

Materi Kuliah
Fisika Listrik

Arus Listrik, Resistansi,
dan Arus Searah

Dosen :
Tri Surawan M.Si

Fakultas Teknik
Universitas Jayabaya

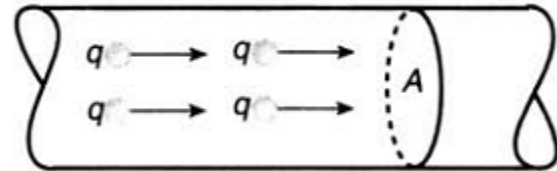
Pokok Bahasan

1. Arus Listrik
2. Resistansi dan Resistivitas
3. Rangkaian Listrik dan Gaya Gerak Listrik (GGL)
Induksi
4. Energi dan Daya dalam Rangkaian Listrik
5. Resistor Susunan Seri dan Paralel
6. Aturan Kirchoff
7. Alat Ukur Listrik
8. Rangkaian RC
9. Sistem Distribusi Daya

Arus Listrik

- **Arus listrik** adalah laju aliran muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang lintang suatu konduktor.
- Jika ΔQ adalah jumlah muatan yang mengalir melalui penampang lintang A dalam waktu Δt , maka arus listrik adalah :

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



- Satuan SI untuk arus adalah **Ampere (A)** :

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

- Menurut konvensi, **arah arus listrik dianggap searah dengan aliran muatan positif.**
 - Elektron-elektron bergerak dalam arah yang berlawanan dengan arah arus listrik.

Arus Listrik

Jika :

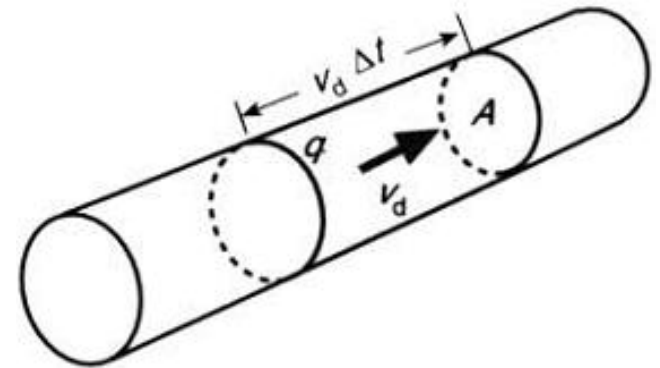
A = luas penampang kawat penghantar

n = jumlah partikel-partikel pembawa muatan bebas per satuan volume.

v_d = kecepatan alir masing-masing partikel

q = muatan tiap partikel

Dalam waktu Δt semua partikel dalam volume $Av_d \Delta t$, melewati elemen area luasan, maka jumlah partikel dalam volume ini adalah $nAv_d \Delta t$.



Muatan totalnya adalah:

$$\Delta Q = qnAv_d \Delta t$$

Jadi, arusnya adalah :

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

Contoh soal

Kabel transmisi tegangan tinggi dengan diameter 2,00 cm sepanjang 200 km membawa arus stabil sebesar 1000 A. Jika kabel transmisi tersebut terbuat dari tembaga dengan kerapatan muatan bebas $8,50 \times 10^{28}$ elektron per meter kubik, berapa tahun waktu yang dibutuhkan satu elektron untuk melakukan perjalanan sepanjang kabel tersebut? (1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s)

Penyelesaian :

Kecepatan gerak elektron pada kabel dinyatakan :

$$v_d = \frac{I}{nqA} = \frac{I}{n|e|\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}$$

Waktu yang dibutuhkan satu elektron untuk perjalanan sepanjang 200 km adalah :

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{L}{v_d} = \frac{Ln|e|\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{4I} = \frac{(200 \times 10^3 \text{ m})(8.50 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})\pi(0.02 \text{ m})^2}{4(1000 \text{ A})} \\ &= (8.55 \times 10^8 \text{ s})\left(\frac{1 \text{ yr}}{3.156 \times 10^7 \text{ s}}\right) \\ &= \boxed{27.1 \text{ yr}}\end{aligned}$$

Contoh soal

Sebuah kawat aluminium memiliki luas penampang $4,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ mengalirkan arus $5,00 \text{ A}$. Kerapatan aluminium $2,70 \text{ g/cm}^3$. Misalkan setiap atom aluminium menyediakan satu elektron konduksi per atom, carilah kecepatan drift elektron dalam kawat tersebut. (massa molar Al = $27,0 \text{ g/mol}$)

Penyelesaian :

Aluminium memiliki massa molar 27 g/mol , artinya setiap 1 mol Al memiliki massa 27 gr . Setiap 1 mol memiliki jumlah atom sebanyak bilangan avogadro (N_A) yaitu $6,02 \times 10^{23}$ atom.

Maka, massa per atom Al adalah :

$$m = \frac{27.0 \text{ g}}{N_A} = \frac{27.0 \text{ g}}{6.02 \times 10^{23}} = 4.49 \times 10^{-23} \text{ g/atom}$$

Jumlah atom per satuan luas penampang Al adalah :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\rho}{m} = \frac{\text{density of aluminum}}{\text{mass per atom}} = \frac{2.70 \text{ g/cm}^3}{4.49 \times 10^{-23} \text{ g/atom}} \\ &= 6.02 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3 \\ &= 6.02 \times 10^{28} \text{ atoms/m}^3 \end{aligned}$$

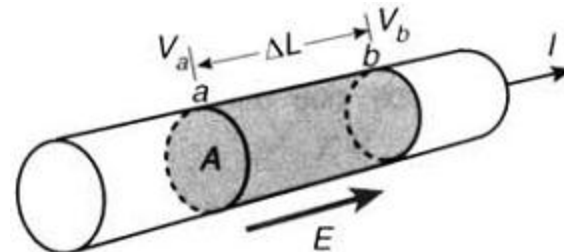
Jadi, kecepatan drift elektron dalam kawat tersebut adalah :

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{I}{nqA} \\ &= \frac{5.00 \text{ A}}{(6.02 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(4.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} \\ &= 1.30 \times 10^{-4} \text{ m/s} \\ &= \boxed{0.130 \text{ mm/s}}. \end{aligned}$$

Aliran Arus Listrik disebabkan Beda Potensial

- Arus di dalam konduktor dihasilkan oleh medan listrik ketika mendesakkan gaya pada muatan-muatan bebas.
 - Karena medan E searah dengan gaya pada muatan positif, dan
 - Karena arah arus merupakan arah aliran muatan positif,
 - Maka **arah arus searah dengan medan listrik**.
- Suatu segmen kawat dengan panjang ΔL dan penampang lintang A yang membawa arus I , maka beda potensial V antara titik a dan b adalah :

$$V = V_a - V_b = E \Delta L$$



- Karena ΔL cukup kecil sehingga medan listrik yang melintasi segmen dianggap konstan.

Resistansi

- **Hukum Ohm** menyatakan bahwa :
 - *Arus dalam suatu segmen kawat sebanding dengan beda potensial yang melintasi segmen.*
- Material yang memiliki sifat memenuhi hukum ohm, seperti pada kebanyakan logam, disebut **material ohmik**.
- Secara matematis dinyatakan :
$$I = \left(\frac{1}{R} \right) V$$
- R disebut **resistansi** dan dinyatakan :
$$R = \frac{V}{I}$$
- Satuan SI resistansi adalah **volt per ampere**, yang disebut **Ohm (Ω)** :
$$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$$
- Untuk **material non-ohmik**, perbandingan V/I bergantung pada arus, sehingga arus tidak sebanding dengan beda potensial dan resistansi R bergantung pada arus I.

Resistivitas

- Resistansi kawat penghantar sebanding dengan panjang kawat L dan berbanding terbalik dengan luas penampang lintang kawat A sehingga dinyatakan :

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

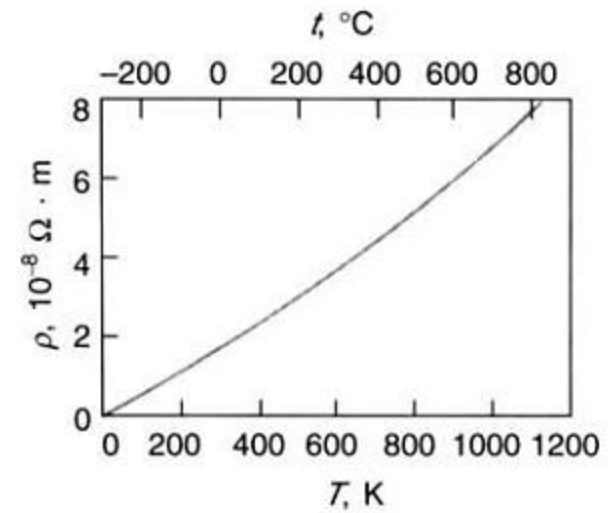
- Konstanta ρ disebut **resistivitas** material penghantar.
- Satuan resistivitas adalah **ohm meter ($\Omega \cdot m$)**.
- Kebalikan dari resistivitas disebut **konduktivitas σ** :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

- Hubungan resistansi dan konduktivitas adalah :

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

- Resistivitas (dan konduktivitas) suatu logam bergantung pada temperatur.



ρ vs T untuk tembaga

Resistivitas dan Koefisien Temperatur

Material	Resistivitas ρ pada 20°C $\Omega \cdot m$	Koefisien temperatur α Pada 20°C, K^{-1}
Perak	$1,6 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-3}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-3}$
Aluminium	$2,8 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-3}$
Tungsten	$5,5 \times 10^{-8}$	$4,5 \times 10^{-3}$
Besi	10×10^{-8}	$5,0 \times 10^{-3}$
Timah hitam	22×10^{-8}	$4,3 \times 10^{-3}$
Air raksa	96×10^{-8}	$0,9 \times 10^{-3}$
Nikrome	100×10^{-8}	$0,4 \times 10^{-3}$
Karbon	3500×10^{-8}	$-0,5 \times 10^{-3}$
Germanium	0,45	$-4,8 \times 10^{-2}$
Silikon	640	$-7,5 \times 10^{-2}$
Kayu	$10^8 - 10^{14}$	
Kaca	$10^{10} - 10^{14}$	
Karet keras	$10^{13} - 10^{16}$	
Amber	5×10^{14}	
Belerang	1×10^{15}	

Resistivitas pada temperatur t_C dalam Celcius dinyatakan :

$$\rho = \rho_{20} [1 + \alpha(t_C - 20^\circ C)]$$

α adalah koefisien temperatur resistivitas

Resistansi pada temperatur t_C dalam Celcius dinyatakan :

$$R = R_{20} [1 + \alpha(t_C - 20^\circ C)]$$

Contoh soal

Suatu kawat nikrom (resistivitas $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$) memiliki jari-jari 0,65 mm. Berapakah panjang kawat yang dibutuhkan untuk memperoleh resistansi 2,0 Ω ?

Penyelesaian :

Luas penampang lintang kawat ini adalah :

$$A = \pi r^2 = (3,14)(6,5 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 1,33 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Panjang kawat yang dibutuhkan untuk memperoleh resistansi 2,0 Ω adalah :

$$L = \frac{RA}{\rho} = \frac{(2 \Omega)(1,33 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{10^{-6} \Omega \cdot \text{m}} = 2,66 \text{ m}$$

Contoh soal

Sebuah kawat tembaga berdiameter 1,628 mm mengalirkan arus 12,5 mA.
Berapa beda potensial pada kawat sepanjang 2,00 m?
(Diketahui : Resistivitas tembaga = $1,72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$)

Penyelesaian :

Diketahui : $\rho_{\text{tembaga}} = 1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

Resistansi kawat tembaga sepanjang 2,00 m adalah :

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(2.00 \text{ m})}{\pi(0.814 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.65 \times 10^{-2} \Omega.$$

Maka, beda potensial pada kawat sepanjang 2,00 m adalah :

$$V = (12.5 \times 10^{-3} \text{ A})(1.65 \times 10^{-2} \Omega) = 2.06 \times 10^{-4} \text{ V}.$$

Contoh soal

Kawat tungsten memiliki luas penampang $0,600 \text{ mm}^2$ sepanjang $1,50 \text{ m}$ terdapat beda potensial $0,900 \text{ V}$. Berapa arus yang mengalir dalam kawat?

Penyelesaian :

Luas penampang kawat dalam m^2 adalah :

$$A = (0.600 \text{ mm}^2) \left(\frac{1.00 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}} \right)^2 = 6.00 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Beda potensial pada kawat dinyatakan :

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

Maka, arus yang mengalir dalam kawat adalah :

$$I = \frac{\Delta V A}{\rho l} = \frac{(0.900 \text{ V})(6.00 \times 10^{-7} \text{ m}^2)}{(5.60 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(1.50 \text{ m})} = \boxed{6.43 \text{ A}}$$

Contoh soal

- (a) Kawat tembaga berjari-jari 0,25 mm sepanjang 34,5 m pada 20,0 °C memiliki beda potensial 9,00 V, carilah besar arus dalam kawat.
- (b) Jika kawat dipanaskan menjadi 30,0 °C sedangkan beda potensial 9,00 V dipertahankan, berapa arus yang mengalir? (resistivitas tembaga = $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ dan $\alpha = 3,9 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$)

Penyelesaian :

(a) Resistansi pada 20,0 °C :

$$R_0 = \frac{\rho \ell}{A} = \frac{(1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(34,5 \text{ m})}{\pi (0,25 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 2,99 \Omega$$

Maka, arus yang mengalir pada kawat adalah :

$$I = \frac{\Delta V}{R_0} = \frac{9,00 \text{ V}}{3,00 \Omega} = \boxed{3,01 \text{ A}}$$

(b) Resistansi pada 30,0 °C :

$$\begin{aligned} R &= R_0 [1 + \alpha (\Delta T)] \\ &= (2,99 \Omega) \left[1 + (3,9 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(30,0^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C}) \right] \\ &= 3,10 \Omega \end{aligned}$$

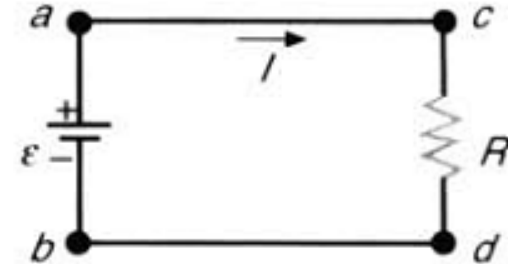
Maka, arus yang mengalir pada kawat adalah :

$$I = \frac{\Delta V}{R_0} = \frac{9,00 \text{ V}}{3,10 \Omega} = \boxed{2,90 \text{ A}}$$

Rangkaian Listrik dan Gaya Gerak Listrik (GGL)

Sumber gaya gerak listrik (GGL), yang diberi simbol \mathcal{E} , adalah alat yang digunakan memperoleh arus yang konstan dalam konduktor atau merupakan penghasil energi listrik yang konstan.

Sumber GGL dapat mengubah energi kimia, energi mekanik dan energi bentuk lain menjadi energi listrik.



Baterai ideal adalah sumber ggl yang dapat menjaga beda potensialnya konstan antar kedua terminalnya, tidak bergantung pada laju aliran muatan antara mereka.

Ketika muatan ΔQ mengalir melalui sumber ggl \mathcal{E} dan mengalir melalui resistor, energi potensialnya meningkat sejumlah $\Delta Q\mathcal{E}$.

Daya keluaran (laju energi disalurkan oleh sumber ggl) adalah :

$$P = \frac{\Delta Q \mathcal{E}}{\Delta t} = \mathcal{E} I$$

Gaya Gerak Listrik (GGL) dan Baterai

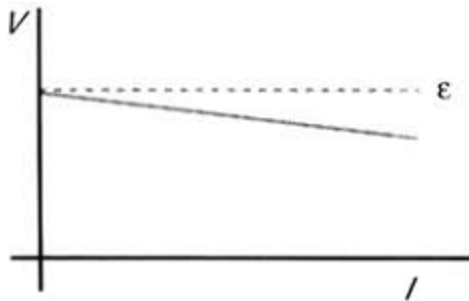
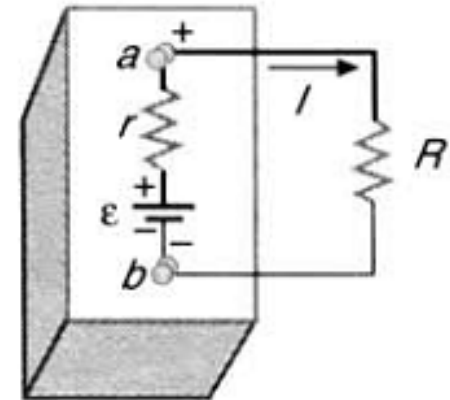
Dalam baterai yang sebenarnya, perbedaan potensial pada terminal-terminal baterai tidak sama dengan ggl baterai karena baterai memiliki hambatan dalam, sehingga dapat mengurangi daya yang bisa diantarkan ke rangkaian.

Jika arus dalam rangkaian adalah I , maka potensial antara titik a dan titik b adalah :

$$V_a - V_b = \mathcal{E} - I r$$

r = resistansi internal baterai

\mathcal{E} = ggl baterai



Tegangan terminal baterai menurun secara linier terhadap arus sehingga tegangan pada resistor R adalah :

$$IR = \mathcal{E} - Ir$$

Baterai sering dinilai dalam ampere-hours (A-h) adalah muatan total yang mampu dikirim per jam.

$$1 \text{ A h} = (1 \text{ C/s}) (3600 \text{ s}) = 3600 \text{ C}$$

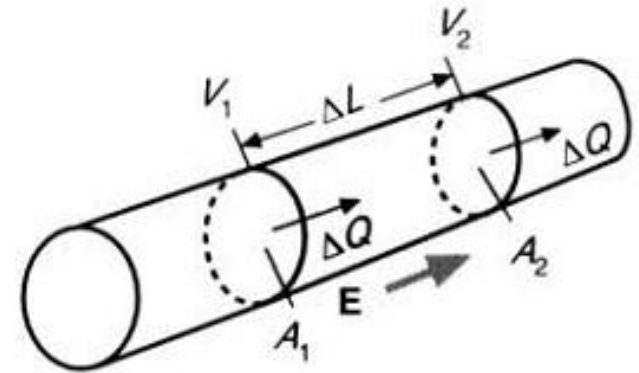
Maka besar arus I adalah :

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

Energi dan Daya dalam Rangkaian Listrik

Energi potensial pada batang yang menghantarkan arus listrik :

$$\Delta U = \Delta Q (V_2 - V_1) = \Delta Q(-V)$$



dimana $V = V_1 - V_2 =$ penurunan potensial pada segmen

Kehilangan energi potensial dalam segmen kawat ini adalah :

$$-\Delta U = (\Delta Q)V$$

Laju kehilangan energi adalah :

$$-\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} V = IV$$

Kehilangan energi per satuan waktu (**disebut daya P**) adalah :

$$P = IV \quad (\text{satuan Watt})$$

Daya juga dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = (IR)I = I^2 R \quad \text{atau} \quad P = \frac{V}{R}V = \frac{V^2}{R}$$

Contoh soal

Kawat yang memiliki resistansi 5Ω membawa arus 3 A selama 6 s .

- Berapa daya yang diberikan ke kawat?
- Berapa panas yang dihasilkannya?

Penyelesaian :

Daya yang diberikan ke kawat adalah :

$$P = I^2 R = (3 \text{ A})^2 (5 \Omega) = 45 \text{ W}$$

Panas yang dihasilkan :

$$U = P \cdot t = (45 \text{ W})(6 \text{ s}) = 270 \text{ J}$$

Contoh soal

Hitung daya listrik yang dihasilkan dalam 1,00 m kawat tembaga berdiameter 0,205 cm dan mengalirkan arus 20,0 A.

Penyelesaian :

Resistansi dari 1,00 m kawat tembaga berdiameter 0,205 cm adalah :

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{\rho l}{\pi (d/2)^2} = \frac{4\rho l}{\pi d^2} = \frac{4(1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(1.00 \text{ m})}{\pi (0.205 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 5.2 \times 10^{-3} \Omega$$

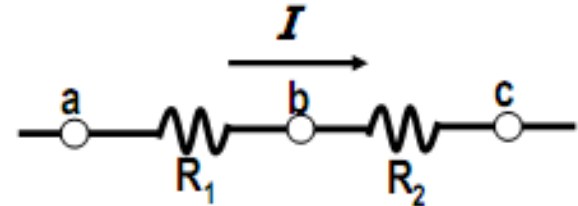
Daya listrik yang dihasilkan adalah :

$$P = I\Delta V = I^2 R = (20.0 \text{ A})^2 (5.2 \times 10^{-3} \Omega) = \boxed{2.1 \text{ W}}$$

Rangkaian Resistor

- Rangkaian resistor seri :

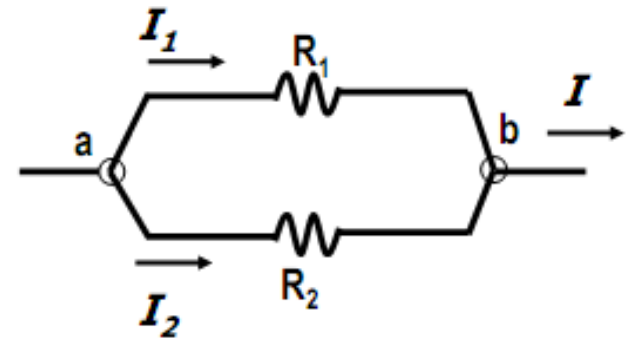
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



- muatan Q dan arus I yang mengalir melalui kedua resistor adalah sama.
- Tegangan V pada masing-masing resistor tergantung pada besar masing-masing resistor

- Rangkaian resistor paralel :

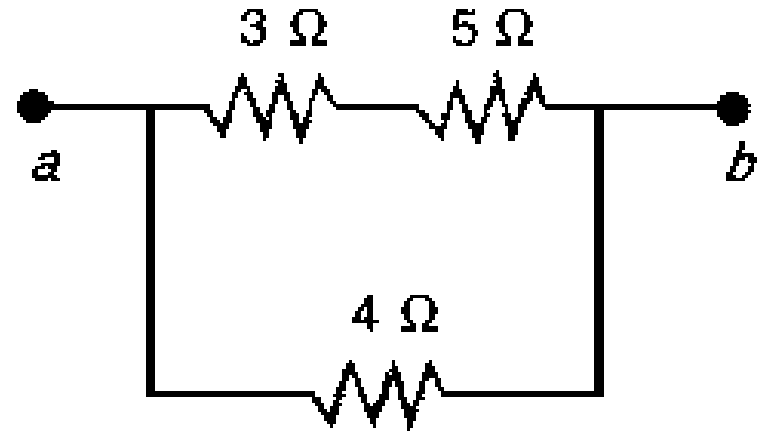
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



- muatan Q dan arus I yang mengalir melalui kedua resistor tergantung pada besar masing-masing resistor.
- Tegangan V pada kedua resistor adalah sama.

Contoh soal

Ada 3 buah resistor yang dihubungkan seperti gambar berikut ini.



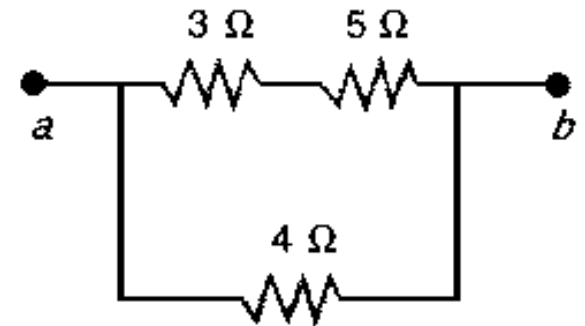
- Berapakah resistansi ekivalennya ?
- Jika beda potensial antara titik *a* dan *b* adalah 16 V, berapakah arus pada masing-masing resistor

Penyelesaian

a) $R_{\text{seri}} = R_1 + R_2 = 3 + 5 = 8 \Omega$

$$\frac{1}{R_{\text{equ}}} = \frac{1}{R_{\text{seri}}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{1}{8} + \frac{2}{8} = \frac{3}{8}$$

Jadi : $R_{\text{equ}} = \frac{8}{3} = 2,67 \Omega$



b) Arus pada Resistor 3 Ω dan 5 Ω adalah sama yaitu :

$$I_1 = \frac{V}{R_{\text{seri}}} = \frac{16}{8} = 2 \text{ A}$$

Arus pada resistor 4 Ω adalah :

$$I_2 = \frac{V}{R_3} = \frac{16}{4} = 4 \text{ A}$$

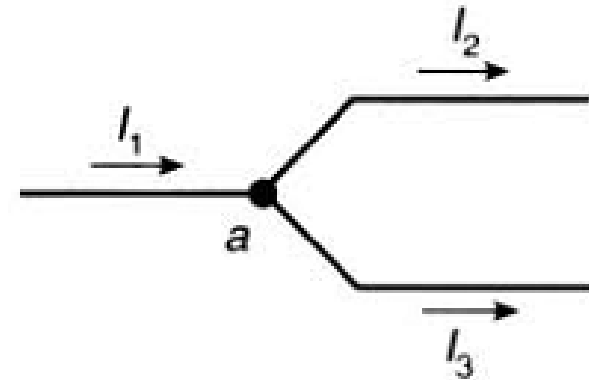
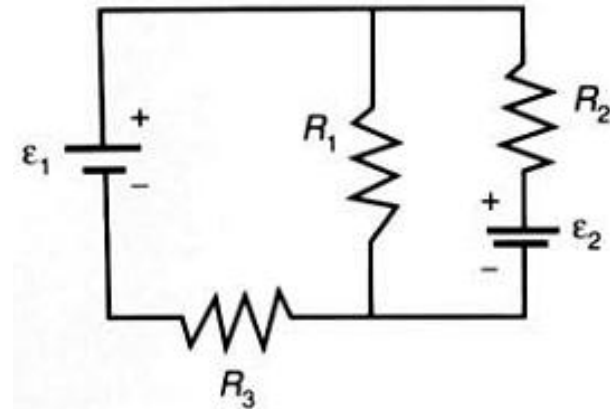
Hukum Kirchoff

- Pada setiap rangkaian tertutup, jumlah aljabar dari beda potensialnya harus sama dengan nol.

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

- Pada setiap titik percabangan jumlah arus yang masuk melalui titik tersebut sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut.

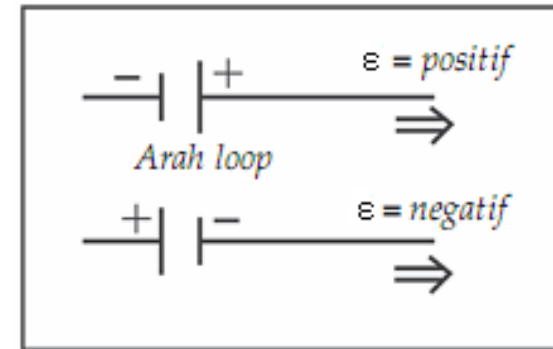
$$\mathbf{I_1 = I_2 + I_3}$$



Ketentuan Hukum Kirchhoff

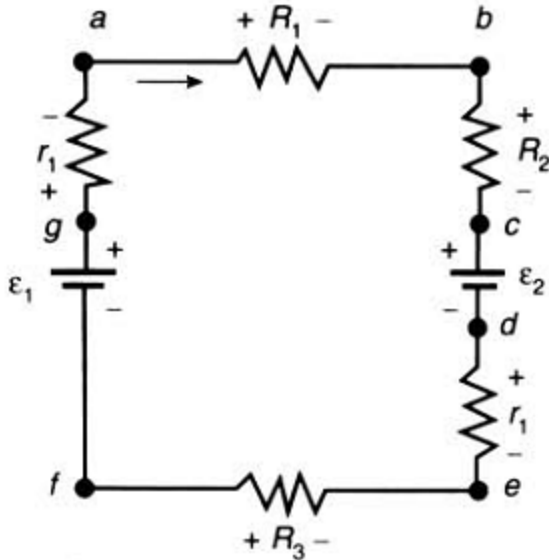
1. Semua perkalian arus I dan hambatan (R dan r) dihitung negatif.
2. Pada arah perjalanan atau penelusuran rangkaian tertutup (loop),

- a. jika sumber arus berawal dari kutub negatif ke kutub positif, maka ggl-nya dihitung positif.
- a. Jika sebaliknya dari kutub positif ke kutub negatif, maka ggl nya dihitung negatif.



3. Arah arus :
 - a. Arus yang searah dengan penelusuran loop dihitung positif,
 - b. Arus yang berlawanan dengan arah penelusuran dihitung negatif.
4. Jika hasil akhir perhitungan kuat arus bernilai negatif, maka kuat arus yang sebenarnya merupakan kebalikan dari arah yang ditetapkan.

Aplikasi Hukum Kirchhoff



Mulai dari titik a dengan menerapkan hukum Kirchhoff 1 diperoleh :

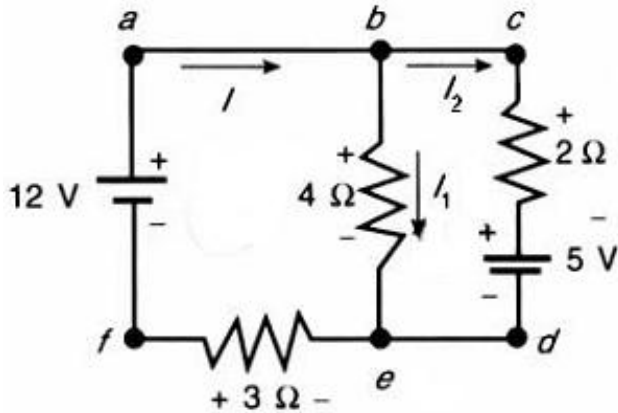
$$-IR_1 - IR_2 - \mathcal{E}_2 - Ir_2 - IR_3 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 = 0$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2}$$

Perubahan potensial antara titik-titik yang ditandai pada rangkaian :

$a \rightarrow b$	Berkurang IR_1
$b \rightarrow c$	Berkurang IR_2
$c \rightarrow d$	Berkurang \mathcal{E}_2
$d \rightarrow e$	Berkurang Ir_2
$e \rightarrow f$	Berkurang IR_3
$f \rightarrow g$	Bertambah \mathcal{E}_1
$g \rightarrow a$	Bertambah Ir_1

Rangkaian Multi Loop



Dengan menggunakan aturan percabangan di titik b, diperoleh :

$$I = I_1 + I_2$$

Dengan menggunakan aturan loop terluar (abcdef) diperoleh :

$$\begin{aligned} 12 \text{ V} - (2 \Omega)I_2 - 5 \text{ V} - (3 \Omega)(I_1 + I_2) &= 0 \\ 12 \text{ V} - 5 \text{ V} - (2 \Omega)I_2 - (3 \Omega)(I_1 + I_2) &= 0 \\ 7 \text{ V} - (2 \Omega)I_2 - (3 \Omega)I_1 - (3 \Omega)I_2 &= 0 \\ 7 \text{ V} - (3 \Omega)I_1 - (5 \Omega)I_2 &= 0 \quad \dots\dots (1) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan aturan loop pada loop bagian kiri (abef) diperoleh :

$$\begin{aligned} 12 \text{ V} - (4 \Omega)I_1 - (3 \Omega)(I_1 + I_2) &= 0 \\ 12 \text{ V} - (4 \Omega)I_1 - (3 \Omega)I_1 - (3 \Omega)I_2 &= 0 \\ 12 \text{ V} - (7 \Omega)I_1 - (3 \Omega)I_2 &= 0 \quad \dots\dots (2) \end{aligned}$$

Dengan eliminasi Pers (1) dan (2) diperoleh :

$$\begin{aligned} 7 \text{ V} - (3 \Omega)I_1 - (5 \Omega)I_2 &= 0 \quad | \times 3 | \\ 12 \text{ V} - (7 \Omega)I_1 - (3 \Omega)I_2 &= 0 \quad | \times 5 | \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 21 \text{ V} - (9 \Omega)I_1 - (15 \Omega)I_2 &= 0 \\ 60 \text{ V} - (35 \Omega)I_1 - (15 \Omega)I_2 &= 0 \\ -39 \text{ V} + (26 \Omega)I_1 &= 0 \end{aligned}$$

$$I_1 = 39 \text{ V} / 26 \Omega = 1,5 \text{ A}$$

Substitusikan I_1 ke pers (1) :

$$\begin{aligned} 7 \text{ V} - (3 \Omega)I_1 - (5 \Omega)I_2 &= 0 \\ 7 \text{ V} - (3 \Omega)(1,5 \text{ A}) - (5 \Omega)I_2 &= 0 \end{aligned}$$

$$I_2 = 2,5 \text{ V} / 5 \Omega = 0,5 \text{ A}$$

Arus total yang melalui baterai 12 V adalah :

$$I = I_1 + I_2 = 1,5 \text{ A} + 0,5 \text{ A} = 2,0 \text{ A}$$

Contoh soal

Dengan menggunakan aturan loop Kirchhoff terhadap loop terluar (abcdefg), diperoleh :

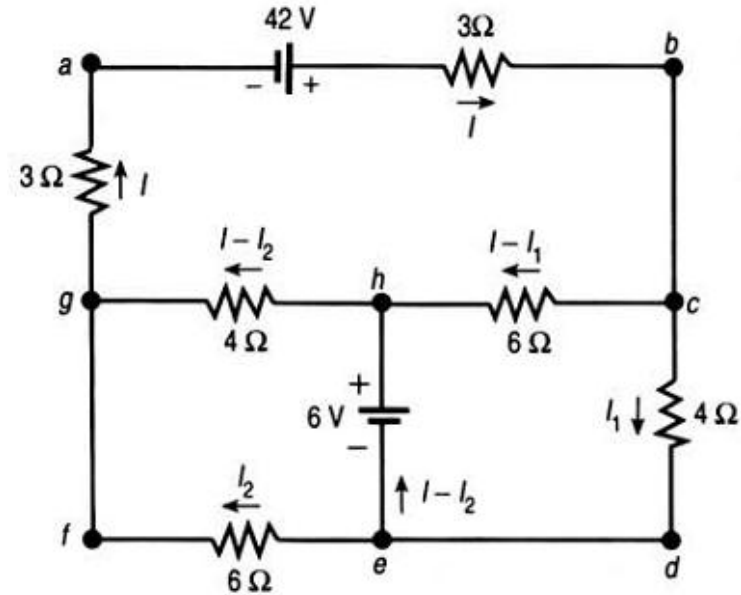
$$\begin{aligned} +42 \text{ V} - (3 \Omega)I - (4 \Omega)I_1 - (6 \Omega)I_2 - (3 \Omega)I &= 0 \\ 21 \text{ V} - 3I - 2I_1 - 3I_2 &= 0 \quad \dots\dots (1) \end{aligned}$$

Loop kedua bagian atas (abchga) diperoleh :

$$\begin{aligned} +42 \text{ V} - (3 \Omega)I - (6 \Omega)(I - I_1) - (4 \Omega)(I - I_2) - (3 \Omega)I &= 0 \\ 21 \text{ V} - 8I + 3I_1 + 2I_2 &= 0 \quad \dots\dots (2) \end{aligned}$$

Untuk loop ketiga, kita pilih loop bagian kiri terbawah (efghe) :

$$\begin{aligned} -(6 \Omega)I_2 + (4 \Omega)(I - I_2) - 6 \text{ V} &= 0 \\ 2I - 5I_2 - 3 \text{ V} &= 0 \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$



Jawaban akhir :

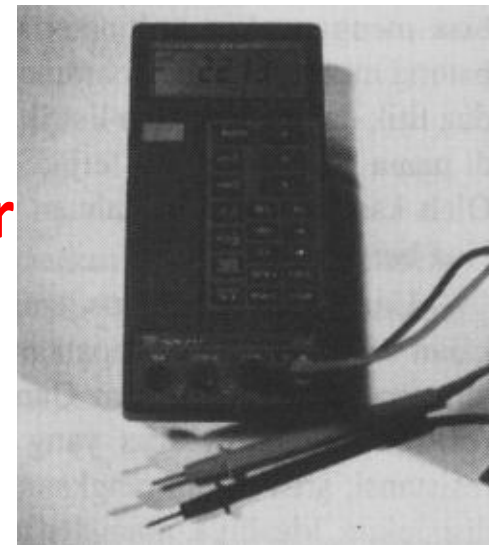
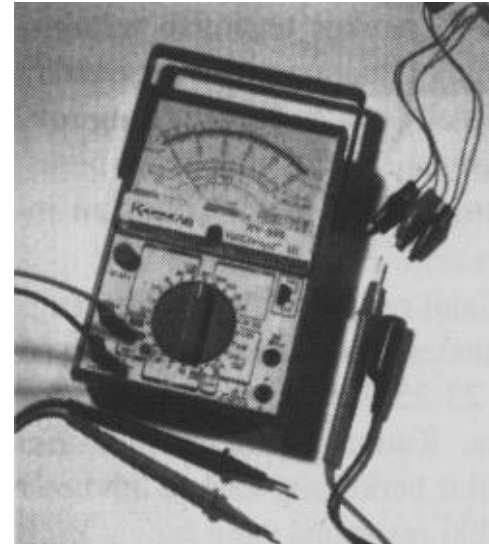
$$I = 4 \text{ A}$$

$$I_1 = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = 1 \text{ A}$$

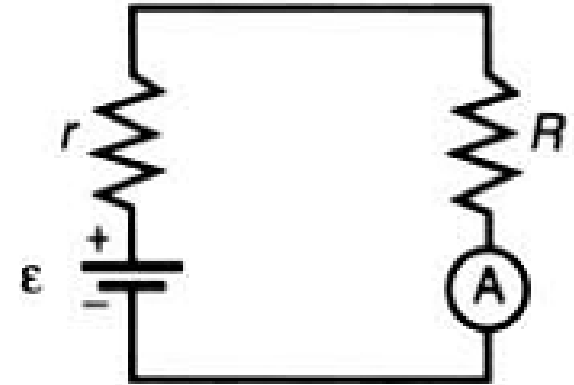
Alat Ukur Listrik

- Untuk mengukur Arus Listrik digunakan **Ampere-meter**.
- Untuk mengukur Tegangan Listrik digunakan **Volt-meter**.
- Untuk mengukur Resistansi digunakan **Ohm-meter**.
- Biasanya ketiga alat tersebut tergabung dalam satu alat yang disebut **AVO-meter** atau **Multi-meter**.



Ampere-meter

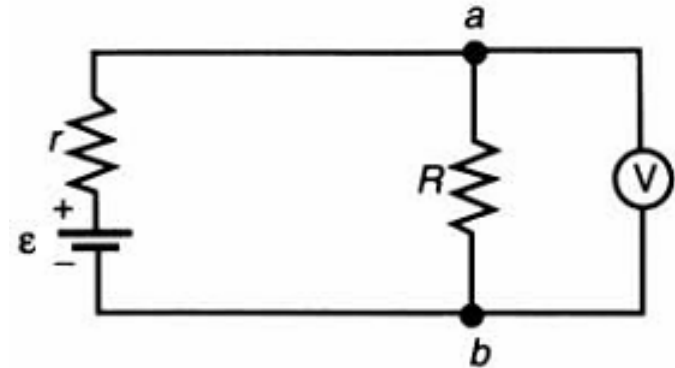
- Untuk mengukur arus yang melalui resistor dalam suatu rangkaian sederhana kita tempatkan ammeter **secara seri** dengan resistor.



- Karena ammeter memiliki resistansi dalam, arus dalam rangkaian sedikit berkurang karena keberadaan ammeter.
- Idealnya, **ammeter harus memiliki resistansi dalam yang sangat kecil** sehingga hanya sedikit perubahan yang terjadi terhadap arus yang akan diukur.

Volt-meter

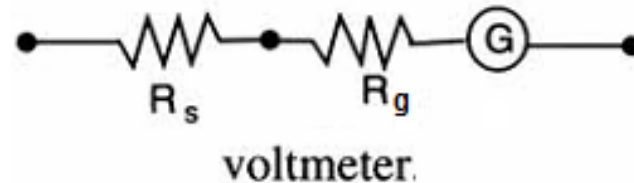
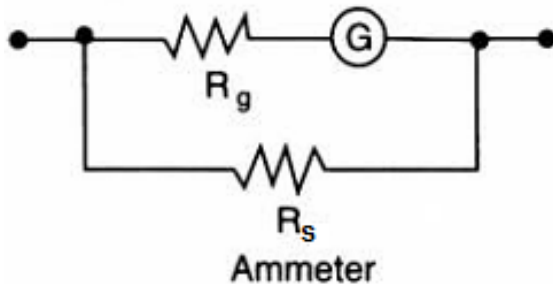
- Beda potensial (tegangan) pada resistor diukur dengan menempatkan voltmeter yang dihubungkan **secara paralel** dengan resistor.



- Voltmeter memiliki resistansi dalam sehingga mengurangi resistansi antara titik a dan b, yang menyebabkan meningkatnya arus total dalam rangkaian dan mengubah tegangan jatuh pada resistor yang diukur.
- Sebuah **voltmeter yang baik memiliki resistansi dalam yang sangat besar** sehingga efeknya pada rangkaian menjadi minimal.

Galvanometer

- Komponen dasar suatu ammeter dan voltmeter adalah **galvanometer**, suatu alat yang mampu mendeteksi arus kecil yang melaluinya.
- Galvanometer dirancang sehingga **pembacaan skala sebanding dengan arus yang melaluinya**.
- Dua sifat galvanometer yang penting dalam ammeter dan voltmeter adalah **resistansi galvanometer R_G** dan **arus yang dibutuhkan untuk menghasilkan simpangan skala penuh I_G** .
 - Nilai yang umum pada galvanometer laboratorium adalah $R_G = 20 \Omega$ dan $I_G = 0,5 \text{ mA}$.
- Penggunaan galvanometer dibutuhkan resistor kecil yang disebut **resistor shunt (R_s)**.
 - Untuk amperemeter, resistor shunt yang **disusun paralel** dengan galvanometer.
 - Untuk Voltmeter, resistor shunt yang **disusun seri** dengan galvanometer.



- Biasanya, Resistor shunt (R_s) menggunakan resistor variabel yang berfungsi untuk mengkalibrasi alat ukur.

Contoh Soal

Galvanometer yang memiliki resistansi 20Ω untuk arus $5 \times 10^{-4} \text{ A}$, memberikan defleksi skala-penuh. Carilah nilai resistor shunt yang dibutuhkan untuk amperemeter agar memberikan defleksi skala-penuh ketika arusnya 5 A .

Penyelesaian :

Karena galvanometer dan resistor shunt diparalel, maka :

$$I_g R_g = I_s R_s$$

dan

$$I_s + I_g = 5 \text{ A}$$

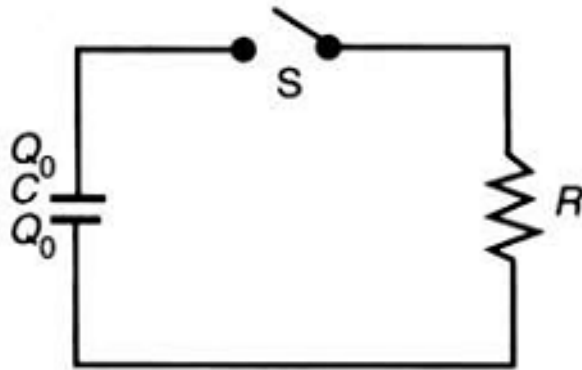
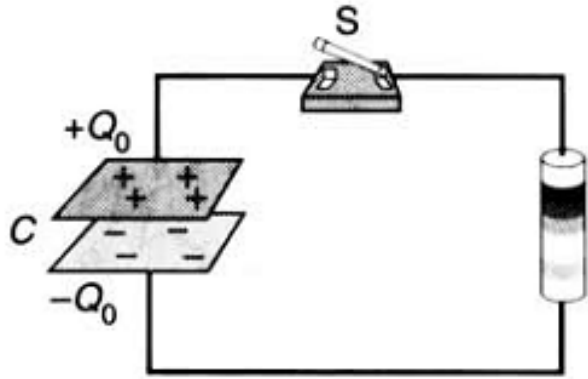
$$I_s = 5 \text{ A} - I_g = (5 \text{ A}) - (5 \times 10^{-4}) \approx 5 \text{ A}$$

Maka, nilai resistor shunt yang dibutuhkan menjadi :

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I_s} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ A}}{5 \text{ A}} (20 \Omega) = 2 \times 10^{-3} \Omega$$

Karena nilai resistansi shunt jauh kecil dibandingkan dengan resistansi galvanometer, maka resistansi efektif kombinasi paralel akan mendekati nilai resistansi shunt.

Rangkaian RC



Perhatikan gambar disamping :

- Sebuah kapasitor yang dihubungkan langsung dengan sebuah resistor.
- Diantaranya diletakkan sebuah saklar S, yang fungsinya menghubungkan ataupun melepaskan hubungan antara kapasitor dengan resistor.
- Apabila kapasitor menyimpan muatan maka akan ada **proses proses pelepasan muatan** ke resistor.

Pelepasan Muatan dari Kapasitor

Pada saat $t = 0$ saklar di tutup, aliran muatan dari plat positif kapasitor ke plat negatif melalui resistor, maka arus listrik mula-mula adalah:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{Q_0}{RC}$$

Laju pengurangan muatan pada kapasitor pada waktu tertentu :

$$I = -\frac{dQ}{dt}$$

Menurut aturan loop Kirchhoff dengan $V = Q/C$, maka :

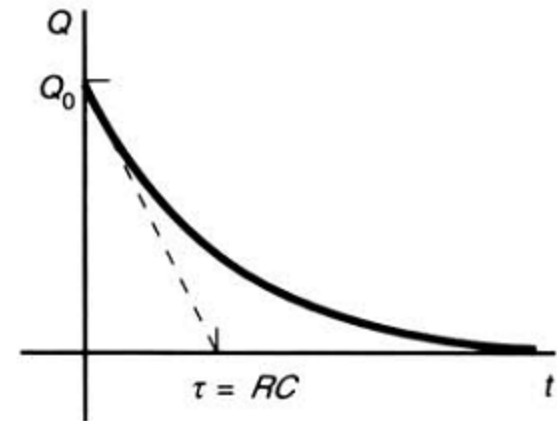
$$\frac{Q}{C} - IR = 0 \Rightarrow \frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{RC}Q$$

Pisahkan variabel-variabel Q dan t , kemudian integralkan :

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{RC} \Rightarrow \ln Q = -\frac{t}{RC} + A$$

Bentuk eksponensial pada kedua sisi persamaan ini, diperoleh :

$$e^{\ln Q} = e^{-t/RC + A} = e^A e^{-t/RC}$$
$$Q = B e^{-t/RC}$$



Konstanta $B = e^A$ dari kondisi awal $Q = Q_0$ pada $t = 0$ diperoleh :

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC} = Q_0 e^{-t/\tau}$$

$\tau = RC$ disebut konstanta waktu.

Aliran arus diperoleh dari :

$$I = -\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC}$$

$$I = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/\tau}$$

Contoh soal

Kapasitor $4 \mu\text{F}$ dimuati hingga 24 V dan lalu dihubungkan dengan resistor 200Ω .

Tentukan :

- muatan mula-mula pada kapasitor,
- arus mula-mula melalui resistor 200Ω ,
- konstanta waktu, dan
- muatan pada kapasitor setelah 4 ms .

Penyelesaian :

a. Muatan mula-mula adalah :

$$Q_0 = CV = (4 \mu\text{F})(24 \text{ V}) = 96 \mu\text{C}.$$

b. Arus mula-mula adalah :

$$I_0 = V_0/R = (24 \text{ V})/(200 \Omega) = 0,12 \text{ A}.$$

c. Konstanta waktu adalah :

$$\tau = RC = (200 \Omega)(4 \mu\text{F}) = 800 \mu\text{s} = 0,8 \text{ ms}.$$

d. Pada $t = 4 \text{ ms}$, muatan pada kapasitor adalah :

$$Q = Q_0 e^{-t/\tau} = (96 \mu\text{C})e^{-(4 \text{ ms})/(0,8 \text{ ms})} = (96 \mu\text{C})e^{-5} = 0,647 \mu\text{C}$$

Pengisian Muatan ke dalam Kapasitor

GGL \mathcal{E} di dihubungkan dengan kapasitor yang awalnya kosong. Pada saat saklar ditutup pada saat $t = 0$, muatan mulai mengalir melalui resistor dan menuju plat positif kapasitor.

Menurut aturan loop Kirchhoff menyatakan :

$$\mathcal{E} - V_R - V_C = 0 \quad \text{atau} \quad \mathcal{E} - IR - \frac{Q}{C} = 0$$

Karena laju muatan pada kapasitor meningkat, maka :

$$I = + \frac{dQ}{dt}$$

Persamaan di atas menjadi :

$$\mathcal{E} = R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} \Rightarrow RC \frac{dQ}{dt} = C\mathcal{E} - Q \Rightarrow \frac{dQ}{C\mathcal{E} - Q} = \frac{dt}{RC}$$

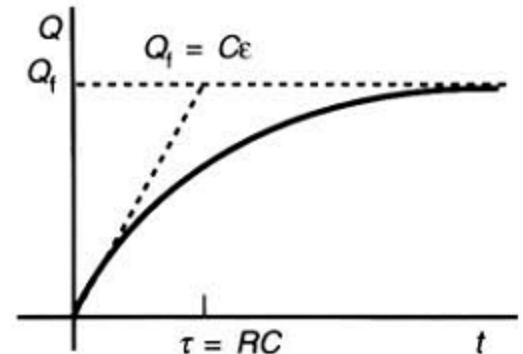
Dengan mengintegrasikan tiap sisi persamaan diperoleh :

$$-\ln(C\mathcal{E} - Q) = t/RC + A$$

Dengan mengeksponensialkan tiap sisi persamaan, maka :

$$C\mathcal{E} - Q = e^{-A} e^{-t/RC} = B e^{-t/RC}$$

$$Q = C\mathcal{E} - B e^{-t/RC}$$



$B = e^A$ adalah konstanta yang nilainya ditentukan oleh kondisi awal $Q = 0$ pada $t = 0$, sehingga :

$$0 = C\mathcal{E} - B \Rightarrow B = C\mathcal{E}$$

Dengan mensubstitusikan $B = C\mathcal{E}$ ke dalam Persamaan :

$$Q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/\tau})$$

$Q_f = Q\mathcal{E}$ adalah muatan akhir

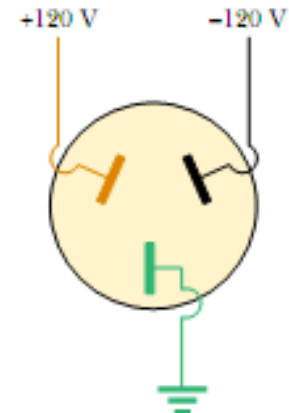
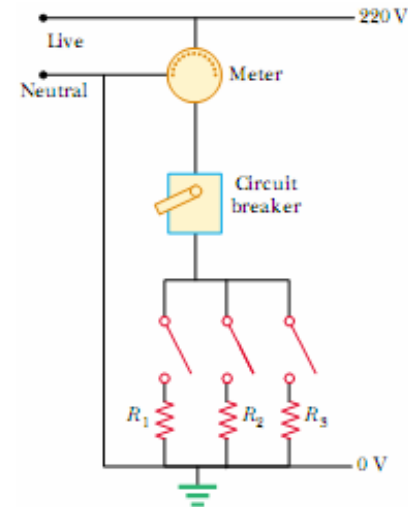
Aliran arus diperoleh dari :

$$I = \frac{dQ}{dt} = -C\mathcal{E} e^{-t/RC} (-1/RC)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/\tau}$$

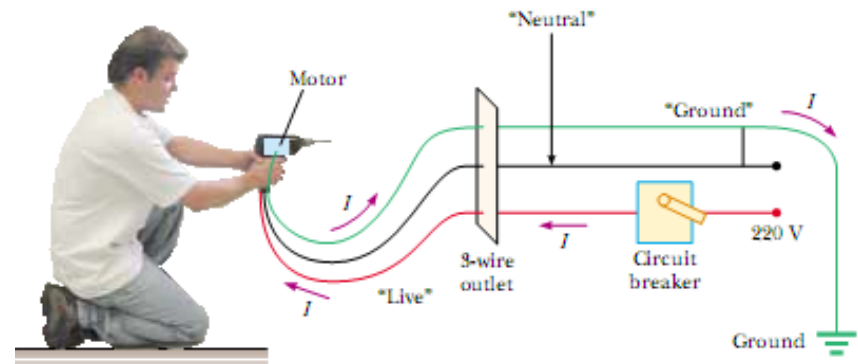
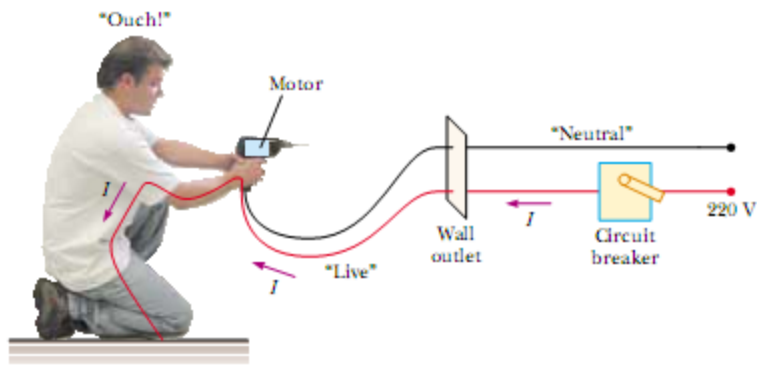
Sistem Distribusi Daya

- Biasanya perusahaan penyedia energi listrik mendistribusikan ke masing-masing pelanggan menggunakan sepasang kabel yaitu kabel live (berisi strum) dan netral.
 - Kabel live jika diukur dengan referensi ground menunjukkan tegangan 220 V.
 - Kabel netral jika diukur dengan referensi ground menunjukkan tegangan 0 V.
- Meteran dipasang secara seri dengan kabel live yang masuk ke rumah untuk mengukur konsumsi listrik yang digunakan.
- Kemudian disambungkan ke sekering sentral untuk pengaman bila terjadi beban lebih atau korseleting listrik, lalu didistribusikan ke alat-alat dalam rumah secara paralel.
 - Untuk daya 900 W, digunakan sekering 4 A.
 - Untuk daya 1300 W, digunakan sekering 6 A.
- Untuk mengurangi kemungkinan kena setrum dari peralatan yang terhubung dengan listrik, maka ditambah satu kabel lagi yang dihubungkan ke ground.



Keselamatan Listrik

- Ketika kabel live terhubung dengan ground maka akan terjadi hubung singkat (konseleting listrik).
- Hubung singkat terjadi bila resistansi mendekati nol antara 2 titik yang memiliki potensial yang berbeda dan akan mengalirkan arus yang sangat besar.
- Bila hal ini terjadi seharusnya sekering listrik akan terputus, sehingga aliran listrik tidak akan merusak peralatan di dalam rumah.
- Seseorang yang menginjak tanah dapat kena strum, jika tiba-tiba dia menyentuh kabel live.



Terima Kasih