



Gambar 1.7. Resistor tersusun parallel

R_1, R_2 dan R_3 pada gambar di atas tersusun secara paralel. Ketiga hambatan ini dapat diganti menjadi satu resistor saja, misalnya disebut R_p, sedemikian rupa sehingga kuat arus I dan beda potensial V_{AB} tidak berubah besarnya.

Berdasarkan Gambar 1.7, dapat ditulis bahwa:

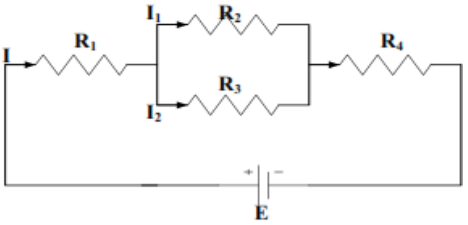
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \tag{1.17}$$

$$\frac{V_{AB}}{R_p} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} + \frac{V_{AB}}{R_3}, \quad \text{Jadi} \quad : \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \tag{1.18}$$

Jadi kesimpulannya bahwa, resistor-resistor yang disusun secara paralel dapat diganti dengan sebuah resistor yang kebalikan harganya sama dengan jumlah kebalikan harga resistor - resistor yang tersusun secara paralel.

Pemecahan Masalah

Perhatikan gambar 1.8 berikut :



Gambar 1.8. Rangkaian listrik

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

Langkah Mendapatkan Solusi :

Identification:

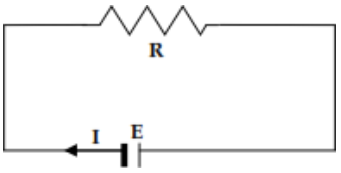
Pada soal diketahui: $R_1 = R_2 = 2$ ohm, $R_3 = R_4 = 4$ ohm, serta E = 22 Volt.

Ditanyakan: arus yang mengalir dalam R_2 (I_1) dan R_3 (I_2).

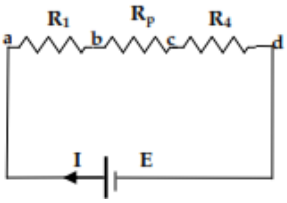
Pada gambar 5.8, merupakan gabungan dari rangkaian seri dan paralel. Kita harus mengingat fungsi rangkaian tersebut, bahwa rangkaian seri untuk membagi beda potensial, rangkaian paralel untuk membagi arus. Kita paralelkan antara R_2 dan R_3 (R_p), hasilnya kita serikan dengan R_1 dan R_4 akan dapat kita hitung I total. Selanjutnya dapat kita hitung V pada R_1, R_p, dan R_4. Selanjutnya kita dapat menghitung I pada R_2 dan R_3.

Set Up:

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



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



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

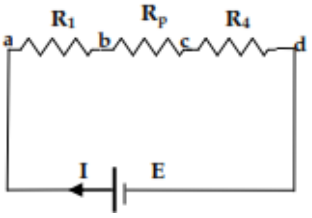
Execute:

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

Arus utama I dapat dihitung menggunakan hukum Ohm :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{22}{22/3} = 3\,A$$

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



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

V_{ab} = $I.R_1$ = 3.2 = 6 V

V_{cd} = $I.R_4$ = 3.4 = 12 V

V_{bc} = $I.R_p$ = 3. 4/3= 4V

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

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

$$I_1 = \frac{V_{bc}}{R_2} = \frac{4}{2} = 2\,A$$

$$I_2 = \frac{V_{bc}}{R_3} = \frac{4}{4} = 1\,A$$

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

Evaluation:

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

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

Jadi I_1 dan I_2 masing-masing adalah 2 A dan 1 A.

C. ENERGI DAN DAYA DALAM RANGKAIAN LISTRIK

1. Energi Listrik

Bila pada ujung-ujung suatu kawat penghantar yang hambatannya R terdapat beda potensial V, maka di dalamnya mengalir arus sebesar I = V/R . Untuk mengalirkan arus ini sumber arus mengeluarkan energi. Sebagian dari energi ini berubah menjadi kalor yang menyebabkan kawat penghantar menjadi panas. Hal ini terjadi karena elektron-elektron bebas dalam kawat atom-atom kawat yang dilaluinya. Berdasar pada hasil percobaan J.P. Joule, besarnya kalor yang timbul ditentukan oleh faktor-faktor (David Halliday & Robert Resnick, 1989) :

a. besarnya hambatan kawat yang dilalui arus

b. besarnya arus yang mengalir

c. waktu atau lamanya arus mengalir.

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

$$W = V\,I\,t \qquad (1.19)$$

dimana: V dalam Volt

I dalam ampere dan

t dalam detik atau sekon

karena $V = I\,R$

maka $W = I^2\,R\,t$ (1.20)

karena $I = V/R$

maka, $W = \frac{V^2}{R}t$ (1.21)

2. Daya Listrik

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

Jadi daya suatu alat listrik = $\frac{\text{usaha yang dilakukan}}{\text{waktu}}$ atau $P = W / t$ (1.22)

karena $W = V \cdot i \cdot t$

maka : $P = V.i.t / t$

$$P = V.i \quad (1.23)$$

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

$$P = I^2 R \quad (1.24)$$

atau : $$P = \frac{V^2}{R} \quad (1.25)$$

Satuan daya = volt Ampere

= Joule / detik atau watt

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

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

Pemecahan Masalah

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

Langkah Pemecahan Masalah:

Identification:

Diketahui :

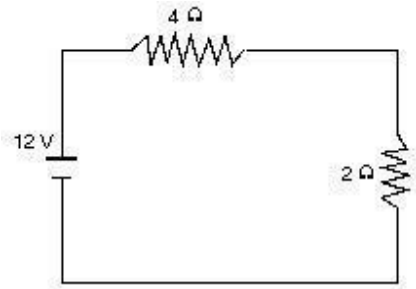
R = 4 ohm dan 2 ohm disusun secara seri

V = 12 volt

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

Set Up:

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



1 menit = 60 detik

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

Execute:

$$W = \frac{V^2}{(R_1+R_2)} \cdot t = \frac{(12)^2}{(4+2)} \cdot 60$$

$$W = 1440 \text{ Joule}$$

$$I = \frac{V}{(R_1+R_1)} = \frac{12}{4+2} = 2 \text{ A}$$

$$W_1 = (I^2) \cdot R_1 \cdot T = (2)^2 \cdot (4) \cdot (60)$$

$$W_1 = 960 \text{ Joule}$$

Evaluation:

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

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

RANGKUMAN

1. Kuat arus listrik dapat mengalir bila antara kedua ujung penghantar ada beda potensial. Alat ukur kuat arus listrik adalah amperemeter. (Andi Prastia, 2022)

2. Beda potensial listrik antara dua titik adalah selisih potensial titik yang satu dengan titik lainnya. Alat ukur tegangan/beda potensial adalah voltmeter (Purba, 2022).

3. Kuat arus adalah jumlah muatan yang mengalir tiap satuan waktu, dirumuskan:

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

   I = kuat arus listrik ($^{coulomb}/_{sekon}$ = ampere)

   Q = muatan listrik (coulomb)

   t = waktu (sekon)

4. Arah arus listrik mengalir dari potensial tinggi (+) menuju ke potensial rendah (–). Arah arus elektron dari potensial rendah menuju ke potensial tinggi.

5. Hambatan suatu penghantar pada suhu tertentu ditentukan oleh panjang (l), hambatan jenis penghantar (r) dan luas penampang kawat penghantar (A), dirumuskan:

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

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

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

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

   $R_S = R_1 + R_2 + R_3$

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

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

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

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

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

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

Fase Evaluasi

Fase Ke-4 adalah Evaluasi yaitu mengevaluasi proses dan hasil pemecahan masalah yang telah diberikan.
didukung teori *self regulated learning*, bahwa kemampuan seseorang untuk mengontrol semua aspek pembelajarannya sendiri, dari perencanaan awal sampai mengevaluasi kinerjanya yang dicapainya (Moreno, 2010) dan dukungan empirik hasil penelitian Zimmerman & Schunk (2012)

LATIHAN PEMECAHAN MASALAH FISIKA

1. Lima buah kawat yang panjangnya 50 cm mempunyai hambatan jenis 2,5 Ωm dan luas penampangnya 5 mm^2 dirangkai paralel, kawat tersebut dihubungkan dengan sumber arus searah dengan beda potensial 10 V. Tentukan tahanan pengganti dan kuat arus yang melalui kawat tersebut!
2. Sebuah rangkaian sederhana dengan resistor tunggal dihubungkan dengan sumber tegangan V dan ampere meter menunjukkan A. Jika tegangan dinaikkan dua kali apa yang akan terjadi dengan arus dan nilai hambatannya?
3. Andika memiliki tiga buah resistor yang besarnya sama,yang akan dirangkai dan dihubungkan dengan sumber tegangan. Bagaimana caranya agar Andika mendapatkan arus yang keluar memalui rangkainnya adalah yang paling besar?
4. Dalam sebuah rangkaian listrik yang terhubung dengan sumber tegangan 12 volt, diinginkan arus 3 A, 2 A, dan 1 A. Bagaimana rangkaian resistor harus dibuat?

DAFTAR PUSTAKA

Abtokhi, A., Jatmiko, B., & Wasis, W. (2021). Evaluation of self-regulated learning on problem-solving skills in online basic physics learning during the Covid-19 pandemic. *Journal of Technology and Science Education*, *11*(2), 541-555

Bakri, F., Kusuma, K.F., & Permana, A.H. (2021). TPACK implementation in physics textbook: Practice problem-solving skill in Newton's law of motion for senior high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, *2019*(1), 012057.

Bancong, H., Putra, D.P., & Nurazmi, N. (2021). The purposes of students in conducting thought experiments while solving physics problem. *AIP Conference Proceedings*, *2330*, 050032

Cramer, C. (2022). Problem-solving a lesson from relativity in physics education. *Physics Education*, *57*(4),045010.

Currie, H., Lough, C., Currie, G., Bushong, S., & Bailey, D.L. (2022). Practical learning through radiation physics problem solving. *Radiography*, 28(4), 981-990.

Dohar Sinabutar, M. T. (2019). Pembuatan Modul Praktik Pengukuran Tegangan dan Arus Pada Rangkaian Listrik di SMP Swasta Perguruan Nasional Sidikalang. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 9(2), 356-361.

Fuada, S. (2022). Analisis rangkaian pembagi tegangan dan perbandingan hasil simulasinya menggunakan simulator offline. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 6(1) 28-46.

Giancoli, D. C. (2015). *Fisika Jilid 2 Edisi 7.* Jakarta: Erlangga.

Gjerde, V., Havre Paulsen, V., Holst, B., & Kolstø, S.D. (2022). Problem solving in basic physics: Effective self-explanations based on four elements with support from retrieval practice. *Physical Review Physics Education Research*, *18*(1), 010136.

Good, M., Maries, A., & Singh, C. 2022. Additional unexpected benefits of rewarding students for effective problem solving strategies: Supporting gender equity in physics. *Physics Education*, *57*(5),055005.

Halliday, D., & Resnick, R. P. S. (2014). *FISIKA.* Jakarta: Erlangga.

Hartatiek, S. A. (2022). Pemberdayaan guru IPA MTS dalam penggunaan laboratorium virtual di masa pandemi Covid-19. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat (SINAPMAS).* 2963-1599 (pp. 363-368). Malang: Universitas Negeri Malang.

Lee, J., & Körhasan, D. N. (2022). Effect of group type on group performance in peer-collaborated two-round physics problem solving. *Physical Review Physics Education Research, 18*(2),020112

Lee, S., Choi, Y.-I., & Kim, S.-W. (2021). Roles of emotions induced by immediate feedback in a physics problem-solving activity. *International Journal of Science Education*, *43*(10), 1525-1553.

Lestari, N.A., & Deta, U.A. 2021. The correlation between physics problem-solving skill and metacognitive ability from collaboration of socratic dialogue-modeling instruction implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1796*(1),012093.

Lestari, Syafril, S., Latifah, S., (...), Asril, Z., & Yaumas, N.E. (2021). Hybrid learning on problem-solving abiities in physics learning: A literature review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1796*(1),012021.

Murshed, M., Phang, F.A., & Bunyamin, M.A.H. (2021). Transformation of multiple representation in real world physics problem solving. *Journal of Physics: Conference Series, 1760*(1),012004.

Ni Putu Trisna Sulistyan, M. G. (2022). Pengembangan Multimedia Pembelajaran Interaktif Berbasis Aplikasi Articulate Storyline 3 pada Topik Rangkaian Listrik Untuk Siswa SD.

Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti, 9(1),25-37.

Prastia, A. H. (2022). Rancang bangun alat praktikum hukum ohm digital berbasis arduino mega 2560. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 401-407.

Pelobillo, G. (2022). Assessment development in measuring students' context-rich problem-solving ability in physics. *International Journal of Instruction*, 15(4), 855-870.

Purba, A. (2022). Pengaruh Penggunaan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Think Pair Share (Tps) Terhadap Hasil Belajar Fisika Materi Listrik Dinamis Di Kelas IX SMP Negeri 1 Padangsidimpuan. *Jurnal PhysEdu (PHYSICS EDUCATION)*, 4(1), 28-35.

Ramli, Z., Sunaryo, & Serevina, V. (2021). E-book static fluid and dynamic fluid web-based with a problem-based learning model to improve students physics problem-solving skills. *Journal of Physics: Conference Series*, *2019*(1),012001

Rezeki, H., Rokhmat, J., Gunawan, Makhrus, M., & Wahyudi. (2021). Implementation of causalitic-learning devices to improve creative thinking ability and problem-solving of students in physics. *Journal of Physics: Conference Series, 1816*(1),012048

Santosa, I.E. (2021). Analysing students' problem solving skills on the topics of modern physics. *Journal of Physics: Conference Series. 2019*(1),012026

Setyaningsih, R. (2022). Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Masalah Pada Materi Rangkaian Listrik Di MTs Attaqwa 03 Bekasi. *EDUCATOR : Jurnal Inovasi Tenaga Pendidik dan Kependidikan*, 2(2), 184-196.

Silfiasyafitri, P. J. (2022). Pembuatan modul berbasis discovery learning pada mata pelajaran dasar listrik dan elektronika. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 12595–12605.

Susanti, A., Diani, R., Satiarti, R.B., Munawaroh, R., & Fujiani, D. (2021). Blended learning model: The effect on physics problem-solving skills viewed from self-efficacy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1796*(1), 012014.

Susanti, E., Maulidah, R., & Makiyah, Y.S. (2021). Analysis of problem-solving ability of physics education students in STEM-based project based learning. *Journal of Physics: Conference Series*, *2104*(1),012005.

Sutarno, S., Putri, D.H., Risdianto, E., Satriawan, M., & Malik, A. (2021). The students' physics problem solving skills in basic physics course. *Journal of Physics: Conference Series*, *1731*(1), 012078

Sutriani, & Mansyur, J. (2021). The analysis of students' ability in solving physics problems using multiple representations. *Journal of Physics: Conference Series*, *1760*(1),012035

Syarifah Muthia Putri, F. A. (2022). Peningkatan Pemahaman Dan Pengetahuan Siswa Melalui Praktikum Hukum Kirchoff Di Madrasah Tsanawiyah. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*,6(2) 843-849.

Valendio Febriano, W. I. (2022). Simulasi Rangkaian DC-DC Buck Converter Dengan Variasi Nilai Resistor Beban pada Sistem Penyimpanan Energi Listrik Panel Surya. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2022, 10(1),* (pp. 83-88). Jakarta: Program Studi Fisika dan Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta.

Vignal, M., & Wilcox, B.R. (2022). Investigating unprompted and prompted diagrams generated by physics majors during problem solving. *Physical Review Physics Education Research, 18*(1),010104.

Viona Permata Sari Eriska, R. M. (2022). EvaluasiPembelajaran Daring Mata Kuliah Rangkaian Listrik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 3(1), 34-38.

Wati, M., Safiah, S., & Misbah, M. (2021). How to train problem-solving skills in physics using authentic learning. *Journal of Physics: Conference Series, 1760*(1),012009.

UNESA