

# LISTRIK DINAMIK 1: HUKUM OHM, RANGKAIAN HAMBATAN & HUKUM KIRCHOFF

M.Ishaq

## KUAT ARUS LISTRIK



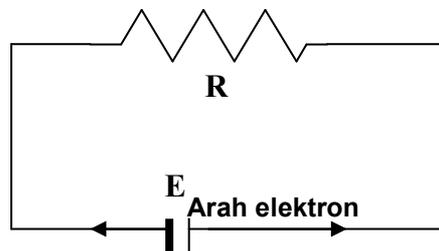
Jika sebelumnya kita selalu membicarakan mengenai muatan yang diam relatif, maka dalam pembahasan listrik dinamis, kita akan selalu membicarakan muatan yang bergerak dalam suatu kawat/bahan konduktor. Suatu bahan disebut bersifat konduktif (bahan konduktor) jika di dalamnya terdapat cukup banyak muatan (elektron) bebas. Elektron bebas adalah elektron yang tidak terikat pada satu inti atom, atau meskipun terikat, ia merupakan elektron yang letaknya jauh dari inti sehingga hanya mendapatkan gaya tarik yang kecil saja. Elektron bebas ini kemudian yang akan “mengalir” dalam bahan (kawat) apabila ada perbedaan potensial diantara dua titik. Elektron-elektron dalam kawat yang memiliki benda potensial mengalir dari potensial yang lebih rendah (-) ke potensial yang lebih tinggi (+) (Namun dalam baterai yang terjadi justru sebaliknya)

Kuat arus listrik ( $I$ ) didefinisikan sebagai : “Banyaknya muatan yang mengalir dalam satu detik, sehingga secara matematis bisa dirumuskan sebagai :

$$\text{Kuat Arus } (I) = \frac{\text{muatan (Coulomb)}}{\text{waktu (detik)}} = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

Satuan dari kuat arus dalam sistem Internasional (SI) adalah Ampere

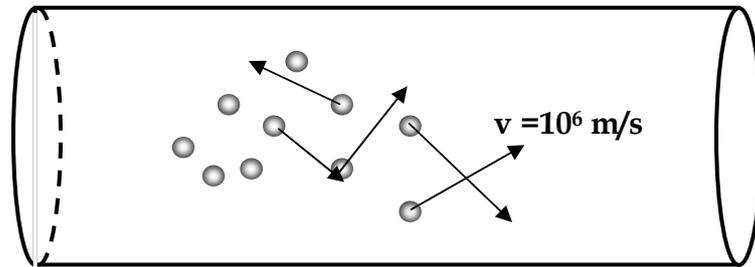
Arah dari arus listrik berlawanan dengan arah mengalirnya elektron, ketentuan arah arus ini hanyalah merupakan sebuah kesepakatan yang dilakukan sebelum diketahui bahwa penyebab utama timbulnya arus listrik adalah partikel bermuatan negatif (elektron bebas).



**Arah arus listrik berlawanan dengan aliran elektron**

Dalam sebuah bahan misalnya tembaga (yang merupakan bahan utama kawat listrik) pada 300 K memiliki jumlah elektron bebas sebanyak  $n = 10^{29}$  buah setiap meter kubiknya yang bergerak sangat acak dan bertumbukan satu sama lain dengan

kecepatan rata-rata  $v = 10^6$  m/s (satu juta meter tiap detiknya). Waktu antar tumbukan satu dengan yang lainnya yang dialami sebuah elektron  $\tau$  berkisar antara  $3 \times 10^{-14}$  detik. Sebuah waktu yang sangat pendek.



Jika kita memberikan medan listrik pada kawat tembaga misalnya, maka elektron-elektron sesuai dengan hukum elektrostatik yang pernah kita bahas, akan mengalami gaya Coulomb sebesar :

$$F = q_e E \quad (4)$$

akibatnya elektron akan mengalami percepatan mengikuti hukum Newton :

$$a = \frac{F}{m_e} \quad (5)$$

Jika waktu antar tumbukan adalah  $\tau$ , maka kecepatan tumbukan (atau kecepatan drift) adalah :

$$v_d = a \cdot \tau \quad (6)$$

Jika kita substitusikan  $a$  dari persamaan (4) dan  $F$  dari persamaan (5), maka dihasilkan :

$$v_d = \frac{q_e E}{m_e} \cdot \tau \quad (7)$$

ini merupakan kecepatan arus listrik (drift velocity).

Kita akan menghitung seberapa besar kecepatan elektron pada arus listrik ini. Misalkan kita memiliki kawat tembaga sepanjang  $l = 10$  meter, dan pada ujung-ujungnya kita berikan beda potensial  $V$  sebesar 10 Volt. Dengan demikian medan listriknya dapat kita hitung melalui :

$$E = \frac{V}{l} = 1 \text{ Volt/m}$$

karena massa elektron sekitar  $10^{-30}$  kg dan muatannya  $1,6 \times 10^{-19}$  C, maka jika hitung  $v_d$  pada kawat tembaga :

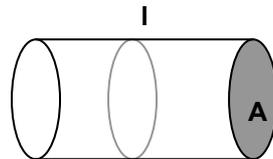
$$v_d = \frac{(1,6 \times 10^{-19})(1)}{10^{-30}} \cdot (3 \times 10^{-14})$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

sebuah kecepatan yang sangat rendah dan tidak diduga sebelumnya bukan ? mengingat kecepatan elektron sendiri adalah  $10^6$  m/s. Sehingga untuk menelusuri kawat 10 meter, elektron memerlukan waktu  $10 / (5 \times 10^{-3}) = 2000$  detik atau sekitar setengah jam !! jauh lebih lambat dari seekor kura-kura bukan ?

### **HAMBATAN/RESISTANSI dan RESISTIVITAS $\rho$**

Ketika “mengalir” dalam suatu kawat konduktor, elektron berhadapan/mengalami rintangan dari molekul-molekul dan ion-ion dalam konduktor tersebut sehingga mengalami hambatan. Seberapa besar hambatan ini dinyatakan dengan resistansi (hambatan) yang disimbolkan dengan R. Satuan dari hambatan dalam SI adalah ohm. Besarnya resistansi suatu bahan atau konduktor dengan luas penampang A dan panjang l serta hambatan jenis (resistivitas)  $\rho$  adalah :



$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{8}$$

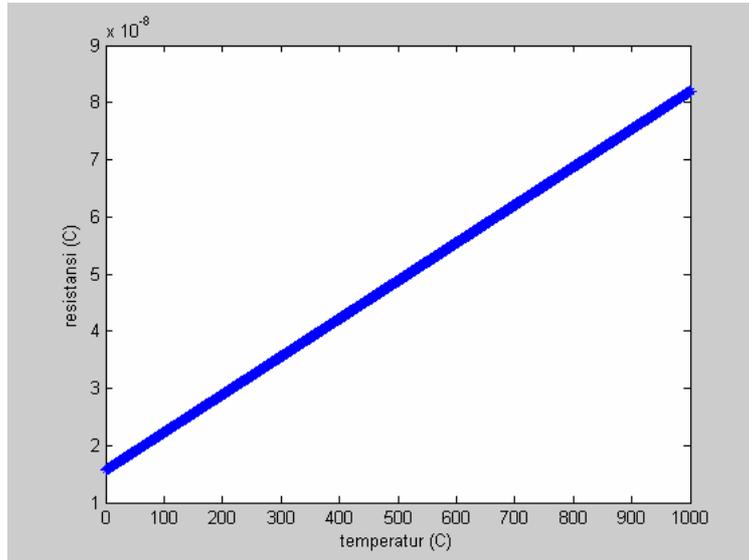
Dalam rangkaian listrik komponen yang digunakan sebagai hambatan adalah resistor yang biasa dilambangkan dengan garis zigzag

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

$$R = R_o + \alpha \cdot R_o \cdot (T - T_o) \tag{9}$$

- dengan : R = resistansi pada temperatur T
- $R_o$  = resistansi pada temperatur  $T_o$  (temperatur kamar)
- $\alpha$  = koefisien temperatur resistansi

Bagaimana perubahan resistansi terhadap temperatur dapat dilihat pada kurva berikut :



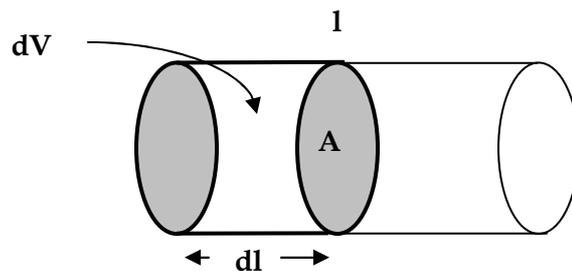
kurva di atas merupakan kurva perubahan resistansi terhadap temperatur untuk bahan tembaga dengan resistansi pada temperatur kamar  $1,7 \times 10^{-8} \Omega$  dan koefisien temperatur pada tempertaur kamar  $3,9 \times 10^{-3} C$ .

### 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 yang penurunannya sebagai berikut :

Sekarang pandanglah sebuah kawat konduktor dengan panjang  $l$  dan luas penampang  $A$



Arus didefinisikan sebagai 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 :

$$dV = A \cdot dl$$

karena  $dl$  adalah jarak yang ditempuh elektron dengan kecepatan  $V_a$  dengan waktu 1 detik maka :

$$dl = v_d \cdot l = v_d$$

sehingga :

$$dV = A \cdot v_d$$

sehingga banyaknya muatan yang mengalir pada dV adalah :

$$I = A \cdot v_d \cdot n \cdot q_e$$

jika kita substitusikan persamaan persamaan (7) untuk  $v_d$ , maka diperoleh :

$$I = \left( \frac{q_e^2 \tau \cdot n}{m_e} \right) A E \quad (10)$$

yang berada dalam kurung pada persamaan (10) merupakan sifat bahan dan sering disebut konduktivitas  $\sigma$ , sehingga :

$$I = \sigma A E$$

karena  $E=V/l$ , maka :

$$I = \frac{\sigma A V}{l} \quad (11)$$

karena konduktivitas  $\sigma$  merupakan kebalikan dari resistivitas  $\rho$  ( $\sigma=1/\rho$ ), maka persamaan 11 menjadi :

$$I = \frac{A V}{\rho \cdot l}$$

atau :

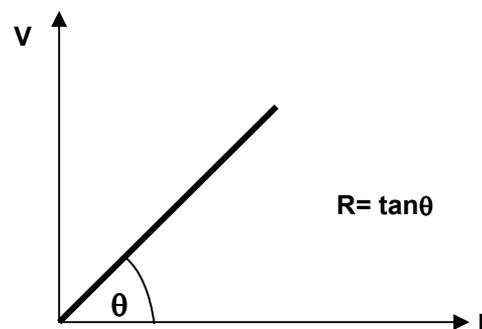
$$I = \frac{V}{\left( \frac{\rho \cdot l}{A} \right)}$$

bagian di dalam kurung dari persamaan (8) kita ketahui sebagai R (resistansi), sehingga :

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

ini tidak lain merupakan hukum Ohm.

Atau jika dinyatakan dalam  $V = (1/R) I$ , dan disketsa dalam grafik hasilnya untuk berbagai jenis bahan adalah seperti di samping. Namun perlu diingat bahwa dalam hal ini kita menganggap temperatur tidak berpengaruh, walaupun pada kenyataannya hal ini mustahil.



**SUMBER TEGANGAN (GGL) DAN HAMBATAN DALAMNYA**



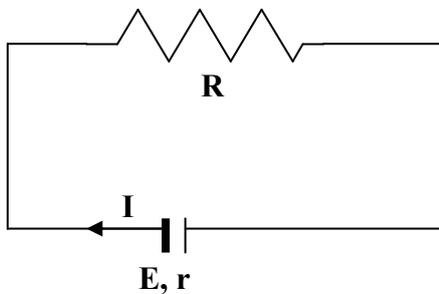
Untuk membuat suatu rangkaian elektronika bekerja, kita memerlukan sebuah sumber beda potensial (tegangan) agar menghasilkan arus yang tetap. Alat semacam ini disebut sumber GGL (gaya gerak listrik), misalnya baterai dan accu.

Pada baterai beda tegangan yang dihasilkan biasanya 1,5 V, meskipun ada juga beberapa baterai yang menghasilkan tegangan lebih kecil atau lebih besar. Ketika dirangkai pada sebuah komponen elektronika, misalnya saja sebuah resistor. Arus akan mengalir menurut hukum Ohm. Untuk memudahkan, katakanlah nilai hambatan dari resistor sebesar 1 ohm, maka arus yang seharusnya mengalir dalam kawat adalah :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5V}{1\Omega} = 1,5A$$

Namun pada kenyataannya tidak demikian, baterai sesungguhnya memiliki hambatan dalamnya sendiri yang berasal dari materialnya sendiri dan terutama proses kimiawi yang dihasilkannya. Nilai  $r$  ini cenderung membesar karena residu proses kimiawi dalam baterai. Kita akan menamakan hambatan dalam ini dengan  $r$ . Dengan adanya  $r$ , arus listrik yang mengalir menjadi lebih kecil, atau cenderung mengecil.

Arus yang dihasilkan karena hambatan-dalam ini menjadi :

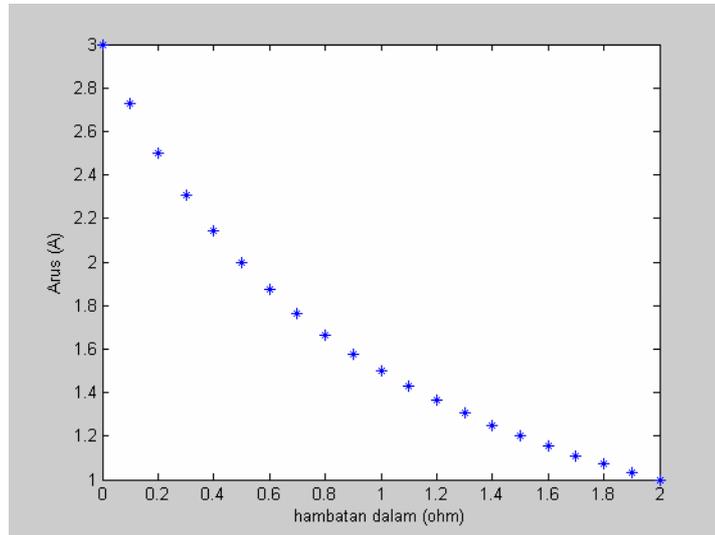


$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{1,5}{1 + 0,5} = 1A$$

anggaplah  $r = 0,5$  untuk sekedar memudahkan perhitungan.

Arus yang dihasilkan menjadi mengecil ketika  $r$  bertambah. Sebuah baterai yang memiliki hambatan dalam  $r$  besar, kita sebut telah rusak, meskipun jika anda ukur tegangan baterai memakai voltmeter pada kedua ujungnya, tegangan yang dihasilkan nampak tidak berkurang.

Berikut sebuah ilustrasi yang saya buat agak ekstrim dengan membuat hambatan dalam membesar dari 0 hingga 2 ohm, dan anda lihat bagaimana kuat arus mengecil.



### RANGKAIAN HAMBATAN

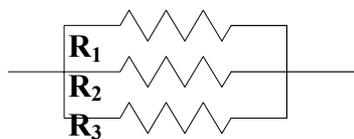
Pada umumnya rangkaian dalam sebuah alat listrik terdiri dari banyak jenis komponen yang terangkai secara tidak sederhana. Hambatan atau resistor digunakan biasanya sebagai pembagi arus listrik atau tegangan listrik.

Akan tetapi untuk mempermudah mempelajarinya, biasanya jenis rangkaian itu biasa dikelompokkan dalam RANGKAIAN SERI dan RANGKAIAN PARALEL. Pada resistor kedua jenis rangkaian ini juga berlaku dan memiliki aturan-aturan tertentu. Rangkaian seri adalah rangkaian yang tidak memiliki percabangan, seperti :



$$R_{TOTAL} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

Rangkaian paralel untuk tiga resistor diilustrasikan sebagai berikut :



Seperhambatan totalnya adalah :

$$\frac{1}{R_{TOTAL}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

atau :

$$R_{TOTAL} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}$$

## HAND OUT FISIKA DASAR/LISTRIK-MAGNET/ ELEKTRODINAMIK 1

Hati-hati, rumusan di atas bukanlah rumusan baku, untuk lebih dari tiga resistor hambatan total tidaklah menjadi :

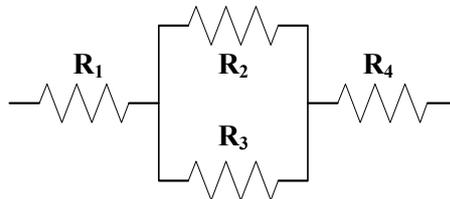
$$\cancel{R_{\text{TOTAL}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \dots}{R_2 \cdot R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2 + \dots}}$$

yang berlaku adalah :

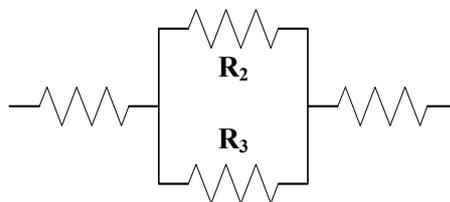
$$\frac{1}{R_{\text{TOTAL}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Sebuah contoh soal akan mempertajam pemahaman anda :

Suatu rangkaian hambatan dengan  $R_1=R_2=R_3=R_4=2\Omega$  :



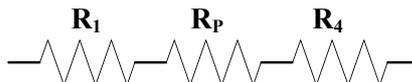
Untuk menyelesaikan sebuah rangkaian hambatan yang terdiri dari seri dan parallel, dahulukan rangkaian parallel R2 dengan R3.



Hasil paralel R2 dan R3 :

$$R_p = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} = 1\Omega$$

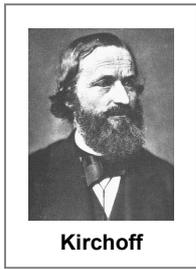
Sehingga kita dapatkan rangkaian :



Ini merupakan rangkaian seri sehingga hambatan penggantinya :

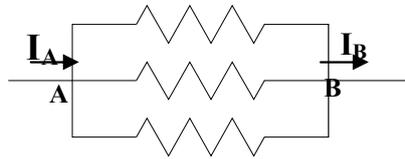
$$R_T = R_1 + R_p + R_4 = 2\Omega + 1\Omega + 2\Omega = 5\Omega$$

**HUKUM KIRCHOFF**



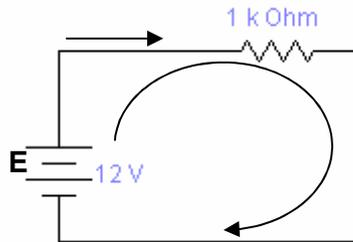
Hukum Kirchoff I :

Kuat arus I yang masuk dalam suatu titik percabangan A sama dengan arus yang keluar dari titik percabangan B :



- Hukum Kirchoff II :

Hukum kedua Kirchoff didasari oleh hukum konservasi energi yang menyatakan bahwa dalam suatu rangkaian tertutup, tegangan yang diperoleh dan tegangan yang berkurang haruslah sama besar.



Pada rangkaian di atas, karena loop (kurva melingkar) searah dengan arus:

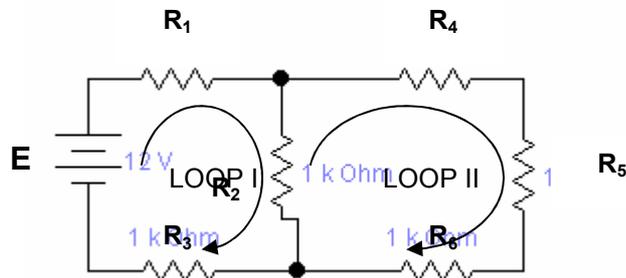
$$E - I \cdot R = 0$$

atau :

$$E = I \cdot R$$

Sesuai dengan hukum Ohm.

Jika terdapat dua loop seperti di bawah :



Maka pada loop 1 :

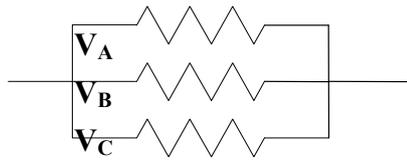
$$E - I_1R_1 - I_2R_2 - I_3R_3 + I_2R_2 = 0$$

pada loop 2 :

$$-I_2R_2 - I_2R_4 - I_2R_5 - I_2R_6 + I_1R_2 = 0$$

**PEMBAGI ARUS dan PEMBAGI TEGANGAN**

Dalam suatu rangkaian paralel (seperti gambar di bawah) tegangan di A, B dan C sama besar :



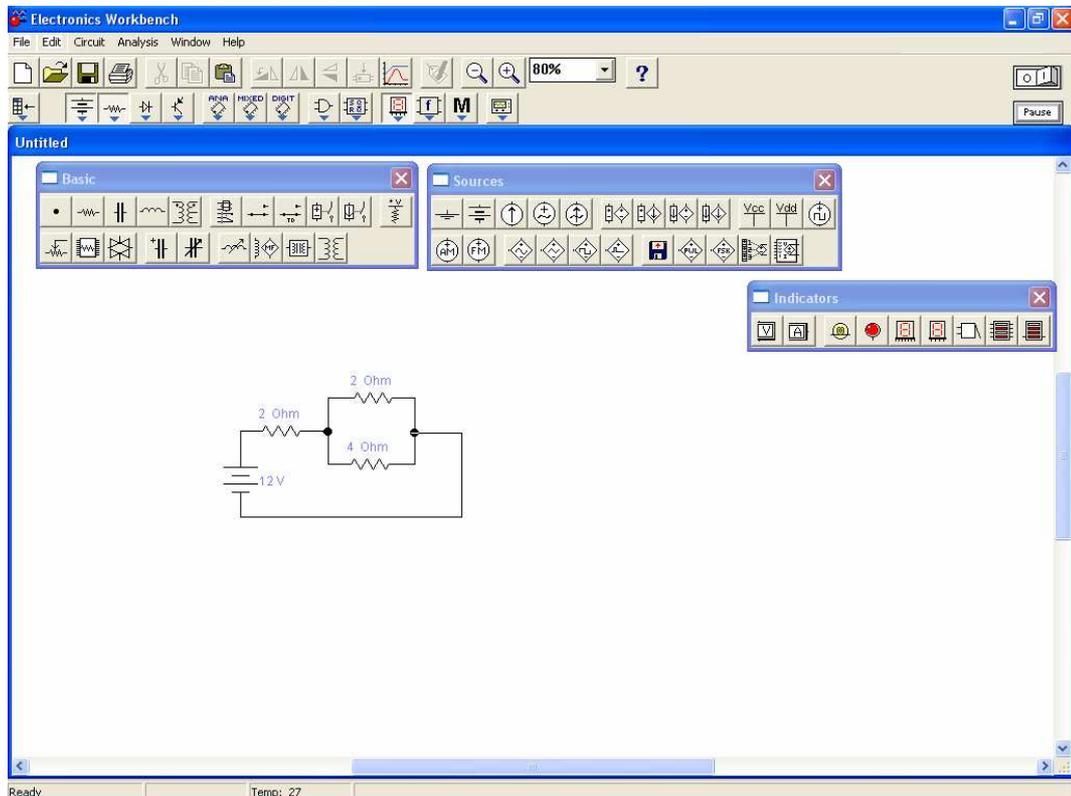
Dalam suatu rangkaian seri kuat arus pada setiap titik adalah sama :



$$I_A = I_B = I_C$$

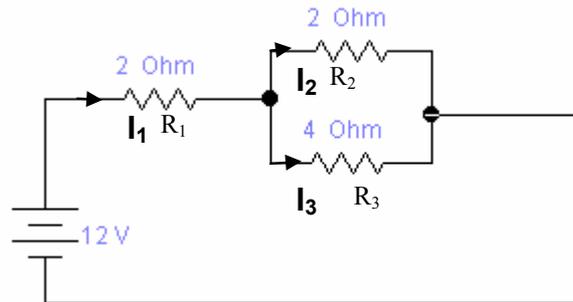
**MENGHITUNG DENGAN SOFTWARE ELECTRONIC WORKBENCH (EWB)**

Software ini saya perkenalkan sebagai pendahuluan mata kuliah Elektronika Dasar nanti, saya berikan “master” software ini untuk kalian pelajari di rumah. Dengan menggunakan software ini, anda dapat mensimulasikan rangkaian anda sebelum anda benar-benar membeli komponen-komponen elektronika dan merangkainya. Namun, kita menggunakan EWB ini sekedar untuk melakukan uji hitung terhadap beberapa rangkaian sederhana kita, selain untuk mengenal cara kerjanya. Di bawah ini contoh tamplan dari EWB :



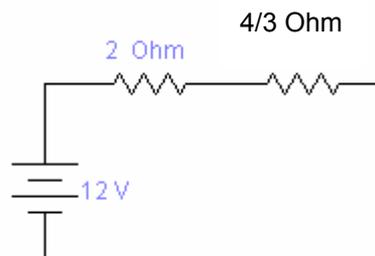
Berikut sebuah contoh persoalan, di mana kita bandingkan perhitungan yang dilakukan secara manual dengan hasil yang didapat dari EWB.

Kita pecahkan dengan cara analitik



Kita sederhanakan rangkaian di atas menjadi :

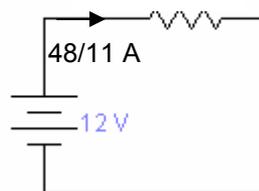
$$R_p = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} \Omega =$$



Kemudian :

$$R_T = 2 + \frac{4}{3} = \frac{10}{3} \Omega$$

10/3 Ohm

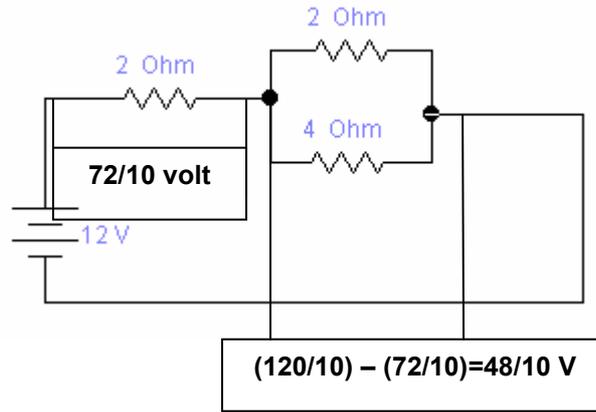


Sehingga  $I_1$  :

$$I = \frac{12}{10/3} = \frac{36}{10} \text{ A}$$

sehingga tegangan yang melalui hambatan  $R_1$  :

$$V = I_1 \cdot R_1 = \frac{36}{10} \cdot 2 = \frac{72}{10} \text{ volt}$$

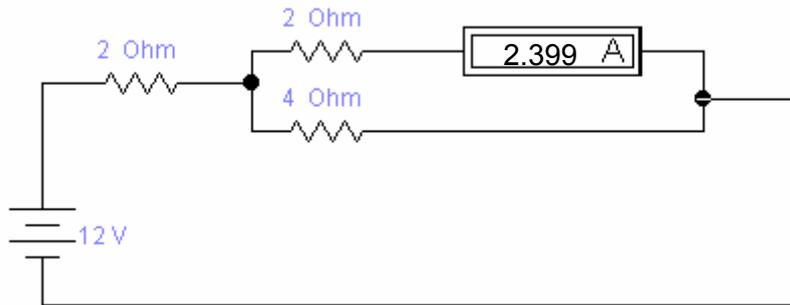


Tegangan di  $R_2$  dan  $R_3$  bernilai sama  $48/10$  volt karena dirangkai secara paralel. Dengan demikian arus di  $R_2$  adalah :

$$I_2 = \frac{48/10}{2} = \frac{48}{20} \text{ A} = 2,4 \text{ A}$$

anda bisa menghitung besar  $I_3$  juga. Kerjakanlah sendiri.

Dengan menggunakan EWB kita dapatkan :



Perbedaan antara 2,4 A dengan 2,399 A hanyalah masalah pembulatan saja.

## SOAL-SOAL

### ARUS LISTRIK

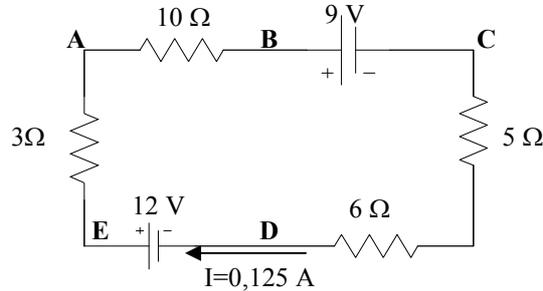
1. Jika diketahui suatu kawat konduktor mengalirkan arus listrik sebesar 1 Ampere, berapakah muatan yang mengalir dalam kawat tersebut setiap satu menitnya ?
2. Jika suatu lampu pijar dialiri arus listrik 0,5 Ampere, berapakah jumlah muatan yang mengalir setiap menitnya melalui lampu tersebut ?
3. Sebuah alat listrik hambatannya  $240 \Omega$ . Berapa besarkah arus akan mengalirinya apabila dihubungkan dengan sumber potensial 120 V ?
4. Sebuah alat pemanas listrik memakai arus 5 Ampere jika dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V. Berapakah hambatannya ?
5. Sebuah kompor listrik dengan hambatan  $24 \Omega$  memakai arus 5 A dalam opeasinya. Berapakah beda potensial pada kedua ujungnya ?

### RESISTIVITAS

6. Suatu kawat logam sepanjang 2 m berdiameter 8 mm. Jika resistivitas (hambat jenis) logam itu  $1,76 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ . Berapakah resistansi kawat tersebut ?
7. Kawat A berdiameter 2,59 mm. Berapakah panjang kawat alumunium B yang diperlukan agar mendapatkan resistansi 1 ohm jika diketahui resistivitas alumunium  $2,8 \times 10^{-8} \text{ ohm meter}$  ?
8. Kawat tembaga berdiameter 0,0201 m (resistivitas  $1,73 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$ ):
  - a. Hitunglah luas penampang kawat
  - b. Resistansi kawat sepanjang 100 m
9. Resistansi (hambatan) lilitan tembaga pada temperatur  $0^\circ$  ternyata 3,35 ohm. Berapakah resistansinya pada temperatur  $50^\circ$  ? ( $\alpha=4,3 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )
10. Sebuah kawat dengan resistansi  $5 \Omega$  direntangkan secara beraturan sehingga panjangnya menjadi tiga kali. Apakah besarnya resistansi tetap ?

**HUKUM OHM**

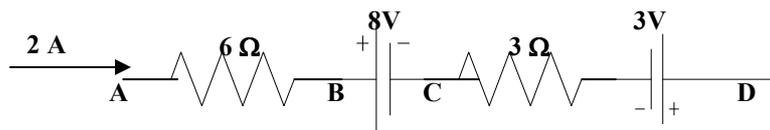
11. Arus pada gambar di bawah ini adalah 0,125 A dengan arah sesuai pada gambar. Untuk setiap pasangan titik berikut berapakah beda potensialnya, dan titik mana yang potensialnya lebih tinggi ?



- a. A ke B
- b. B ke C
- c. C ke D
- d. D ke E
- e. C ke E
- f. E ke C

12. Arus sebesar 2 A mengalir pada sebuah rangkaian di bawah berapakah beda potensial pada titik :

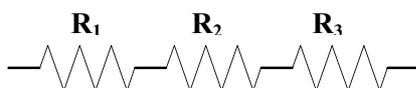
- a. A dan B
- b. A dan C
- c. A dan D



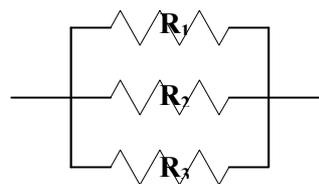
**RANGKAIAN RESISTOR**

13. Sebagai latihan, hitunglah resistor ekuivalen (total) pada rangkaian resistor-rangkaian resistor berikut :

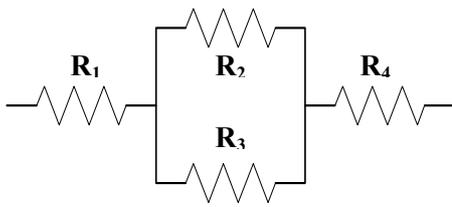
$R_1=2\Omega; R_2=4\Omega; R_3=2\Omega; R_4=2\Omega; R_5=4\Omega; R_6= 2\Omega; R_7=4\Omega; R_8=2\Omega; R_9=4\Omega; R_{10}=2 \Omega;$



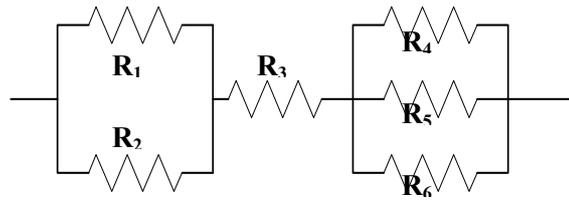
(a)



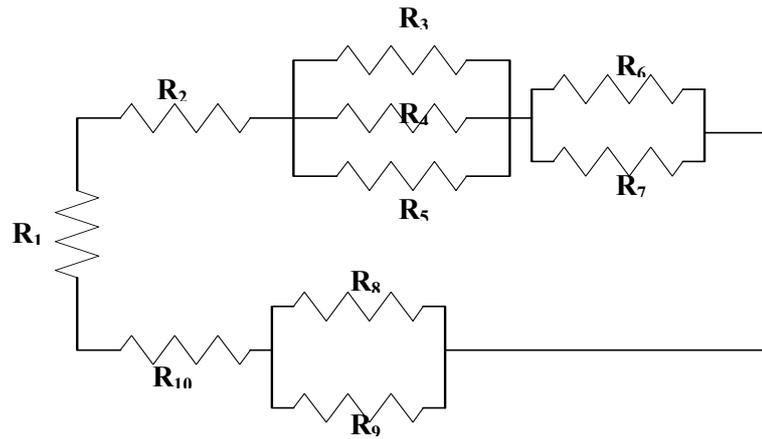
(b)



(c)



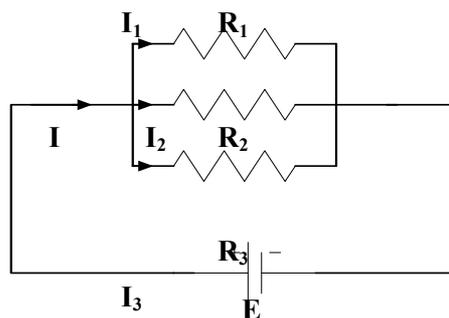
(d)



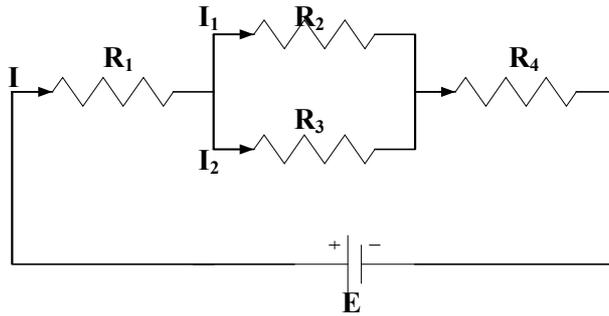
(e)

### HUKUM KIRCHOFF

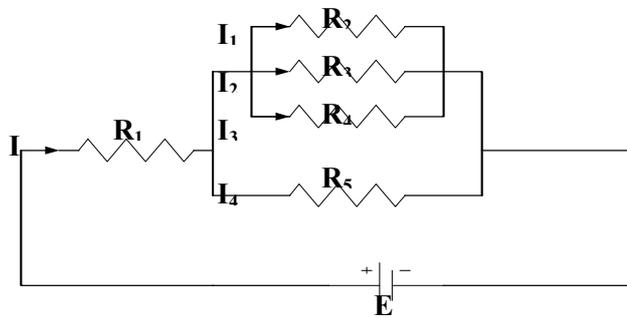
14. Perhatikan rangkaian listrik berikut, jika  $R_1 = 2 \text{ ohm}$ ,  $R_2 = 4 \text{ ohm}$ , dan  $R_3 = 2 \text{ ohm}$ . Jika  $E = 6 \text{ Volt}$  hitunglah  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  secara analitik dan ujliah hasil perhitungan anda dengan EWB.



15. Jika  $R_1 = 1 \text{ ohm}$ ,  $R_2 = 2 \text{ ohm}$ ,  $R_3 = 4 \text{ ohm}$  dan  $R_4 = 3 \text{ ohm}$  serta sumber tegangan 6 Volt hitungah  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ , dan uji pula dengan EWB.



(a)



(b)