

6 ARUS LISTRIK SEARAH

Setelah mempelajari bab ini, Anda akan memahami:

- Bagaimana cara menghitung resistansi ekuivalen untuk menganalisis arus dan beda potensial pada setiap resistor dalam rangkaian seri dan paralel.
- Kaidah yang dapat diterapkan pada rangkaian dengan percabangan dan *loop* (simplal) untuk menganalisis arah arus dan beda potensial pada sumber tegangan gerak listrik.
- Bagaimana cara menggunakan ammeter, voltmeter, ohmmeter atau potensiometer dalam sebuah rangkaian.
- Bagaimana cara menganalisis rangkaian yang mengandung resistor dan kapasitor.

6.1 Resistor dalam Rangkaian Seri

Dalam gambar di bawah, tiga buah resistor dengan resistansi R_1 , R_2 dan R_3 tersambung secara seri. Dalam rangkaian seri, beda potensial $V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb}$ dan besar arus yang melewati setiap resistor adalah sama. Jika resistor R_1 , R_2 dan R_3 digantikan oleh sebuah resistor ekuivalen R_{ek} , maka cara menghitung besar R_{ek} adalah,



Gambar 6.1. Resistor dalam rangkaian seri dan resistansi ekuivalennya.

$$V_{ax} = IR_1 \quad V_{xy} = IR_2 \quad V_{yb} = IR_3$$
$$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb} = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{V_{ab}}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$V_{ab} = IR_{ek}$$

$$\frac{V_{ab}}{I} = R_{ek}$$

$$R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3$$

6.2 Resistor dalam Rangkaian Paralel

Dalam gambar di bawah, tiga buah resistor dengan resistansi R_1 , R_2 dan R_3 tersambung secara paralel. Dalam rangkaian paralel, beda potensial pada setiap resistor adalah sama, yakni V_{ab} dan besar arus $I = I_1 + I_2 + I_3$. Jika resistor R_1 , R_2 dan R_3 digantikan oleh sebuah resistor ekuivalen R_{ek} , maka cara menghitung besar R_{ek} adalah,



Gambar 6.2. Resistor dalam rangkaian paralel dan resistansi ekuivalennya.

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

$$I = \frac{V_{ab}}{R_{ek}}$$

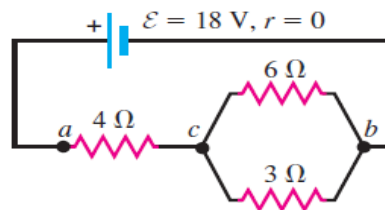
$$I = I_1 + I_2 + I_3 = V_{ab} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{I}{V_{ab}} = \frac{1}{R_{ek}}$$

$$\frac{I}{V_{ab}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

Contoh soal 6.1. Resistansi ekuivalen



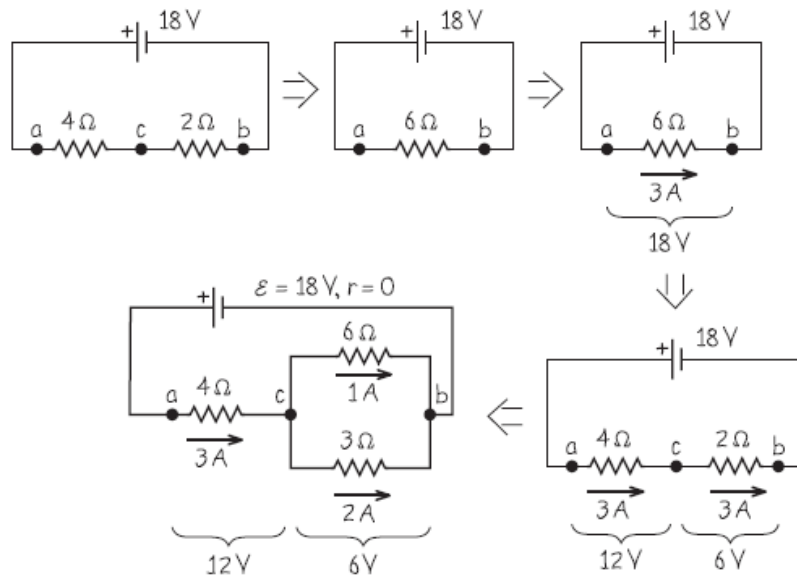
Hitunglah resistansi ekuivalen dan analisis beda potensial dan arus yang melewati setiap resistor.

Solusi

Menghitung R_{ek} dimulai dari bagian dalam, yakni rangkaian paralel 6Ω dan 3Ω .

$$\frac{1}{R_{ek'}} = \frac{1}{6 \Omega} + \frac{1}{3 \Omega} = \frac{3}{6 \Omega} \text{ sehingga } R_{ek'} = \frac{6 \Omega}{3} = 2 \Omega$$

Selanjutnya rangkaian seri $4\ \Omega$ dan R_{ek} , $2\ \Omega$ menghasilkan $R_{ek} = 4\ \Omega + 2\ \Omega = 6\ \Omega$. Kemudian arus yang melewati R_{ek} adalah $I = \varepsilon/R_{ek} = 18\ \text{V}/6\ \Omega = 3\ \text{A}$. Besar arus ini sama dengan besar arus yang melewati resistor $4\ \Omega$ dan $2\ \Omega$, yakni $3\ \text{A}$. Sekarang dapat dihitung beda potensial pada resistor $4\ \Omega$ adalah $V_{ac} = IR = (3\ \text{A})(4\ \Omega) = 12\ \text{V}$ dan $V_{cb} = (3\ \text{A})(2\ \Omega) = 6\ \text{V}$. Beda potensial V_{cb} ini sama dengan beda potensial pada rangkaian paralel resistor $6\ \Omega$ dan $3\ \Omega$, yakni $6\ \text{V}$. Langkah terakhir, arus yang melewati resistor $6\ \Omega$ adalah $I = 6\ \text{V}/6\ \Omega = 1\ \text{A}$ dan arus yang melewati resistor $3\ \Omega$ adalah $I = 6\ \text{V}/3\ \Omega = 2\ \text{A}$.



6.3 Kaidah Kirchhoff

Kaidah Kirchhoff (*kirs-hof*) digunakan pada rangkaian sebarang yang memiliki titik percabangan dan simpal untuk menganalisis arus listrik dan beda potensial pada sumber tegangan gerak listrik dan resistor. Ada dua kaidah Kirchhoff,

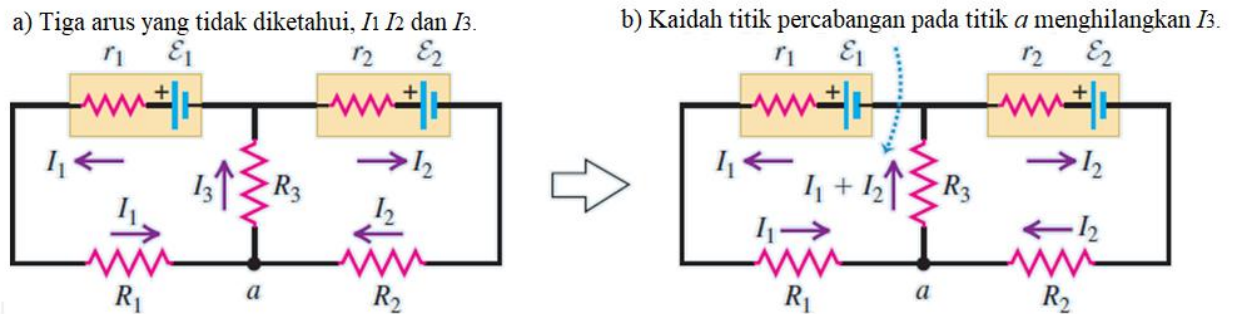
1. Kaidah titik percabangan: $\Sigma I = 0$

Jumlah aljabar dari arus dalam setiap percabangan adalah nol.

2. Kaidah simpal: $\Sigma V = 0$

Jumlah aljabar dari beda potensial dalam setiap simpal adalah nol

Kaidah titik percabangan didasarkan pada prinsip konservasi muatan listrik. Jumlah arus yang masuk pada sebuah titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik percabangan tersebut. Kaidah ini mengurangi jumlah arus yang tidak diketahui.

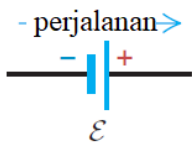


Gambar 6.3. Kaidah titik percabangan

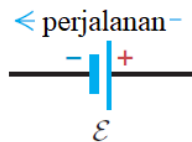
Untuk mengaplikasikan kaidah simpal dibutuhkan beberapa kesepakatan (konvensi) tanda. Pertama, tentukan arah perjalanan simpal searah atau berlawanan arah jarum jam. Jika arah perjalanan melewati sumber TGL dari terminal $-$ ke $+$, maka TGL itu bertanda positif. Sebaliknya jika arah perjalanan melewati sumber TGL dari terminal $+$ ke $-$, maka TGL itu bertanda negatif. Kedua, tentukan arah arus yang melewati setiap resistor. Jika arah perjalanan searah dengan arah arus, maka beda potensial pada resistor bertanda negatif. Sebaliknya, jika arah perjalanan berlawanan dengan arah dengan arah arus, maka beda potensial pada resistor bertanda positif.

(a) Konvensi tanda untuk TGL

$+\mathcal{E}$: Arah perjalanan dari $-$ ke $+$:

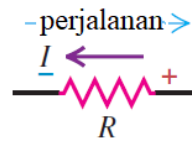


$-\mathcal{E}$: Arah perjalanan dari $+$ ke $-$:

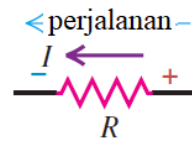


(b) Konvensi untuk tanda resistor

$+IR$: arah perjalanan berlawanan arah arus



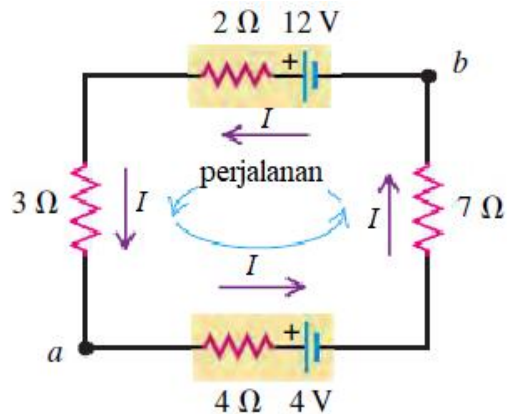
$-IR$: arah perjalanan searah arah arus



Gambar 6.4. Kaidah simpal

Contoh soal 6.2. Rangkaian Simal Tunggal

Sebuah rangkaian simpal tunggal memiliki dua baterai masing-masing dengan sumber tgl dan resistansi dalam dan dua resistor. Hitunglah: (a) arus dalam rangkaian (b) beda potensial V_{ab} dan (c) keluaran daya P dari setiap tge.



Solusi

a) Aturan simpal $\Sigma V = 0$, perjalanan dimulai dari titik a .

$$-4I - 4 - 7I + 12 - 2I - 3I = 0$$

$$8 = 16I$$

$$I = \frac{8}{16} = 0,5 \text{ A}$$

b) V_{ab} dihitung dari titik b ke titik a , bisa melalui dua arah.

$$V_{ab} = (0,5)(7) + 4 + (0,5)(4) = 9,5 \text{ V atau}$$

$$V_{ab} = 12 - (0,5)(2) - (0,5)(3) = 9,5 \text{ V}$$

c) $P = \varepsilon I$

$$P_1 = (12)(0,5) = 6 \text{ W}$$

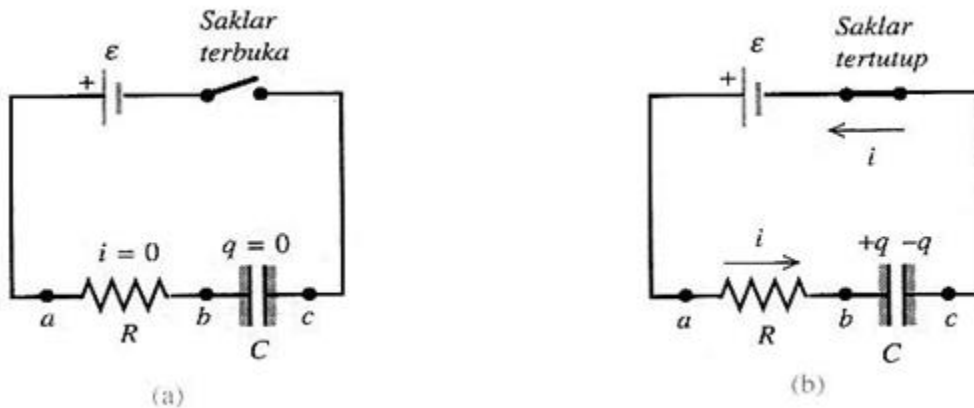
$$P_2 = (-4)(0,5) = -2 \text{ W (menggambil energi dari rangkaian)}$$

6.4 Instrumen Pengukur Listrik

1. Galvanometer *d'Arsonval* adalah instrumentasi yang dapat mengukur arus, tegangan dan hambatan.
2. Ammeter adalah galvanometer yang ditambahkan sebuah resistor langsir (*shunt*) secara paralel untuk mengukur arus.
3. Voltmeter adalah galvanometer yang ditambahkan sebuah resistor langsir secara seri untuk mengukur tegangan.
4. Ohmmeter adalah galvanometer yang ditambahkan resistor dan sumber tge yang disambungkan seri untuk mengukur hambatan.

5. Potensiometer adalah instrumen pengukur TGE sebuah sumber tanpa menarik arus dari sumber tersebut.

6.5 Rangkaian Resistor dan Kapasitor



$$\varepsilon - iR - \frac{q}{C} = 0$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC}$$

$$\frac{\varepsilon}{R} = \frac{Q_f}{RC}, \quad Q_f = C\varepsilon.$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC} = -\frac{1}{RC}(q - C\varepsilon)$$

$$\int_0^q \frac{dq'}{q' - C\varepsilon} = -\int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

$$\ln\left(\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon} = e^{-t/RC}$$

$$q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \quad (\text{rangkaian } R\text{-}C \text{ mengisi kapasitor})$$

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad (\text{rangkaian } R\text{-}C, \text{ mengosongkan kapasitor})$$

6.6 Kesimpulan

1. Resistansi ekuivalen R_{ek} dari resistor dalam rangkaian seri adalah: $R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
Resistansi ekuivalen R_{ek} dari resistor dalam rangkaian paralel adalah: $\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$
2. Kaidah I Kirchhoff (kaidah titik percabangan): $\Sigma I = 0$, jumlah arus dalam setiap percabangan adalah nol. Kaidah II Kirchhoff (kaidah simpal): $\Sigma V = 0$, jumlah potensial dalam setiap simpal adalah nol.
3. Galvanometer yang ditambahkan sebuah resistor langsir secara paralel disebut ammeter untuk mengukur arus.
Galvanometer yang ditambahkan sebuah resistor langsir secara seri disebut voltmeter untuk mengukur potensial.
Galvanometer yang ditambahkan resistor dan sumber tge secara seri disebut ohmmeter untuk mengukur hambatan.
4. Jika kapasitor diberi muatan dengan baterai dalam rangkaian seri dengan resistor, maka arus dan muatan kapasitor berubah sesuai waktu t .

6.7 Soal Latihan