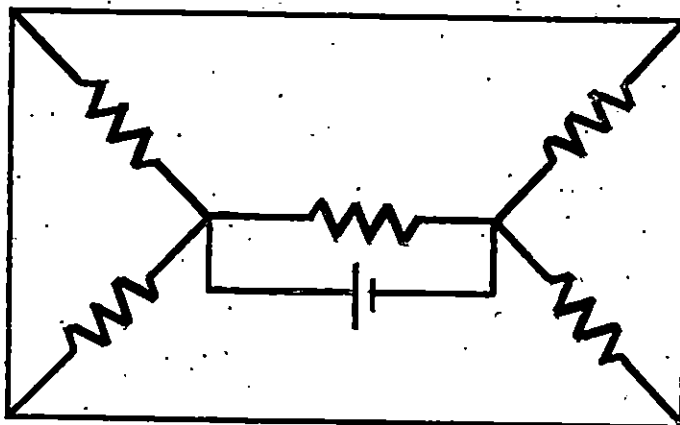


DASAR-DASAR RANGKAIAN LISTRIK



MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TGL. :	30 JUL / 1997
SUMBER / HARGA :	4
KOLEKSI :	K
NO. INVENTARIS :	1359/k/97-d, (e)
NO. KEMAH :	621.31 USM d

OLEH
DRS. USMELDI, M. Pd.

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
IKIP PADANG

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan. Dalam buku ini penulis membahas materi tentang rangkaian listrik DC dan hukum-hukum dasar rangkaian.

Pembahasan materi ini meliputi berbagai hal tentang pengertian arus listrik, ggl, tahanan, rangkaian tahanan, hukum dasar rangkaian, dan teknik analisis rangkaian. Pada setiap akhir pembahasan suatu teori disajikan contoh soal dan penyelesaiannya yang bertujuan untuk mempermudah pemahaman tentang materi yang dibahas.

Diharapkan buku ini dapat melengkapi referensi pada berbagai mata kuliah yang materinya berkaitan dengan rangkaian listrik. Dengan segala kerendahan hati penulis hantarkan buku ini ke haribaan para pembaca. Koreksi dan saran konstruktif dari para pembaca sangat penulis harapkan, demi kesempurnaan buku ini dimasa yang akan datang.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah ikut membantu kelancaran penyusunan buku ini.

Padang, Juli 1996

Penulis

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I Arus Listrik dan Tahanan	1
A. Gaya Gerak Listrik	1
B. Arus Listrik Dalam Konduktor	4
C. Resistivitas dan Konduktivitas	5
D. Pengaruh Temperatur Pada Resistivitas	7
BAB II Hukum Dasar Rangkaian	12
A. Hukum Ohm	12
B. Hukum Kirchhoff	23
BAB III Rangkaian Tahanan	33
A. Rangkaian Seri	33
B. Rangkaian Paralel	35
C. Rangkaian Kombinasi Seri Paralel	37
D. Rangkaian Segitiga dan Rangkaian Bintang	40
BAB IV Teknik Analisis Rangkaian	48
A. Analisis Rangkaian Loop Tunggal	48
B. Analisis Loop	52
C. Analisis Simpul	62
D. Metode Superposisi	72
E. Teorema Thevenin	76
F. Teorema Norton	80
DAFTAR PUSTAKA	86

BAB I

ARUS LISTRIK DAN TAHANAN

Sejumlah elektron di dalam konduktor padat tidak terikat pada atom tetapi bergerak bebas dalam bahan seperti halnya molekul-molekul gas dalam sebuah ruangan tertutup. Elektron semacam ini disebut elektron bebas. Dalam bahan isolator tiap elektron terikat erat pada masing-masing atom, sehingga bahan isolator tidak mempunyai elektron bebas.

Apabila ada medan listrik dalam bahan konduktor padat, elektron bebas akan bergerak dibawah pengaruh gaya medan listrik. Bila medan listrik ini dihasilkan oleh suatu sumber tegangan, dalam konduktor timbul arus listrik. Bahan konduktor tidaklah terbatas pada bahan padat, tetapi mungkin juga berupa bahan cair atau elektrolit. Disini arus listrik terjadi karena ion yang bergerak dibawah pengaruh listrik. Gas dalam keadaan terionisasi juga bersifat sebagai konduktor listrik, misalnya aliran muatan listrik dalam tabung lampu TL.

A. Gaya Gerak Listrik

Gaya gerak listrik (ggl) dihasilkan oleh sumber ggl yaitu suatu alat yang mampu untuk mempertahankan perbedaan potensial antara dua titik atau terminal (Halliday, 1990:212). Sumber-sumber ggl tersebut misalnya elemen Volta, elemen Daniell, elemen Weston, elemen Leclanche basah, elemen Leclanche kering atau baterai. Kesemuanya ini disebut elemen primer. Elemen primer yaitu elemen elektrokimia dimana bahan-bahan pereaksi perlu penggantian setelah beberapa waktu tertentu energi kimia dibebaskan.

kan atau berubah menjadi energi listrik. Selain elemen primer juga ada elemen sekunder yaitu elemen elektrokimia dimana bahan-bahan pereaksi dapat diperbarui dengan cara memberikan arus dari sumber lain yang arahnya berlawanan dengan arah arus yang dihasilkan oleh elemen tersebut. Contoh elemen ini adalah akumulator (accu). Sumber-sumber ggl yang lain adalah generator listrik, termo elemen, elemen bahan bakar, dan sebagainya.

Ggl disebut juga beda potensial antara kedua kutub sumber ggl bila tidak ada arus listrik, dan dinyatakan dengan simbol E (Sutrisno, 1983:60). Bila dalam rangkaian tertutup ada sumber tegangan (sumber ggl) dengan ggl sebesar E , muatan listrik q mendapat tambahan energi qE , sehingga usaha yang dilakukan oleh medan listrik untuk menggerakkan muatan q dalam rangkaian tersebut adalah,

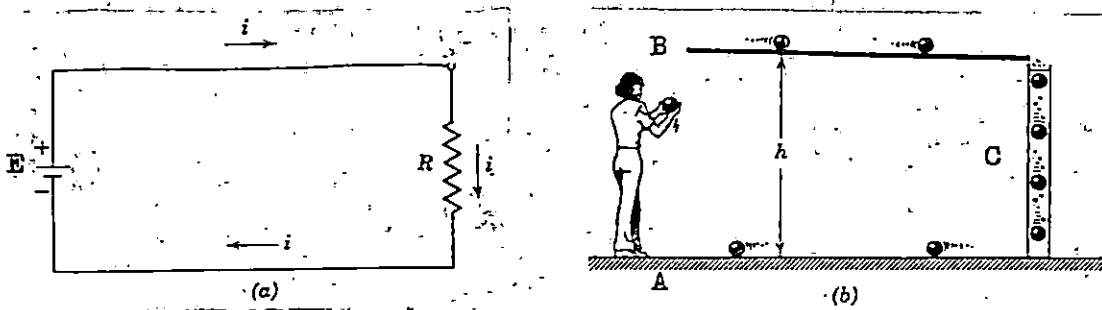
$$W = qE = \oint q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\text{atau } E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1-1)$$

$d\vec{l}$ adalah elemen panjang kawat. Bila medan \vec{E} selalu sejajar dengan $d\vec{l}$ seperti dalam kawat logam maka persamaan (1-1) dapat ditulis sebagai,

$$E = \oint E \, dl \quad (\text{tanpa tanda vektor}).$$

Untuk lebih mudah memahami konsep tentang ggl, sekaligus menjelaskan arus listrik dan tahanan, marilah kita lihat gambar di bawah ini.

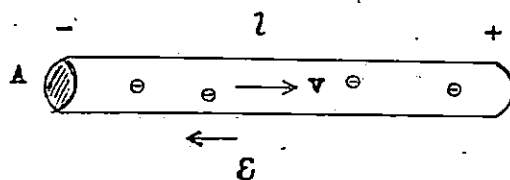


Gambar 1.1. a. Sebuah rangkaian listrik sederhana
 b. Sebuah analogi gravitasinya
 (Halliday, 1990:214)

Gambar 1.1.a memperlihatkan sebuah rangkaian tertutup yang terdiri dari sumber ggl E dan tahanan R . Dari kutub positif sumber ggl mengalir arus listrik i menuju tahanan R dan kembali ke kutub negatif sumber ggl, demikian seterusnya selama ada ggl yang dihasilkan oleh sumbernya.

Gambar 1.1.b memperlihatkan sebuah analogi gravitasi dari rangkaian seperti pada gambar 1.1.a. Orang yang sedang melakukan usaha untuk mengangkat bola kecil dari lantai A ke B setinggi h , analog dengan sumber ggl E . Bola-bola tersebut berguling sepanjang lantai B , kemudian jatuh dari ujung kanan ke dalam sebuah silinder C yang berisi minyak kental. Adanya energi potensial gravitasi menyebabkan bola-bola tersebut tenggelam ke dasar silinder, kemudian dipindahkan oleh suatu mekanisme yang tidak diperlihatkan dalam gambar, dan berguling kembali sepanjang lantai A dengan arah ke kiri. Demikian seterusnya selama orang masih melakukan usaha untuk mengangkat bola-bola tersebut. Bola-bola yang berguling ini analog dengan arus i dan minyak kental dalam silinder analog dengan tahanan R .

B. Arus Listrik Dalam Konduktor



Gambar 1.2. Konduktor logam dialiri arus listrik
(Halliday, 1990:185)

Gambar 1.2 melukiskan suatu kawat logam dengan medan listrik E di dalamnya. Walaupun di dalam logam yang mengalir adalah elektron bebas yang bermuatan negatif, sering dikatakan bahwa yang mengalir adalah arus listrik dengan arah yang berlawanan dengan arah gerak elektron bebas. Jadi arus listrik merupakan gerak semu dari pada gerak elektron bebas, sehingga arus listrik mengalir dari tempat berpotensi tinggi ke tempat berpotensi rendah.

Pada gambar 1.2 muatan positif dq melalui suatu penampang A. Arah gerak muatan positif dq menyatakan arah arus dalam kawat. Muatan dq ini memerlukan waktu dt untuk menyeberangi penampang A. Banyaknya muatan yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu disebut sebagai arus listrik (Sutrisno, 1983:61), sehingga arus listrik dinyatakan sebagai,

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

Bila jumlah pembawa muatan tiap satuan volume adalah n dan muatannya e , maka rapat muatan bebas dalam logam ialah $\rho = ne$. Selanjutnya misalkan pada suatu tempat kecepatan gerak rata-rata pembawa muatan adalah v , maka dalam waktu dt muatan akan bergerak sejauh $v dt$. Volume

yang dilalui oleh pembawa muatan dalam waktu dt adalah,

$$dV = Avdt$$

Pembawa muatan $dq = \rho dV = neAvdt$, sehingga

$$i = \frac{dq}{dt} = neAv$$

nev disebut rapat arus (j), maka diperoleh

$$j = \frac{i}{A} \quad (1-3)$$

Arus i merupakan sebuah kuantitas makroskopis, seperti massa, volume atau panjang benda, sebuah kuantitas mikroskopis yang dihubungkan dengan itu adalah rapat arus j . Rapat arus adalah sebuah vektor yang merupakan ciri sebuah titik di dalam penghantar dan bukan merupakan ciri penghantar secara keseluruhan.

C. Resistivitas dan Konduktivitas

Dalam banyak pemakaian, arus listrik mempunyai harga konstan, berarti rapat arus juga konstan. Selanjutnya kecepatan rata-rata pembawa muatan juga tetap besarnya, walaupun muatan akan mengalami gaya sebesar $q\mathcal{E}$. Dalam logam konduktor, kecepatan gerak elektron bebas dihalangi oleh tumbukan yang terjadi terus menerus dengan atom logam, sehingga pada akhirnya tercapai kecepatan rata-rata yang tetap. Kecepatan rata-rata ini berkaitan secara linier dengan mobilitas elektron (μ_e) dalam logam tersebut dan dinyatakan sebagai,

$$v = -\mu_e \mathcal{E}$$

Dari rapat arus $j = nev = \rho_e v$ dan $v = -\mu_e \mathcal{E}$ diperoleh,

$$j = -\rho_e \mu_e \mathcal{E}$$

$-\rho_e \mu_e$ disebut konduktivitas (σ), ρ_e menyatakan kerapatan muatan bebas, sehingga

$$j = \sigma \mathcal{E} \quad (1-4)$$

Konduktivitas dinyatakan dalam satuan mho per meter (\mathcal{U}/m). Suatu bahan dengan konduktivitas yang besar akan mengalirkan arus yang besar pula untuk suatu harga kuat medan listrik \mathcal{E} , bahan seperti ini disebut konduktor yang baik.

Untuk kawat logam yang panjangnya l , persamaan (1-1) dapat ditulis sebagai $E = \mathcal{E}l$ atau $\mathcal{E} = E/l$.

Dari persamaan (1-4) $j = \sigma \mathcal{E} = \sigma E/l$, sehingga arus

$$i = j A = \sigma \frac{A}{l} E$$

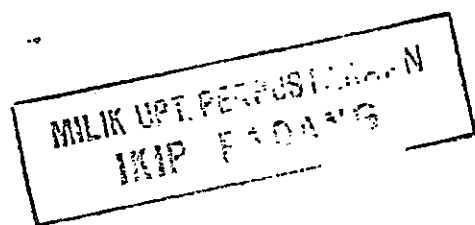
atau $\frac{E}{i} = \frac{l}{\sigma A}$, karena $\frac{E}{i}$ merupakan harga konstan yang

disebut tahanan atau resistansi (R), maka

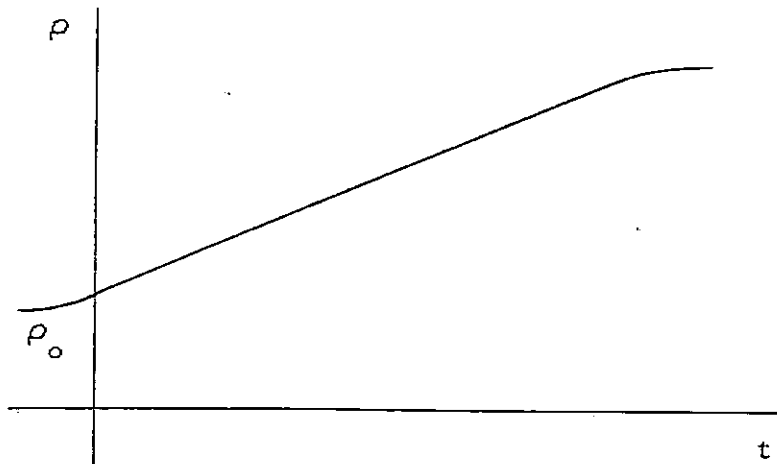
$$R = \frac{l}{\sigma A}$$

$$\text{atau } R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-5)$$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ disebut resistivitas atau tahanan jenis. Resistivitas merupakan karakteristik suatu bahan dan didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas listrik dengan arus per satuan luas penampang (Sears, 1985:506).



D. Pengaruh Temperatur Pada Resistivitas



Gambar 1.3. Resistivitas sebagai fungsi dari temperatur pada konduktor (Theraja, 1980:11)

Resistivitas dipengaruhi oleh temperatur (t) dimana untuk batas-batas tertentu kenaikan temperatur mengakibatkan kenaikan resistivitas secara linier seperti pada gb 1.3. Kurva ini dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$\rho = \rho_0 + at + bt^2 + \dots$$

dimana ρ_0 adalah resistivitas pada temperatur 0°C , a , b , dan seterusnya menyatakan konstanta karakteristik bahan (Sears, 1985:510). Untuk temperatur yang tidak terlalu besar, suku t^2 dan t dengan pangkat yang lebih tinggi dapat diabaikan, sehingga persamaan di atas menjadi,

$$\rho = \rho_0 + at \quad \text{atau} \quad \rho = \rho_0 + \rho_0 \frac{a}{\rho_0} t$$

$$\frac{a}{\rho_0} = \alpha$$

$$\text{maka } \rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (1-6)$$

α disebut koefisien temperatur yang harganya tergantung pada jenis bahan. Koefisien temperatur dari suatu bahan didefinisikan sebagai kenaikan tahanan per ohm tahanan semula per derajat Celcius kenaikan temperatur (Theraja, 1980:11).

Karena tahanan suatu konduktor sebanding dengan resistivitasnya maka persamaan (1-6) dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (1-7)$$

R_0 adalah tahanan pada temperatur 0°C , dan R tahanan pada temperatur $t^\circ\text{C}$. Koefisien temperatur ternyata juga dipengaruhi oleh temperatur, sehingga koefisien temperatur pun tidaklah konstan. Hubungan antara koefisien temperatur dengan temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

Jika pengukuran tahanan dilakukan pada temperatur 0°C maka tahanannya disebut R_0 dan koefisien temperaturnya adalah α_0 dinyatakan sebagai dasar perhitungan tahanan pada temperatur $t^\circ\text{C}$, maka persamaan (1-7) berubah menjadi,

$$R = R_0 (1 + \alpha_0 t) \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya bila pengukuran tahanan dilakukan pada temperatur $t^\circ\text{C}$, maka tahanannya disebut R , dan koefisien temperaturnya adalah α_t . R dan t dijadikan sebagai dasar perhitungan tahanan pada temperatur 0°C , maka persamaan (1-7) berubah menjadi,

$$R_0 = R (1 - \alpha_t t) \dots\dots\dots(2)$$

Dalam persamaan ini digunakan tanda negatif karena tahanan yang dihitung (R_0) lebih rendah daripada tahanan dasar (R) atau temperatur 0°C lebih rendah daripada $t^\circ\text{C}$.

Dari persamaan (2) di atas diperoleh,

$$\alpha_t = \frac{R - R_0}{R t}$$

Substitusikan nilai R dari persamaan (1), maka

$$\alpha_t = \frac{R_0 (1 + \alpha_0 t) - R_0}{R_0 (1 + \alpha_0 t) t}$$

$$\text{atau } \alpha_t = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 t} \quad (1-8)$$

Bila koefisien temperatur pada temperatur $t_1^{\circ}\text{C}$ disebut α_1 dan koefisien temperatur pada temperatur $t_2^{\circ}\text{C}$ disebut α_2 , maka persamaan (1-8) dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 t_1} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1 + \alpha_0 t_1}{\alpha_0}$$

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 t_2} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1 + \alpha_0 t_2}{\alpha_0}$$

Substitusikan kedua persamaan ini sehingga diperoleh,

$$\frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1 + \alpha_0 t_2}{\alpha_0} - \frac{1 + \alpha_0 t_1}{\alpha_0}$$

$$\frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_1} = (t_2 - t_1)$$

$$\text{atau } \alpha_2 = \frac{1}{1/\alpha_1 + (t_2 - t_1)} \quad (1-9)$$

Bila tahanan pada temperatur $t_1^{\circ}\text{C}$ disebut R_1 dan tahanan pada temperatur $t_2^{\circ}\text{C}$ disebut R_2 , maka persamaan (1-7) berubah menjadi,

$$R_2 = R_1 \{1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)\} \quad (1-10)$$

Pada persamaan ini digunakan α_1 , bukan α_2 karena sebagai dasar perhitungan tahanan R_2 adalah R_1 pada temperatur $t_1^{\circ}\text{C}$.

Contoh 1.

Sebuah kumparan kawat nikel dengan diameter 5 cm, jumlah lilitan 100 dan tahanan jenis kawat nikel $7,8 \times 10^{-8}$ Ohm.meter pada temperatur 20°C . Koefisien temperatur nikel $54 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ pada temperatur 20°C , diameter penampang kawat 1 mm. Hitunglah tahanan kumparan itu pada temperatur 80°C .

Penyelesaian:

Panjang kawat nikel adalah,

$$L = 100 \times 2 \pi R = 100 \times 2 \pi \times 0.5 \times 0.05 = 5 \pi \text{ m}$$

Luas penampang kawat adalah,

$$A = \pi R^2 = \pi (0,5 \times 10^{-3})^2 = 0,25 \pi \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Tahanan kumparan pada temperatur 20°C adalah,

$$\begin{aligned} R_1 &= \rho \frac{L}{A} \\ &= 7,8 \times 10^{-8} \times \frac{5 \pi}{0,25 \pi \times 10^{-6}} = 156 \times 10^{-2} \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 \{1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)\} \\ &= 156 \times 10^{-2} \{1 + 54 \times 10^{-4} (80 - 20)\} \\ &= 156 \times 10^{-2} \{1 + 54 \times 10^{-4} (60)\} \\ &= 156 \times 10^{-2} (1 + 32,4 \times 10^{-2}) \\ &= 2,06544 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Contoh 2.

Sebuah kumparan kawat mempunyai tahanan 3,146 Ohm pada temperatur 40°C dan 3,767 Ohm pada temperatur 100°C .

Hitunglah: a. koefisien temperatur pada 0°C

b. tahanan pada temperatur 0°C



Penyelesaian:

- a. Koefisien temperatur pada temperatur 0°C dapat ditentukan sebagai berikut,

$$R_{40} = R_0 \{ (1 + \alpha_0 (t_2 - t_1)) \}$$

$$3,767 = 3,146 \{ 1 + 40 \alpha_0 \}$$

$$\alpha_0 = 0,00328/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_0}{1 + 40 \alpha_0}$$

$$0.00328 = \frac{\alpha_0}{1 + 40 \alpha_0}$$

$$0.00328 + 0,1312 \alpha_0 = \alpha_0$$

maka $\alpha_0 = 0,00377/^{\circ}\text{C}$

- b. Tahanan kumparan pada temperatur 0°C adalah,

$$R_{40} = R_0 (1 + \alpha_0 t)$$

$$3,146 = R_0 (1 + 0,00377 \times 40)$$

Jadi $R_0 = 2,73 \text{ Ohm}$

BAB II

HUKUM DASAR RANGKAIAN

A. Hukum Ohm

Pada bab I telah diuraikan bahwa untuk mendapatkan arus dalam suatu konduktor harus ada medan listrik dalam penghantar itu. Arus I dalam suatu konduktor tergantung pada intensitas listrik atau kuat medan listrik \mathcal{E} di dalam konduktor itu. Di dalam logam murni arus itu berbanding langsung dengan kuat medan listrik.

Medan listrik didalam suatu penghantar dapat timbul karena adanya perbedaan potensial listrik antara dua titik pada penghantar tersebut. Misalkan V_a dan V_b adalah tegangan atau potensial pada titik pada suatu penghantar yang terpisah pada jarak L . Kuat medan listrik \mathcal{E} yang timbul dalam penghantar adalah,

$$\mathcal{E} = \frac{V_a - V_b}{L}$$

$$\text{atau } \mathcal{E} = \frac{V_{ab}}{L} \quad (2-1)$$

Arah \mathcal{E} ditentukan oleh besarnya V_a dan V_b , yaitu mengarah dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau \mathcal{E} searah dengan gerakan muatan positif atau \mathcal{E} searah dengan arus listrik yang terjadi.

Besarnya kuat medan listrik \mathcal{E} menentukan banyaknya muatan listrik yang bergerak melalui suatu penampang tertentu per satuan waktu, atau menentukan besarnya arus listrik yang terjadi. Hubungan antara \mathcal{E} dan I dapat dinyatakan dengan rumus,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{\rho/A} \quad (2-2)$$

dimana A adalah luas penampang penghantar dan ρ adalah tahanan jenis penghantar. Persamaan di atas dapat dinyatakan sebagai,

$$I = \frac{V_{ab}}{\rho / A} \quad (2-3)$$

Sedangkan perbandingan antara $L \rho/A$ dikatakan sebagai tahanan R dari penghantar itu.

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

Tahanan jenis ρ merupakan suatu konstanta yang nilainya sesuai dengan jenis penghantar.

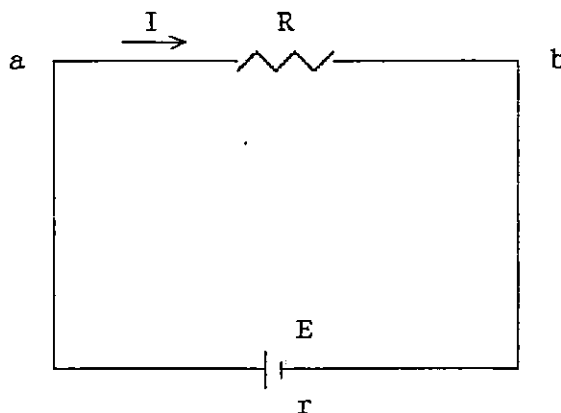
Pengantar logam disebut sebagai penghantar linear karena pada panjang L dari penghantar logam yang mempunyai luas penampang A, tahanan R merupakan suatu konstanta, sehingga hubungan antara arus I dan perbedaan potensial V_{ab} merupakan hubungan linear. Dari persamaan (2-3) diperoleh,

$$I = \frac{V_{ab}}{R}$$

$$\text{atau } V_{ab} = I R \quad (2-4)$$

Hubungan linear antara arus yang timbul dalam suatu penghantar logam dengan perbedaan potensial antara kedua ujungnya, pertama kali ditemukan oleh bangsa Jerman yang bernama George Simon Ohm (1787-1854). Sehingga persamaan (2-4) dikenal sebagai Hukum Ohm, yang berlaku pada penghantar logam. Pernyataan dari Hukum Ohm tersebut adalah, perbandingan beda potensial antara dua titik pada sebuah

konduktor dengan arus yang melalui konduktor tersebut merupakan bilangan konstan jika suhu tidak berubah (Theraja, 1980:17). Bilangan konstan disini maksudnya adalah tahanan konduktor itu.



Gambar 2.1. Sumber ggl dihubungkan seri dengan tahanan dalam sebuah loop (Sutrisno, 1982:67)

Pada rangkaian sederhana ini terlihat sebuah baterai E yang tahanan dalamnya r dihubungkan dengan sebuah tahanan R . Besar arus dalam rangkaian ini dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Ohm, sebagai berikut:

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

Besar tegangan pada tahanan (V_{ab}) adalah

$$V_{ab} = I R$$

$$\text{atau } V_{ab} = \frac{R}{R + r} E \quad (2-5)$$

Pada persamaan ini dapat dilihat bahwa V_{ab} lebih kecil daripada E , kecuali bila $r = 0$. Jika baterai tersebut berada pada rangkaian terbuka ($R = \infty$) maka $V_{ab} = E$.

Jadi gaya gerak listrik E dari sebuah batrai sama dengan beda potensial terminalnya bila berada pada rangkaian terbuka. Tahanan R dalam rangkaian seperti pada gambar 2.1 merupakan tahanan tetap selama temperatur masih tetap. Perubahan arus I dalam rangkaian ini akan diikuti oleh perubahan V_{ab} . Dengan demikian persamaan (2-4) identik dengan persamaan linear $y = ax$. Grafik hubungan antara V_{ab} dan I berupa garis lurus yang melalui titik pusat koordinat $O (0,0)$. R merupakan koefisien arah (tangen α) dari garis tersebut. Penghantar yang berupa elektrolit cair dan gas di dalam tabung elektron adalah penghantar non linear, karena tidak memenuhi Hukum Ohm, dimana hubungan antara V_{ab} dan I tidak linear.

Arus dalam rangkaian pada gambar 2.1 terjadi karena adanya medan listrik dalam penghantar. Medan listrik yang menimbulkan arus ini terjadi akibat adanya perbedaan tegangan antara titik a dan b . Perbedaan tegangan terjadi karena titik a dan b dihubungkan dengan kutub-kutub dari sumber tegangan (baterai). Sumber tegangan disebut juga sumber dem (daya elektromotoris), atau emf (elektro motoris force), atau sumber ggl (gaya gerak listrik).

Sumber ggl merupakan suatu alat dimana di dalamnya terjadi perubahan yang bersifat reversibel (dapat bolak-balik) antar tenaga listrik dan tenaga dalam bentuk lain. Besar ggl dari suatu sumber didefinisikan sebagai besarnya energi yang berubah per satuan muatan yang melalui sumber tersebut. Dengan demikian dem dinyatakan dalam satuan Joule/Coulomb atau Volt ($1 \text{ Volt} = 1 \text{ Joule/Coulomb}$).

Daya listrik dari suatu sumber ggl merupakan besarnya perubahan energi yang bersifat reversibel, per satuan waktu. Besar daya listrik dari suatu sumber ggl dinyatakan sebagai hasil kali antara besarnya ggl sumber dengan besarnya arus listrik dalam sumber.

$$P = E I \quad (2-6)$$

dimana, P = daya listrik sumber (dalam watt)

E = ggl sumber (dalam volt)

I = arus listrik (dalam ampere)

Suatu sumber ggl dikatakan pula sebagai sumber arus karena apabila sumber tersebut dihubungkan dengan suatu penghantar, maka timbul arus listrik dalam penghantar tersebut. Selanjutnya bila penghantar yang dihubungkan dengan sumber ggl tersebut memenuhi hukum Ohm, yaitu bahwa penghantar tersebut adalah penghantar linear, maka menurut Joule, semua daya listrik dari sumber dapat diubah menjadi energi panas di dalam penghantar. Energi panas yang timbul per satuan waktu adalah,

$$P = I^2 R \quad (2-7)$$

dimana, P = energi panas per satuan waktu
(dalam joule/detik)

I = arus listrik (dalam ampere)

R = tahanan penghantar (dalam ohm)

Dalam gambar 2.1 terdapat sebuah tahanan R dan sumber ggl E juga merupakan sebuah tahanan yang disebut sebagai tahanan dalam (r). Dengan demikian dalam rangkaian tersebut timbul panas di dalam tahanan dan didalam sumber ggl sendiri. Jumlah total energi panas yang timbul per

1359/k/97-dg(2)

17

KI
621.31
15 M
K(1)

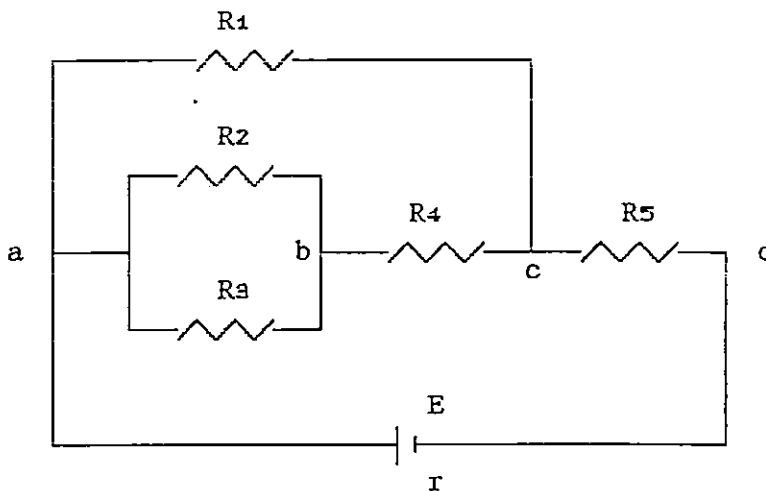
satuan waktu sama dengan daya listrik dari sumber ggl.

$$(I^2 R + I^2 r) = E I$$

atau,

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (2-8)$$

Selanjutnya akan diuraikan cara menggunakan rumus ini dalam menganalisis rangkaian.



Gambar 2.2. Kombinasi rangkaian seri dan paralel dihubungkan dengan sumber ggl. (Theraja, 1980:18)

Pada rangkaian ini terlihat tahanan R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , dan R_5 dalam hubungan campuran seri paralel, dihubungkan dengan sebuah baterai E dengan tahanan dalam r . Dengan menggunakan hukum Ohm, dapat ditentukan besar arus dan tegangan pada masing-masing tahanan sebagai berikut, langkah awal adalah menentukan nilai tahanan total pada rangkaian diatas. Tahanan R_2 dan R_3 dihubungkan secara paralel.

$$R_{p1} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP FADANG

Tahanan R_{p1} dan R_4 adalah seri,

$$R_{s1} = R_{p1} + R_4$$

Tahanan R_{s1} dan R_1 adalah paralel,

$$R_{p2} = \frac{R_{s1} R_1}{R_{s1} + R_1}$$

Tahanan R_{p2} dan R_5 adalah seri,

$$R_{s2} = R_{p2} + R_5$$

Nilai tahanan total adalah,

$$R_t = R_{s2} + r$$

Selanjutnya dapat ditentukan arus total dalam rangkaian,

$$I = \frac{E}{R_t}$$

Arus total ini sama dengan arus yang melalui tahanan R_5 , sedangkan besar tegangan pada tahanan R_5 adalah,

$$V_{cd} = I R_5$$

Besar tegangan pada tahanan R_1 adalah,

$$V_{ac} = I R_{p2}$$

Dan arus yang melalui R_1 adalah,

$$I_1 = \frac{V_{ac}}{R_1}$$

Arus yang melalui R_4 adalah,

$$I_4 = \frac{V_{cd}}{R_{s1}}$$

Tegangan pada R_4 adalah,

$$V_{bc} = I_4 R_4$$

Tegangan pada R_2 sama dengan tegangan pada R_3 , yaitu

$$V_{ab} = I_4 R_{p1}$$

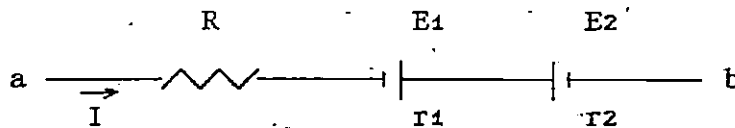
Arus yang melalui R_2 adalah,

$$I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$$

Arus yang melalui R_3 adalah,

$$I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

Apabila didalam rangkaian terdapat lebih dari satu sumber dem yang dihubungkan dengan beberapa buah tahanan, maka besar arus dalam rangkaian dapat ditentukan dengan cara berikut:



Gambar 2.3. Bagian rangkaian dengan dua sumber tegangan
(Sutrisno, 1983:67)

Antara terminal a dan b pada gambar di atas terdapat sebuah tahanan R , dua baterai masing-masing E_1 dan E_2 dengan tahanan dalam r_1 dan r_2 . Rangkaian ini merupakan bagian dari rangkaian satu loop, arah arus I dimisalkan dari a ke b. Daya yang diberikan adalah $I E_1$ dari baterai E_1 , $-I E_2$ dari baterai E_2 (digunakan tanda negatif karena arah E_2 berlawanan dengan arah I), dan $I V_{ab}$ dari bagian

rangkaian yang tidak digambarkan.

Daya yang hilang adalah $I^2 R$ pada tahanan R , $I^2 r_1$ pada baterai E_1 dan $I^2 r_2$ pada baterai E_2 . Karena energi merupakan besaran yang kekal, maka daya yang diberikan harus sama dengan daya yang hilang, sehingga diperoleh persamaan,

$$I E_1 - I E_2 + I V_{ab} = I^2 R + I^2 r_1 + I^2 r_2$$

$$E_1 - E_2 + V_{ab} = I R + I r_1 + I r_2$$

$$V_{ab} = I R + I r_1 + I r_2 - (E_1 - E_2)$$

Secara umum dapat disimpulkan bahwa dalam hubungan seri,

$$V_{ab} = \sum I R - \sum E \quad (2-9)$$

Dalam menggunakan persamaan ini harus diperhatikan bahwa,

1. Arah positif adalah dari a ke b
2. I bertanda positif, bila searah dengan arah positif dan sebaliknya.
3. E bertanda positif, bila searah dengan arah positif dan sebaliknya.
4. R selalu bertanda positif.

V_{ab} bernilai positif bila potensial a lebih tinggi dari pada potensial b, V_{ab} bernilai negatif bila potensial a lebih rendah daripada potensial b.

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

dimana, V_a = potensial terminal a

V_b = potensial terminal b

V_{ab} = beda potensial antara terminal a dan b.

Jika terminal a dan b dihubung singkat sehingga rangkaian diatas menjadi rangkaian tertutup (loop), maka

$V_{ab} = 0$. Dari persamaan,

$$V_{ab} = \sum I R - \sum E$$

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

$$\sum I R = \sum E$$

$$I \sum R = \sum E$$

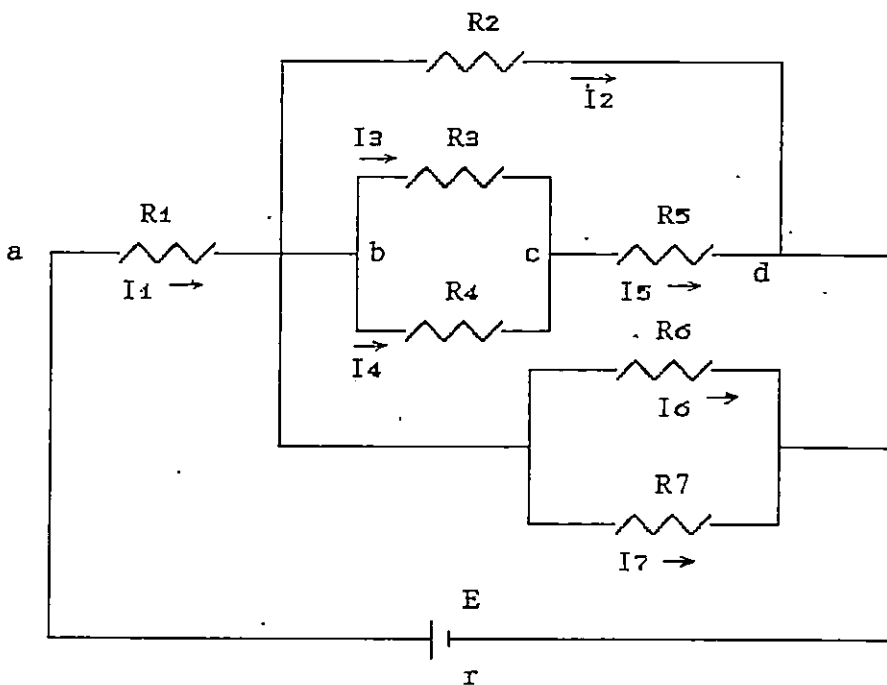
diperoleh,

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (2-10)$$

Sebelum menggunakan rumus ini, perlu ditetapkan arah arus dalam rangkaian. Arah arus ini digunakan untuk menentukan tanda E. Ketentuannya sebagai berikut:

1. E bertanda positif, bila searah dengan I.
2. E bertanda negatif, bila berlawanan arah dengan I.
3. R selalu bertanda positif.

Contoh 1.



Gambar 2.4. Rangkaian untuk contoh 1
(Toro, 1984:84)

Suatu rangkaian listrik seperti terlihat pada gambar 2.4 diketahui $R_1 = 6$ ohm, $R_2 = 12$ ohm, $R_3 = 3$ ohm, $R_4 = 6$ ohm, $R_5 = 10$ ohm, $R_6 = 18$ ohm, $R_7 = 9$ ohm, $r = 1$ ohm, dan $E = 12$ volt. Hitunglah arus dan tegangan pada masing-masing tahanan.

Penyelesaian:

Tahanan R_3 dan R_4 paralel maka diperoleh,

$$R_{p1} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \text{ ohm}$$

Tahanan R_{p1} dan R_5 seri,

$$R_s = R_{p1} + R_5 = 2 + 10 = 12 \text{ ohm}$$

$$R_{p2} = \frac{R_6 R_7}{R_6 + R_7} = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6 \text{ ohm}$$

Tahanan R_2 , R_s , dan R_{p2} paralel,

$$\begin{aligned} 1/R_{p3} &= 1/R_2 + 1/R_s + 1/R_{p2} \\ &= 1/12 + 1/12 + 1/6 = 4/12 \end{aligned}$$

$$R_{p3} = 3 \text{ ohm}$$

Tahanan R_{p3} dan R_1 seri,

$$R_t = R_1 + R_{p3} = 6 + 3 = 9 \text{ ohm}$$

Arus yang melalui tahanan R_1 adalah,

$$I_1 = E/(R_t + r) = 12/(9 + 1) = 1,2 \text{ A}$$

Tegangan pada R_1 adalah,

$$V_{cb} = I_1 R_1 = 7,2 \text{ volt}$$

Tegangan antara terminal b dan d adalah,

$$V_{bd} = I_1 R_{p3} = 3,6 \text{ volt}$$

Arus yang melalui tahanan R₂ adalah,

$$I_2 = V_{bd}/R_2 = 0,3 \text{ A}$$

Arus yang melalui tahanan R₅ adalah,

$$I_5 = V_{bd}/R_5 = 0,3 \text{ A}$$

Tegangan pada R₅ adalah,

$$V_{cd} = I_5 R_5 = 3 \text{ volt}$$

Tegangan antara titik b dan c adalah,

$$V_{bc} = I_5 R_{p1} = 0,6 \text{ volt}$$

Arus yang melalui tahanan R₃ adalah,

$$I_3 = V_{bc}/R_3 = 0,2 \text{ A}$$

Arus yang melalui tahanan R₄ adalah,

$$I_4 = V_{bc}/R_4 = 0,1 \text{ A}$$

Arus yang melalui tahanan R₆ adalah,

$$I_6 = V_{bd}/R_6 = 0,2 \text{ A}$$

Arus yang melalui tahanan R₇ adalah,

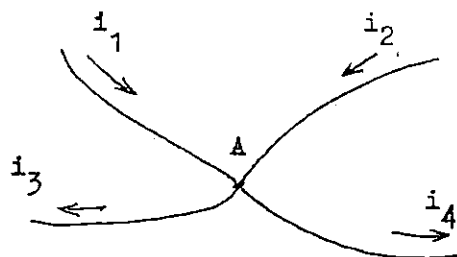
$$I_7 = V_{bd}/R_7 = 0,4 \text{ A}$$

B. Hukum Kirchhoff

Suatu rangkaian listrik yang kompleks terdiri atas beberapa buah tahanan, sumber tegangan atau elemen lainnya. Tahanan-tahanan yang tidak tersusun dalam kelompok rangkaian seri, paralel, atau kombinasi seri paralel, pada umumnya tidak dapat dianalisis dengan analisis rangkaian seri paralel dan hukum Ohm. Untuk menganalisis rangkaian seperti ini secara sistematis dapat digunakan suatu hukum yang dinyatakan oleh seorang guru besar berkebangsaan Jerman yang bernama Gustav Robert Kirchhoff dan hukumnya dikenal sebagai hukum Kirchhoff. Ada dua hukum Kirchhoff, yaitu hukum arus Kirchhoff dan hukum tegangan Kirchhoff.

1. Hukum Arus Kirchhoff

Hukum arus Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah aljabar semua arus yang memasuki sebuah simpul (titik cabang) adalah nol (Hayt, 1985:36). Hukum ini juga dapat dinyatakan dengan cara lain, misalnya jumlah aljabar daripada semua arus yang meninggalkan sebuah simpul adalah nol, atau jumlah aljabar daripada semua arus yang memasuki sebuah simpul harus sama dengan jumlah aljabar daripada semua arus yang meninggalkan simpul tersebut. Ketiga bentuk ini akan memberikan tiga persamaan yang ekuivalen untuk sebuah simpul yang diperlihatkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sebuah simpul yang dilalui arus i_1 ,
 i_2 , i_3 , dan i_4
(Hayt, 1985:37)

Misalkan arus i_1 dan i_2 memasuki simpul A, arus i_3 dan i_4 meninggalkan simpul tersebut. Tiga persamaan yang ekuivalen diperoleh untuk simpul A, sebagai berikut,

11/10/1917
11/10/1917
11/10/1917

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0 \quad (1)$$

$$i_3 + i_4 - i_1 - i_2 = 0 \quad (2)$$

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 \quad (3)$$

Ungkapan yang pendek untuk hukum Kirchhoff adalah

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (2-11)$$

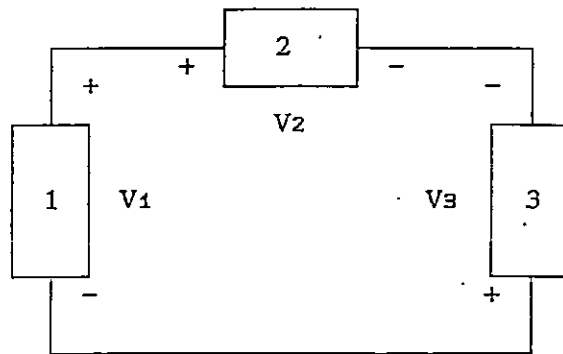
Jika persamaan (2-11) ini digunakan maka yang dimaksudkan adalah bahwa N arus diarahkan menuju simpul atau semuanya diarahkan menjauhi simpul tersebut.

2. Hukum Tegangan Kirchhoff

Hukum tegangan Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah aljabar seluruh tegangan yang mengelilingi sebuah loop dalam sebuah rangkaian adalah nol (Hayt, 1985:38). Ungkapan yang pendek untuk hukum ini adalah,

$$\sum_{n=1}^N V_n = 0 \quad (2-12)$$

dengan ketentuan bahwa setiap elemen akan dimasuki pada referensi tegangan positifnya dalam arah perputaran jarum jam atau berlawanan dengan arah putaran jarum jam dalam rangkaian tersebut.



Gambar 2.6. Sebuah loop dengan tiga elemen bertegangan V_1 , V_2 , dan V_3 (Hayt, 1985:40)

Misalkan di dalam rangkaian seperti pada gb 2.6, perjalanan dalam arah perputaran jarum jam mengitari rangkaian, menemui satu tanda (+) dan dua tanda (-) sehingga diperoleh persamaan,

$$(-V_1) + V_2 + (-V_3) = 0$$

Sebaliknya kita dapat membalikkan tanda-tanda referensi tegangan dengan perjalanan yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam, akan memberikan persamaan,

$$V_1 + (-V_2) + V_3 = 0$$

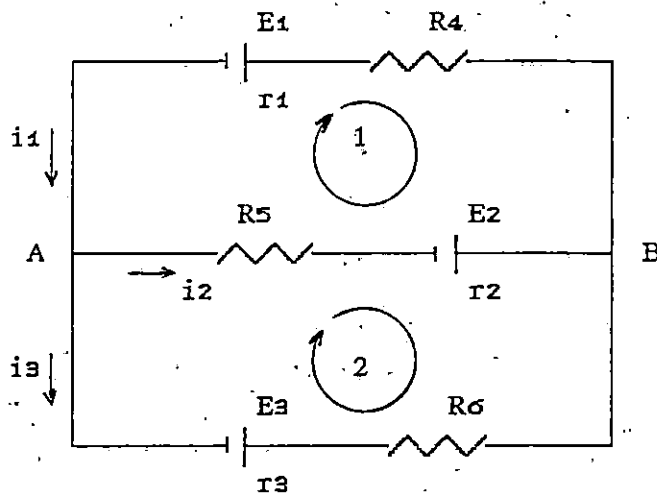
Jadi untuk lebih mudahnya dalam menentukan tanda tegangan tiap elemen adalah memperhatikan tanda-tanda setiap tegangan yang mula-mula ditemui, dalam perjalanan searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam sebagai referensinya.

Hukum tegangan Kirchhoff dapat dinyatakan dengan cara lain, yaitu jumlah aljabar gaya gerak listrik dalam tiap loop rangkaian sama dengan jumlah aljabar hasil kali arus dan tahanan dalam loop yang sama (Sutrisno, 1983:71). Ungkapan pendeknya adalah,

$$\sum E = \sum iR \quad (2-13)$$

Sebagai referensi, dalam menentukan tanda E dan i, digunakan arah loop. Arah loop dapat ditentukan searah dengan putaran jarum jam atau berlawanan arah dengan putaran jarum jam. E diberi tanda (+) bila searah dengan arah loop dan diberi tanda (-) bila berlawanan dengan arah loop. i diberi tanda (+) bila searah dengan arah loop dan diberi tanda (-) bila berlawanan dengan arah loop. R selalu diberi tanda (+).

Selanjutnya dibahas penggunaan hukum tegangan Kirchhoff ini untuk menganalisis rangkaian seperti pada gb 2.7.



Gambar 2.7. Rangkaian yang terdiri dari dua loop
(Sutriano, 1983:72)

Ada dua loop pada rangkaian gb 2.7, yaitu loop 1 dan loop 2. Misalkan arah kedua loop ini searah dengan putaran jarum jam. Dengan menggunakan hukum tegangan Kirchhoff untuk tiap loop diperoleh satu persamaan, sehingga untuk rangkaian ini ada dua persamaan. Persa-

maan ketiga diperoleh dari hukum arus Kirchhoff.

Untuk loop 1 (jalan tertutup melalui A-E₁-R₄-B-E₂-R₅)

$$\sum E = E_1 - E_2$$

$$\sum iR = -i_1 r_1 - i_1 R_4 - i_2 r_2 - i_2 R_5$$

sehingga diperoleh persamaan,

$$E_1 - E_2 = -i_1 r_1 - i_1 R_4 - i_2 r_2 - i_2 R_5 \dots\dots (1)$$

Perhatikan bahwa E₂, i₁, dan i₂ diberi tanda (-) karena berlawanan dengan arah loop, dan E₁ diberi tanda (+) karena searah dengan arah loop.

Untuk loop 2 (jalan tertutup melalui A-R₅-E₂-B-R₆-E₃)

$$\sum E = E_2 - E_3$$

$$\sum iR = i_2 R_5 + i_2 r_2 - i_3 R_6 - i_3 r_3$$

sehingga diperoleh persamaan,

$$E_2 - E_3 = i_2 R_5 + i_2 r_2 - i_3 R_6 - i_3 r_3 \dots\dots (2)$$

Perhatikan bahwa E₂ dan i₂ diberi tanda (+) karena berlawanan dengan arah loop, E₃ dan i₃ diberi tanda (-) karena searah dengan arah loop.

Dengan menggunakan hukum arus Kirchhoff pada simpul A diperoleh persamaan,

$$i_1 = i_2 + i_3 \dots\dots\dots (3)$$

Dengan cara mensubstitusi persamaan (1), (2) dan (3) diperoleh i₁, i₂ dan i₃ jika semua ggl dan tahanan diketahui harganya.

Selanjutnya dengan menggunakan hukum Ohm, dapat dihitung tegangan antara titik A dan B.

$$V_{AB} = \sum iR - \sum E$$

Ada tiga cara untuk memperoleh V_{AB} yaitu,

1. Melalui jalur A-E₁-R₄-B diperoleh,

$$V_{AB} = -i_1(r_1 + R_4) - (E_1)$$

2. Melalui jalur A-R5-E2-B diperoleh,

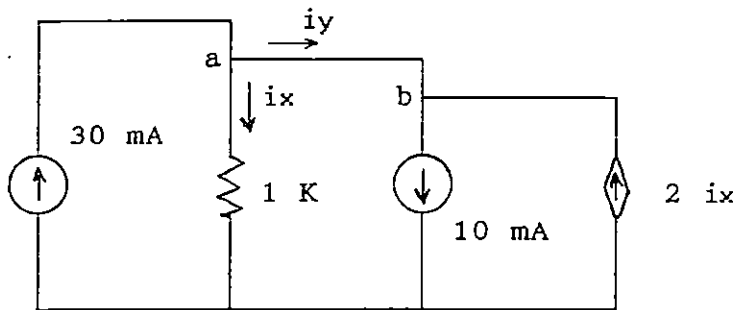
$$V_{AB} = i_2(R_5 + r_2) - (E_2)$$

3. Melalui jalur A-E3-R6-B diperoleh,

$$V_{AB} = i_3(r_3 + R_6) - (E_3)$$

Perhatikan bahwa E_1 , E_2 , E_3 , i_2 dan i_3 diberi tanda (+) karena searah dengan arah AB, dan i_1 diberi tanda (-) karena berlawanan dengan arah AB. Jadi sebagai referensi dalam menentukan tanda E dan i adalah arah dari A ke B atau arah AB. Ketiga cara di atas memberikan harga V_{AB} yang sama.

Contoh 2



Gambar 2.8. Rangkaian untuk contoh 2
(Hayt, 1985:63)

Dalam rangkaian seperti pada gb 2.8 terdapat dua sumber arus bebas sebesar 30 mA dan 10 mA, dan sebuah sumber arus tak bebas atau sumber arus terkontrol sebesar $2i_x$. Sumber arus tak bebas adalah suatu sumber arus dimana arusnya ditentukan oleh arus yang terdapat disetiap bagian rangkaian. Tentukan besar arus i_x dan i_y dalam rangkaian tersebut.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan hukum arus Kirchoff pada masing-masing titik cabang dalam rangkaian kita peroleh dua persamaan.

Untuk titik cabang a,

$$30 = i_x + i_y \dots\dots\dots(1)$$

Untuk titik cabang b,

$$2i_x + i_y = 10 \dots\dots\dots(2)$$

Kedua persamaan ini diselesaikan dengan cara eliminasi

$$(1) \rightarrow i_x + i_y = 30$$

$$(2) \rightarrow 2i_x + i_y = 10$$

$$\underline{\hspace{10em} - \hspace{10em}} -$$

$$-i_x = 20$$

$$i_x = -20 \text{ mA}$$

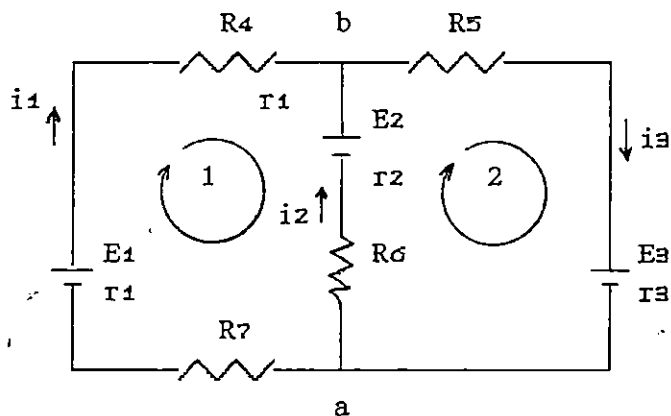
Harga i_x dimasukkan ke dalam persamaan (1) sehingga diperoleh i_y .

$$(1) \rightarrow i_x + i_y = 30$$

$$-20 + i_y = 30$$

$$i_y = 50 \text{ mA}$$

Contoh 3



Gambar 2.9. Rangkaian untuk contoh 3
(Hayt, 1985:131)

Pada rangkaian gb 2.9 terdapat tiga sumber ggl masing-masing $E_1 = 10$ volt, $E_2 = 15$ volt, $E_3 = 25$ volt dengan tahanan dalamnya $r_1 = r_2 = r_3 = 1$ ohm, dan empat tahanan masing-masing $R_4 = 2$ ohm, $R_5 = 3$ ohm, $R_6 = 9$ ohm, $R_7 = 2$ ohm. Hitunglah besar arus dalam masing-masing cabang rangkaian dan tegangan antara titik a dan b.

Penyelesaian:

Terlebih dahulu kita tentukan arah loop dalam rangkaian, misalnya searah dengan putaran jarum jam. Dengan menggunakan hukum tegangan Kirchhoff diperoleh dua persamaan.

Untuk loop 1,

$$\sum E = \sum iR$$

$$E_1 - E_2 = i_1 (R_7 + r_1 + R_4) - i_2 (R_6 + r_2)$$

$$10 - 15 = i_1 (2 + 1 + 2) - i_2 (9 + 1)$$

$$i_1 - 2i_2 = -1 \dots\dots\dots(1)$$

Untuk loop 2,

$$\sum E = \sum iR$$

$$E_2 + E_3 = i_2 (R_6 + r_2) + i_3 (R_5 + r_3)$$

$$15 + 25 = i_2 (9 + 1) + i_3 (3 + 1)$$

$$10i_2 + 4i_3 = 40 \dots\dots\dots(2)$$

Dari hukum arus Kirchhoff diperoleh persamaan,

$$i_1 + i_2 = i_3 \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan (3) disubstitusi ke persamaan (2) sehingga diperoleh,

$$(2) \rightarrow 10i_2 + 4i_3 = 40$$

$$10i_2 + 4(i_1 + i_2) = 40$$

$$4i_1 + 14i_2 = 40 \dots\dots\dots(4)$$

Eliminasi i_2 dari persamaan (1) dan (4)

$$(1) \rightarrow i_1 - 2i_2 = -1 \quad | \times 7$$

$$(2) \rightarrow 4i_1 + 14i_2 = 40 \quad | \times 1$$

$$7i_1 - 14i_2 = -7$$

$$4i_1 + 14i_2 = 40$$

$$\hline 11i_1 = 33$$

jadi $i_1 = 3 \text{ A}$

Masukkan harga i_1 ke persamaan (1)

$$(1) \rightarrow i_1 - 2i_2 = -1$$

$$3 - 2i_2 = -1$$

$$i_2 = 2 \text{ A}$$

Dari persamaan (3) diperoleh i_3

$$i_1 + i_2 = i_3$$

$$i_3 = 5 \text{ A}$$

Selanjutnya tegangan antara a dan b dapat dihitung dengan menggunakan hukum Ohm, $V_{ab} = \sum iR - \sum E$. Ada tiga cara untuk mendapatkan V_{ab} , yaitu:

1. Melalui jalur a-E₁-b

$$V_{ab} = i_1 (R_4 + r_1 + R_7) - (E_1)$$

$$V_{ab} = 3 (2 + 1 + 2) - 10 = 5 \text{ volt}$$

2. Melalui jalur a-E₂-b

$$V_{ab} = i_2 (R_6 + r_2) - (E_2)$$

$$V_{ab} = 2 (9 + 1) - 15 = 5 \text{ volt}$$

3. Melalui jalur a-E₃-b

$$V_{ab} = -i_3 (r_3 + R_5) - (-E_3)$$

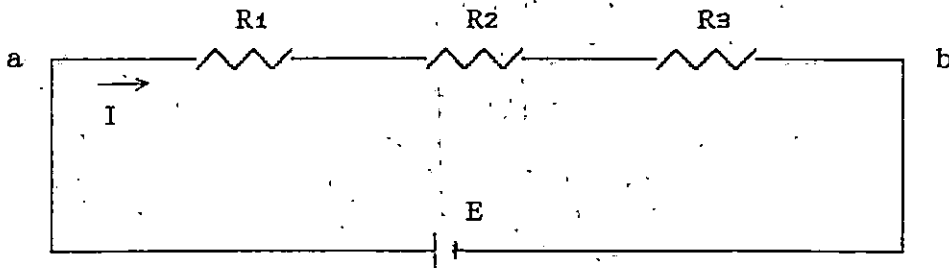
$$V_{ab} = -5 (1 + 3) - (-25) = 5 \text{ volt}$$

Ketiga cara ini memberikan hasil yang sama.

BAB III RANGKAIAN TAHANAN

Beberapa buah tahanan dapat dirangkai atau dihubungkan dengan cara sebagai berikut:

A. Rangkaian Seri



Gambar 3.1. Tiga resistor dihubungkan seri diantara titik a dan b
(Halliday, 1990:220)

Tahanan R1, R2, dan R3 dihubungkan secara seri. Tiap muatan listrik yang sampai di R1 akan melalui R2 dan seterusnya melalui R3, sehingga arus yang melalui tahanan R1, R2 dan R3, adalah sama yaitu I. Ketiga tahanan ini dapat diganti dengan sebuah tahanan tunggal yang disebut dengan tahanan ekuivalen atau tahanan pengganti. Tahanan ekuivalen ini jika digunakan untuk mengganti kombinasi seri diantara terminal a dan b, tidak akan mengubah arus dalam rangkaian tersebut.

Dengan menggunakan hukum Ohm dapat diperoleh nilai tahanan ekuivalen. Tegangan antara a dan b disebut V, tegangan pada R1 adalah V1, tegangan pada R2 adalah V2, tegangan pada R3 adalah V3, sehingga diperoleh persamaan,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$V = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

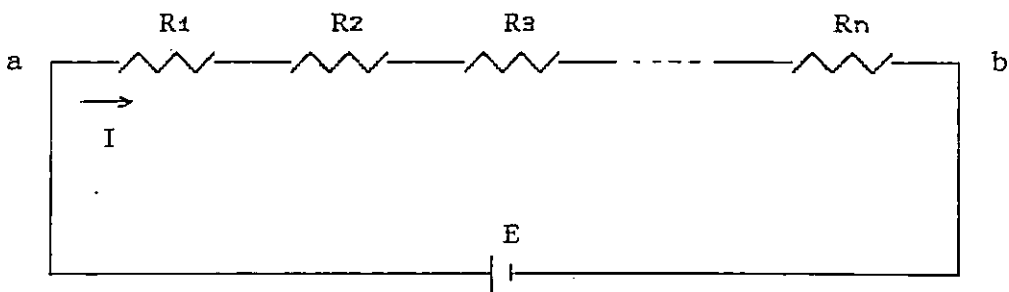
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots (1)$$

Jika ketiga tahanan diatas diganti dengan sebuah tahanan ekivalen (R_s) maka:

$$I = \frac{V}{R_s} \dots\dots\dots (2)$$

dari persamaan (1) dan (2) diperoleh:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots\dots (3-1)$$



Gambar 3.2. n buah resistor dihubungkan seri diantara titik a dan b (Alonso, 1983:99)

Apabila n buah tahanan yang dihubungkan seri seperti pada gambar diatas, maka dengan cara yang sama diperoleh persamaan,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots\dots\dots + V_n$$

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots\dots\dots + IR_n$$

$$V = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots\dots\dots + R_n)$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots\dots\dots + R_n}$$

Untuk tahanan ekivalen R_s :

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

MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

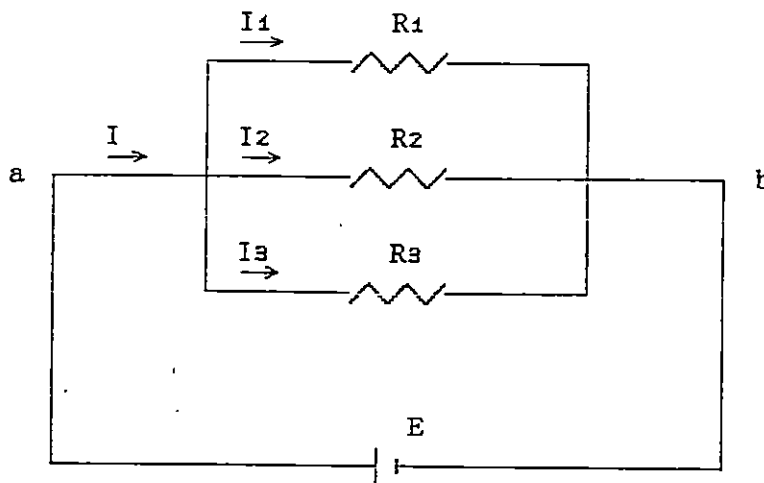
sehingga diperoleh : $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

Jadi nilai tahanan pengganti untuk hubungan seri sama dengan jumlah semua nilai tahanan yang ada dalam hubungan seri itu (Alonso, 1983:98).

$$R_s = \sum R \quad (3-2)$$

Dapat disimpulkan bahwa pada hubungan seri, nilai tahanan pengganti lebih besar dari nilai masing-masing tahanan

B. Rangkaian Paralel



Gambar 3.3 Tiga resistor dihubungkan paralel diantara titik a dan b (Halliday, 1990:227)

Tahanan R_1 , R_2 , dan R_3 dihubungkan secara paralel dan diberi sumber tegangan E . Tegangan antara titik a dan b disebut V , sehingga tegangan pada masing-masing tahanan adalah sama yaitu V . Ketiga tahanan ini juga dapat diganti dengan sebuah tahanan tunggal yang disebut dengan tahanan ekuivalen atau tahanan pengganti. Tahanan ekuivalen ini jika digunakan untuk mengganti kombinasi paralel diantara terminal a dan b , tidak akan mengubah arus total dalam rangkaian tersebut. Menurut hukum arus Kirchhoff:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

I adalah arus total, I_1 adalah arus pada R_1 , I_2 adalah arus pada R_2 , dan I_3 adalah arus pada R_3 . Dengan menggunakan hukum Ohm, maka persamaan diatas berubah menjadi,

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

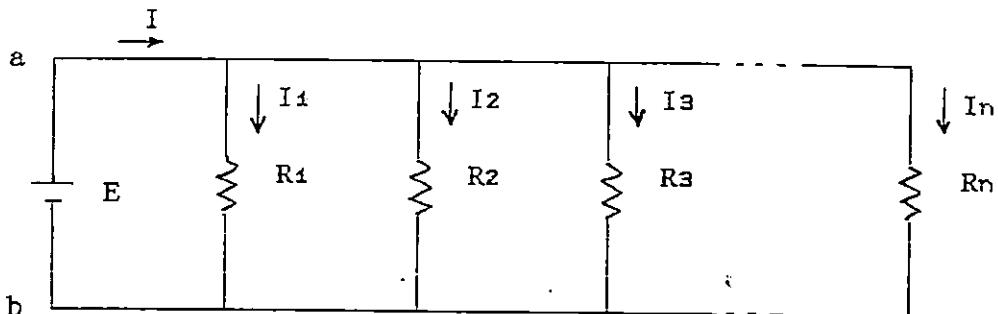
$$I = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Jika tahanan ekivalen tersebut (R_p) digunakan sebagai pengganti ketiga tahanan di atas, maka

$$I = V(1/R_p) \dots \dots \dots (2)$$

dengan menggabungkan persamaan (1) dan (2) ini, maka diperoleh,

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \quad (3-3)$$



Gambar 3.4. n buah resistor dihubungkan paralel diantara titik a dan b
(Alonso, 1983:99)

Jika n buah tahanan yang dihubungkan paralel maka dengan cara yang sama diperoleh persamaan,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

$$I = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

Untuk tahanan ekivalen R_p ,

$$I = V/R_p$$

sehingga tahanan diperoleh,

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

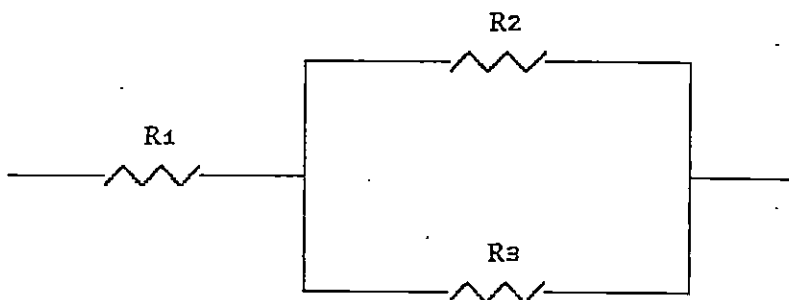
Dapat disimpulkan bahwa, kebalikan dari nilai tahanan pengganti untuk hubungan paralel sama dengan jumlah kebalikan dari semua nilai tahanan yang ada dalam hubungan paralel itu (Allonso, 1983:99).

$$\frac{1}{R_p} = \sum \frac{1}{R} \quad (3-4)$$

Nilai tahanan pengganti pada hubungan paralel ini lebih kecil dari nilai masing-masing tahanan.

C. Rangkaian Kombinasi Seri Dan Paralel

Nilai tahanan ekivalen pada rangkaian campuran ini ditentukan berdasarkan bentuk rangkaian seri dan paralel. Contoh 1.



Gambar 3.5. Tiga resistor dalam hubungan kombinasi seri dan paralel (Sutrisno, 1983:69)

Tahanan R_1 , R_2 dan R_3 dihubungkan secara campuran seri dan paralel. Tahanan R_2 dan R_3 paralel, maka

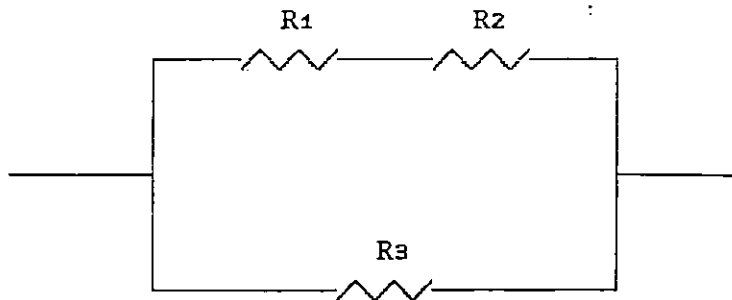
$$R_p = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

R1 dan Rp seri, maka nilai tahanan penggantinya untuk semua tahanan dalam rangkaian ini adalah,

$$R_t = R_1 + R_p$$

$$\text{atau } R_t = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Contoh 2.



Gambar 3.6 Rangkaian kombinasi seri paralel untuk contoh 2
(Sutrisno, 1983:69)

Tahanan R1, R2 dan R3 dihubungkan secara campuran seri paralel. Tahanan R1 dan R2 seri, maka $R_s = R_1 + R_2$. R_s dan R3 paralel, maka nilai tahanan penggantinya untuk semua tahanan dalam rangkaian ini adalah,

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_3}$$

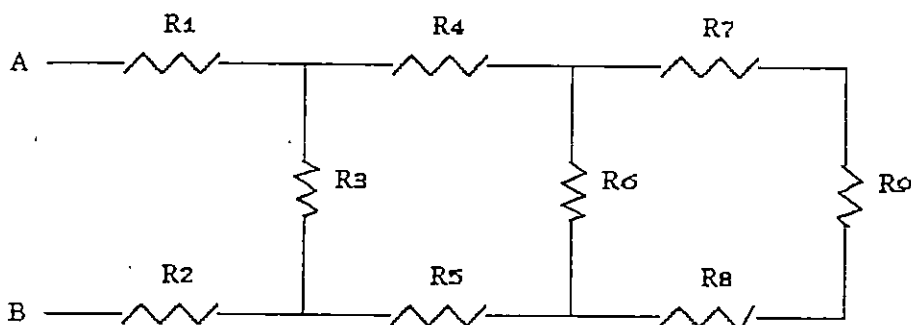
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3}$$

atau:

$$R_t = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Masih banyak lagi contoh dari rangkaian campuran seri dan paralel ini, yang terdiri dari sekian banyak tahanan. Walaupun bentuk rangkaian campuran ini banyak macamnya, namun cara penentuan nilai totalnya tidaklah sulit, bila prinsip rangkaian seri dan rangkaian paralel telah dipahami. Karena penyelesaian nilai tahanan total untuk rangkaian campuran ini, dikembalikan pada bentuk rangkaian seri dan rangkaian paralel secara bertahap.

Contoh 3.



Gambar 3.7. Rangkaian kombinasi seri paralel untuk contoh 3
(Toro, 1984:84)

Suatu rangkaian tahanan seperti terlihat pada gb 3.7. Diketahui harga tahanan $R_1 = 12$ ohm, $R_2 = 9$ ohm, $R_3 = 6$ ohm, $R_4 = 4$ ohm, $R_5 = 2$ ohm, $R_6 = 9$ ohm, $R_7 = 10$ ohm, $R_8 = 3$ ohm, dan $R_9 = 5$ ohm. Hitunglah nilai tahanan R_{AB} .

Penyelesaian:

Tahanan R_7 , R_9 , dan R_8 dihubungkan secara seri.

$$R_{s1} = R_7 + R_9 + R_8 = 10 + 3 + 5 = 18 \text{ ohm.}$$

Tahanan R_3 , R_6 , dihubungkan paralel.

$$R_{p1} = \frac{R_{s1} R_6}{R_{s1} + R_6} = \frac{18 \times 9}{18 + 9} \text{ ohm} = \frac{162}{27} \text{ ohm} = 6 \text{ ohm}$$