

**Pendalaman Materi IPA Fisika SMP/MTs**  
**RANGKAIAN ARUS SEARAH**

**Disusun dan disajikan sebagai materi PLPG tahun 2008**

**Oleh :**  
**Drs. Sutrisno, M.Pd.**

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**  
**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMJU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**  
**2008**

## **BAB II**

### **RANGKAIAN ARUS SEARAH**

#### **1. Standar Kompetensi**

3. Memahami konsep kelistrikan dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

#### **2. Kompetensi Dasar**

- 3.2 Menganalisis percobaan listrik dinamis dalam suatu rangkaian serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

#### **3. Analisis Kompetensi dan Pengembangan Indikator**

- a. Kompetensi/kata kerja operasional dalam standar kompetensi

Kompetensi/kata kerja operasional yang terdapat dalam standar kompetensi di atas adalah :

- memahami
- menerapkan

- b. Kompetensi/kata kerja operasional dalam kompetensi dasar

Kompetensi/kata kerja operasional yang terdapat dalam kompetensi dasar di atas adalah :

- Menganalisis

- c. Kompetensi/kata kerja operasional untuk indikator

Pada kasus ini tampak bahwa kompetensi yang terdapat dalam kompetensi dasar (yaitu menganalisis) lebih tinggi dari kompetensi yang terdapat dalam Standar Kompetensi (yaitu memahami dan menerapkan). **Bagaimana pendapat anda ?**

Berdasarkan kompetensi yang terdapat dalam standar kompetensi dan kompetensi dasar di atas, dan dengan menggunakan taksonomi Anderson, maka kompetensi/kata kerja operasional yang dapat digunakan untuk membuat indikator adalah

kompetensi/kata kerja operasional yang termasuk ke dalam kompetensi-kompetensi tersnut di atas seperti yang dikemukakan berikut ini.

Memahami	Menerapkan	Menganalisis
Menggolongkan	Menerapkan	Menganalisis
Mempertahankan	Menentukan	Mengategorikan
Mendemonstrasikan	Mendramatisasikan	Mengelompokkan
Membedakan	Menjelaskan	Membandingkan
Menerangkan	Menggeneralisasikan	Membedakan
Mengekspresikan	Memperkirakan	Mengunggulkan
Mengemukakan	Mengelola	Mendiversivikasikan
Memperluas	Mengatur	Mengidentifikasi
Memberi contoh	Menyiapkan	Menyimpulkan
Menggambarkan	Menghasilkan	Membagi
Menunjukkan	Memproduksi	Merinci
Mengaitkan	Memilih	Memilih
Menafsirkan	Menunjukkan	Menentukan
Menaksir	Membuat sketsa	Menunjukkan
Mempertimbangkan	Menyelesaikan	Melaksanakan survei
Memadankan	Menggunakan	
Membuat ungkapan		
Mewakili		
Menyatakan kembali		
Menulias kembali		
Menentukan		
Merangkum		
Mengatakan		
Menerjemahkan		
Menjabarkan		

d. Pengembangan indikator

1. Beberapa contoh indikator

- Melakukan percobaan untuk mengelompokkan bahan konduktor dan isolator.
- Menghitung kuat arus/beda potensial listrik dalam rangkaian sederhana arus searah.
- Membuat dan menginterpretasikan grafik beda potensial listrik sebagai fungsi kuat arus listrik.
- Menghitung nilai hambatan pengganti rangkaian hambatan seri dan atau paralel.

2. Tugas membuat indikator

Buatlah sebanyak-banyaknya indikator yang sesuai dengan kompetensi dan materi ajar yang terkandung dalam standar kompetensi 3 dan kompetensi dasar 3.1!

## 4. Analisis Materi Ajar

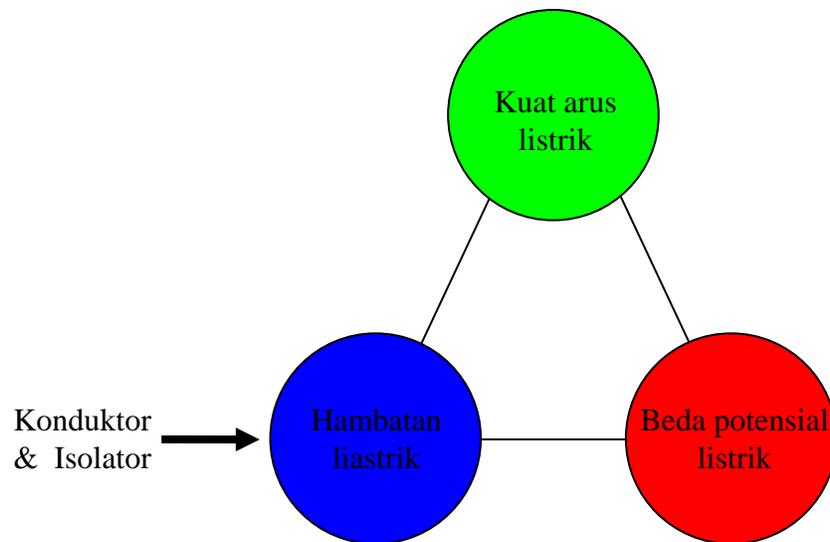
### a. Konsep Prasyarat

- Muatan listrik
- Elektron

### b. Konsep Esensial Materi Ajar

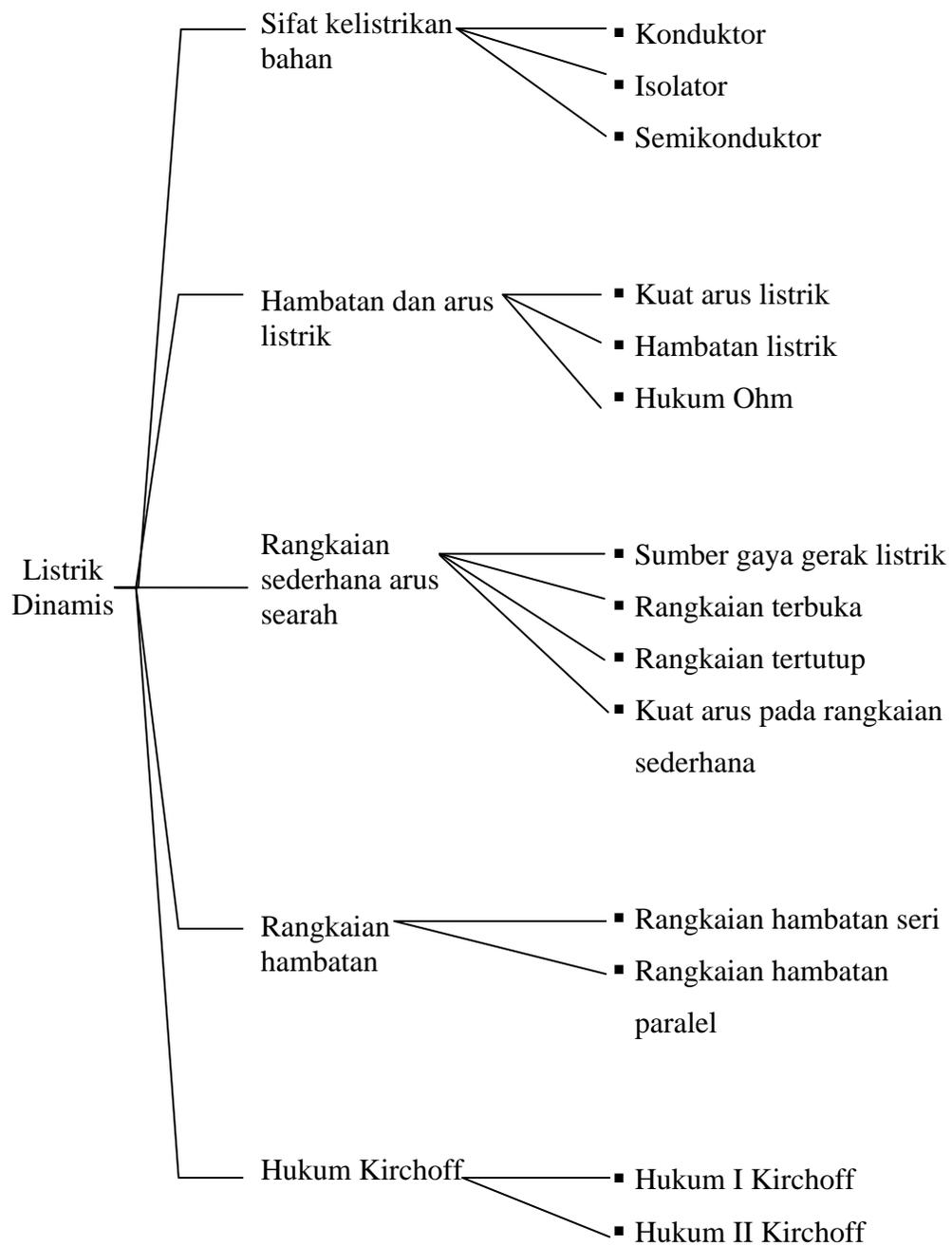
- Konduktor
- Isolator
- Hambatan listrik
- Kuat arus listrik
- Beda potensial listrik

### c. Peta Konsep Materi Ajar



Gambar 1. Peta konsep listrik dinamik

**d. Bagan Materi Ajar**



e. Aspek Kognitif, Aspek Afektif dan Aspek psikomotorik Materi Ajar

Materi ajar		Kognitif	Afektif	Psiko motorik
Sifat kelistrikan bahan	Konduktor	v	v	v
	Isolator	v	v	v
	Semikonduktor	v		
Hambatan dan arus listrik	Kuat arus listrik	v	v	v
	Hambatan listrik	v	v	v
	Hukum Ohm	v		
Rangkaian sederhana arus searah	Sumber gaya gerak listrik	v	v	
	Rangkaian terbuka	v	v	v
	Rangkaian tertutup	v	v	v
	Kuat arus pada rangkaian sederhana	v	v	v
Rangkaian hambatan	Rangkaian hambatan seri	v	v	v
	Rangkaian hambatan paralel	v	v	v
Hukum Kirchoff	Hukum I Kirchoff	v	v	v
	Hukum II Kirchoff	v		

## f. Uraian Materi Ajar

### RANGKAIAN ARUS SEARAH

Bermula dari penemuan gejala kelistrikan seperti elektrifikasi, muatan listrik, induksi, dan sebagainya seperti yang telah dikemukakan dalam bab I, pengetahuan kelistrikan terus berkembang sejalan dengan kemampuan para ahli fisika untuk dapat menyelidiki, memahami, dan menjelaskan berbagai gejala listrik statis seperti gaya listrik, statik, medan listrik statik, energi potensial listrik statik, potensial listrik statik dan sebagainya. Pada masa kini pengetahuan kelistrikan tidak lagi terbatas pada listrik statik saja, tetapi sudah sampai kepada listrik dinamik. Dalam listrik dinamik pembicaraan tidak dibatasi hanya pada medan listrik statik atau medan listrik yang tidak berubah terhadap waktu saja seperti dalam listrik statik, tetapi juga membicarakan medan listrik yang berubah terhadap waktu seperti dalam gelombang elektromagnetik dan munculnya gejala arus listrik dalam konduktor.

Penyelidikan atas munculnya arus listrik dalam konduktor melahirkan berbagai pengetahuan baru seperti tentang sumber gaya gerak listrik (sumber ggl), arus searah, arus bolak-balik, rangkaian listrik dan sebagainya. Tentang rangkaian listrik saja, sekarang begitu banyak macam dan bentuk rangkaian listrik, mulai dari yang sederhana dan kecil sampai kepada yang besar dan rumit, mulai dari rangkaian arus searah sampai ke rangkaian arus bolak-balik. Dalam bab ini akan dikemukakan pengetahuan dasar mengenai listrik dinamik, yaitu dasar-dasar pengetahuan mengenai rangkaian sederhana arus searah.

Pembahasan mengenai rangkaian arus searah ini meliputi Sifat kelistrikan bahan, hambatan dan arus listrik, sumber gaya gerak listrik dan rangkaian arus searah, rangkaian hambatan seri, rangkaian hambatan paralel, dan hukum Kirchoff. Semua materi pembahasan ini akan menjadi konsep prasyarat pada saat membicarakan energi dan daya listrik pada bab berikutnya.

#### **Perhatian :**

Pembahasan ini adalah bagi para guru IPA SMP/MTs. Untuk pembahasan dalam

pembelajaran di SMP/MTs, para guru hendaknya mengolahnya kembali.

### **Konduktor dan Isolator**

Pengetahuan dan percobaan-percobaan listrik dinamik sering sekali berkaitan dengan konsep-konsep konduktor dan isolator. Sifat kelistrikan bahan berdasarkan kepada kemampuan bahan dalam menghantarkan arus listrik dapat dibedakan atas bahan konduktor, bahan isolator dan bahan semikonduktor.

- **Isolator** adalah benda yang tidak memiliki elektron yang dapat bergerak bebas. Elektron tidak dapat bergerak di dalam bahan isolator. Isolator tidak dapat menghantarkan arus listrik.
- **Konduktor** adalah benda yang memiliki elektron yang dapat bergerak bebas. Ada cukup banyak elektron dapat bergerak (konduksi) di dalam bahan konduktor. Konduktor dapat menghantarkan arus listrik.
- **Semikonduktor** adalah isolator yang pada suhu tinggi bersifat sebagai konduktor.

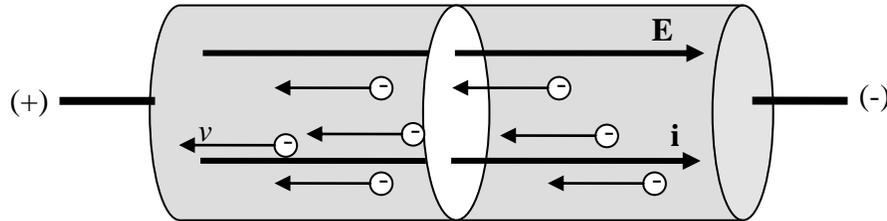
Eelektron yang dapat bergerak bebas di dalam konduktor disebut sebagai elektron bebas. Dengan demikian dapat diartikan bahwa konduktor adalah bahan yang memiliki banyak elektron bebas sehingga ia dapat menghantarkan arus listrik. Dalam bahan konduktor logam, elektron bebas itu akan bertindak sebagai pembawa atau pengangkut aris listrik. (Baca lengkapnya dalam teori pita energi mengenai konduktor, isolator dan semikonduktor)

### **Hambatan dan Arus Listrik**

Dalam keadaan konduktdor terisolasi dan tidak menghantarkan arus listrik, elektron bebas dalam konduktor padat berada dalam keadaan tersebar merata dan bergerak secara acak seperi halnya gerak molekul-molekul gas dalam ruang tertutup. Jika kita ambil misalnya sepotong konduktor berbentuk kawa yaitu berbentuk silinder dengan penampang berbentuk lingkaran dengan diameter yang jauh lebih kecil dari panjangnya, dan kita tinjau salah satu penampang melintangnya, maka dalam keadaan kawat itu tidak berarus listrik, tidak akan ada jumlah netto elektron yang menembus penampang kawat konduktor itu pada pada satu arah tertentu dalam setiap selang waktu yang dipilih sembarang.

Bila kawat itu diberi beda potensial listrik pada arah panjangnya, maka pada kawat bekerja medan listrik yang arahnya searah dengan panjang kawat. Medan listrik ini

menyebabkan elektron bebas dalam kawat mengalami gaya listrik sehingga mereka mendapat percepatan yang arahnya berlawanan dengan arah medan listrik itu, dan itulah yang menyebabkan timbulnya arus listrik dalam kawat.



Gambar 1. Gerak elektron dalam konduktor berarus

Bila laju rata-rata elektron bebas dalam konduktor adalah  $v$ , maka selama selang waktu  $\Delta t$  elektron-elektron itu bergerak dalam konduktor menempuh jarak sepanjang  $\Delta l$  di bawah ini.

$$\Delta l = v \cdot \Delta t$$

Jika luas penampang konduktor  $A$ , maka volume konduktor yang dilalui oleh elektron-elektron itu adalah  $\Delta V$ .

$$\Delta V = A \cdot \Delta l = A \cdot v \cdot \Delta t$$

Jika jumlah elektron bebas dalam tiap satu satuan volume konduktor adalah  $n$ , maka jumlah elektron bebas dalam volume  $\Delta V$  di atas adalah  $\Delta N$ .

$$\Delta N = n \cdot \Delta V = n \cdot A \cdot v \cdot \Delta t$$

Karena muatan satu elektron sama dengan negatif muatan fundamental ( $-e$ ), maka jumlah muatan bebas yang bergerak dalam konduktor yang ditinjau itu selama  $\Delta t$  adalah

$$\Delta Q = -e \cdot \Delta N = -e \cdot n \cdot A \cdot v \cdot \Delta t$$

Muatan bebas yang bergerak ( $\Delta Q$ ) selama selang waktu ( $\Delta t$ ) itu menyebabkan terjadinya arus listrik dalam konduktor. Secara konvensional (menurut perjanjian) arus listrik dalam konduktor arahnya berlawanan dengan arah gerak elektron yang menyebabkannya, dan besarnya arus listrik itu disebut sebagai kuat arus listrik. Kuat arus listrik didefinisikan sebagai jumlah muatan bebas yang bergerak dalam konduktor pada tiap satu satuan waktu. Secara matematik, kuat arus memenuhi persamaan di bawah ini.

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e \cdot n \cdot A \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

$$i = e.n.a.v$$

Kuat arus listrik dalam SI dinyatakan dengan satuan ampere (A) dengan nilai

$$1\text{ampere} = \frac{1\text{coulomb}}{1\text{dtk}}$$

Selain kuat arus, dikenal dan sering kali dibutuhkan juga besaran arus listrik yang disebut dengan rapat arus listrik ( $J$ ) dalam SI dinyatakan dengan satuan ampere/m<sup>2</sup>. Rapat arus listrik adalah adalah kuat arus listrik yang melewati suatu penampang konduktor dibagi dengan luas penampang konduktor itu, berarti rapat arus adalah kuat arus pada tiap satu satuan luas penampang konduktor.

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

Secara umum untuk segala jenis bahan, rapat arus yang terjadi akan semakin besar jika medan listrik ( $E$ ) yang menyebabkannya juga semakin besar, tetapi ini tidak berarti bahwa untuk setiap bahan rapat arus sebanding dengan medan listrik. G.S. Ohm (1789 – 1854) menyatakan bahwa, ***untuk kebanyakan bahan yang bersifat penghantar, terutama logam yang suhunya tetap, rapat arus sebanding dengan medan listrik.*** Perbandingan antara rapat arus dengan medan listrik dalam konduktor itu kemudian disebut sebagai hambatan jenis ( $\rho$ ) konduktor yang bersangkutan.

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Sesuai dengan konsep gradien potensial listrik, medan listrik ( $E$ ) dalam konduktor adalah beda potensial listrik ( $V$ ) pada tiap satu satuan panjang ( $l$ ) konduktor itu

$$E = \frac{V}{l}$$

sehingga hambatan jenis dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\rho = \frac{V/l}{i/A} = \frac{V}{i} \frac{A}{l}$$

Persamaan terakhir di atas dapat diubah ke dalam bentuk

$$\rho \frac{l}{A} = \frac{V}{i}$$

dan  $\rho \frac{l}{A}$  pada persamaan di atas diberi simbol R dan disebut sebagai hambatan listrik, sehingga persamaan terakhir di atas dapat diubah menjadi

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

Dalam SI, kuat arus (i) dinyatakan dengan satuan amper, beda potensial listrik (V) dinyatakan dengan satuan volt, sehingga hambatan listrik (R) dinyatakan dengan satuan volt/amper atau disebut ohm, dengan nilai

$$1 \text{ohm} = 1\Omega = 1 \frac{\text{volt}}{\text{amper}}$$

Dengan demikian, satuan hambat jenis ( $\rho$ ) adalah ohm.m atau  $\Omega.m$ .

Untuk konduktor pada umumnya, hambat jenis dan hambatan listrik konduktor bergantung kepada temperatur, dinyatakan dengan persamaan hambat jenis pada suhu t adalah

$$\rho_t = \rho_0 \{1 + \alpha(t - t_0)\}$$

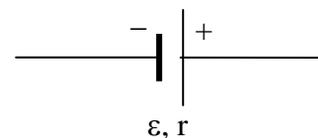
dan hambatan pada suhu t adalah

$$R_t = R_0 \{1 + \alpha(t - t_0)\}$$

### Gaya Gerak Listrik dan Rangkaian Arus Searah

Sumber gaya gerak listrik (sumber ggl) adalah alat yang dapat mempertahankan beda potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian. Walaupun disebut sumber, sesungguhnya alat ini tidak menghasilkan muatan listrik ataupun menghasilkan energi listrik, melainkan hanya mengubah bentuk energi, misalnya energi kimia menjadi energi listrik. Pada bagian ini tidak akan dibahas mengenai cara kerja dan proses yang terjadi di dalam sumber gaya gerak listrik, melainkan hanya sifat dan kegunaannya dalam rangkaian listrik.

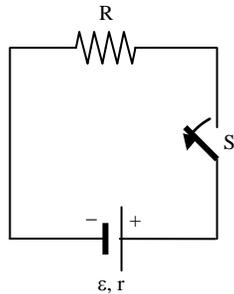
Sebuah sumber gaya gerak listrik, digambarkan dengan simbol seperti pada gambar di samping ini. Dalam keadaan tidak mengalirkan arus atau disebut juga sebagai dalam keadaan terbuka, beda potensial sumber gaya gerak listrik adalah  $\varepsilon$  dan hambatan dalamnya adalah r yang terangkai seri dengan sumber gaya gerak listrik itu. Pada gambar berikut ini,



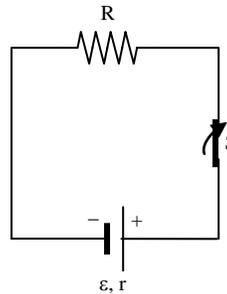
Gambar 2. Sumber ggl

sebuah sumber gaya gerak

listrik ( $\epsilon, r$ ) dihubungkan dengan sebuah saklar (S) dan sebuah hambatan luar (R). Perhatikan perbedaan rangkaian pada gambar (a) dan rangkaian pada gambar (B).



Gambar 3.a. Rangkaian terbuka



Gambar 3.b. Rangkaian tertutup

Pada rangkaian seperti rangkaian dalam gambar 2.a. tidak terjadi arus listrik, karena saklar S dalam keadaan terbuka. Rangkaian yang tidak ada arus listrik mengalir di dalamnya seperti itu disebut sebagai rangkaian terbuka. Pada rangkaian seperti rangkaian dalam gambar 2.b. tidak arus listrik, karena saklar S dalam keadaan tertutup. Rangkaian yang di dalamnya mengalir arus listrik disebut sebagai rangkaian tertutup. Rangkaian tertutup yang terdiri dari sebuah sumber gaya gerak listrik dan sebuah hambatan luar, dengan atau tanpa saklar disebut sebagai rangkaian sederhana. Karena sumber gaya gerak listrik seperti itu dalam rangkaian hanya menggerakkan muatan ke satu arah tertentu saja, maka arus dalam rangkaian mengalir ke satu arah saja. Rangkaian dengan sumber gaya gerak listrik seperti itu disebut sebagai rangkaian arus searah. Besarnya beda potensial sumber gaya gerak listrik ( $\epsilon$ ) itu adalah usaha yang dilakukan sumber gaya gerak listrik ( $\Delta W$ ) untuk menggerakkan setiap satu satuan listrik ( $\Delta Q$ ) yang menyebabkan arus listrik dan persamaannya adalah sebagai berikut ini.

$$\epsilon = \frac{\Delta W}{\Delta Q}$$

Dalam SI, beda potensial listrik sumber gaya gerak listrik ( $\epsilon$ ) dinyatakan dengan satuan volt, energi ( $\Delta W$ ) dinyatakan dengan satuan joule dan muatan yang bergerak ( $\Delta Q$ ) dinyatakan dengan satuan coulomb.

$$1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$$

Karena usaha yang dilakukan sumber gaya gerak listrik, muatan pembawa arus bertambah energinya sehingga ia bergerak menyeberangi beda potensial sumber gaya

gerak listrik. Yenergi yang diperoleh muatan pembawa arus itu kemudian dilepaskannya ketika melewati hambatan luar R dan hambatan dalam r, dan menurut hukum kekekalan energi selama proses itu berlangsung dipenuhi persamaan

$$\Delta Q \cdot \varepsilon = \Delta Q (V + \Delta V)$$

yang dapat disederhanakan menjadi

$$\varepsilon = V + \Delta V$$

Dengan menggunakan hubungan beda potensial listrik dan hambatan listrik yang telah dibahas sebelumnya, maka persamaan terakhir di atas dapat diubah menjadi

$$\varepsilon = iR + ir$$

Pada persamaan di atas, IR sering disebut sebagai tegangan jepit, dan ir adalah penurunan tebeda potensial listrik (disebut jatuh tegangan) pada hambatan dalam sumber gaya gerak listrik. Kuat arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dapat dicari dengan persamaan di bawah ini.

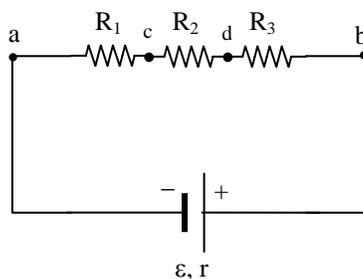
$$i = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

### Rangkaian Hambatan

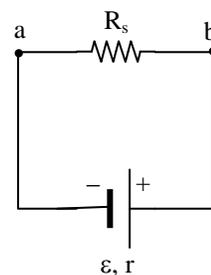
Nilai hambatan atau resistor yang diproduksi oleh pabrik tidaklah memiliki harga sembarang, sedangkan nilai hambatan yang dibutuhkan dalam rangkaian dapat memiliki harga tertentu yang tidak diproduksi oleh pabrik. Untuk mengatasi hal itu, maka diperlukan sebuah rangkaian hambatan yang nilai hambatan penggantinya memnuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh pabrik. Rangkaian hambatan itu adalah **rangkaian hambatan seri**, **rangkaian hambatan paralel** dan atau gabungan keduanya.

### Rangkaian hambatan seri

Pada rangkaian dalam gambar 4.a, antara titi a dan titib b adalah rangkaian seri hambatan R1, R2, dan R3 dan pada gambar 4.b. adalah rangkaian penggantinya.



Gambar 4a. Tangkaian hambatan seri



4.b. Rangkaian pengganti

Sesuai dengan yang telah diperoleh sebelumnya, maka kuat arus dalam rangkaian hambatan seri di atas dapat dicari dengan persamaan

$$\Delta Q \cdot \varepsilon = \Delta Q \cdot (V_{ac} + V_{cd} + V_{db} + \Delta V)$$

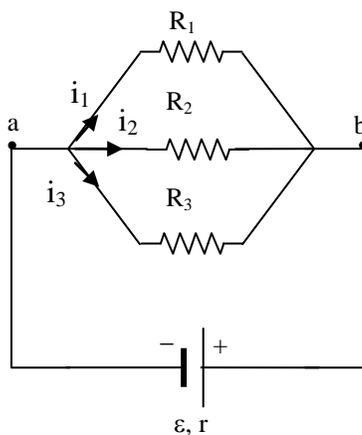
yang dapat diubah menjadi

$$\varepsilon = iR_1 + iR_2 + iR_3 + ir$$

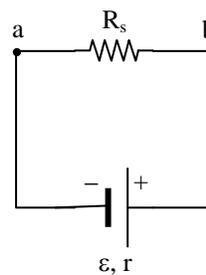
Persamaan itu menunjukkan bahwa dalam rangkaian seri, hambatan berfungsi sebagai pembagi tegangan, dan hambatan pengganti rangkaian hambatan seri itu adalah

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

### Rangkaian Hambatan Paralel



Gambar 5a. Rangkaian hambatan paralel



Gambar 5.b. Rangkaian pengganti

Arus dari sumber gaya gerak listrik akan tercabang ke setiap rangkaian, oleh karena itu kita dapat menyebut bahwa dalam rangkaian paralel, hambatan berfungsi sebagai pembagi arus. Sesuai dengan hukum kekekalan muatan, Kirchoff dalam hukum pertamanya menyatakan bahwa, *kuat arus yang menuju satu titik cabang akan sama dengan jumlah semua arus yang meninggalkan titik cabang itu.*

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

Sesuai dengan hubungan beda potensial, kuat arus dan hambatan yang pernah dibahas sebelumnya, maka persamaan terakhir diatas dapat diubah menjadi

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

Dengan demikian nilai hambatan pengganti rangkaian hambatan paralel adalah

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