

ARUS, HAMBATAN DAN TEGANGAN GERAK ELEKTRIK

Oleh :
Sabar Nurohman, M.Pd



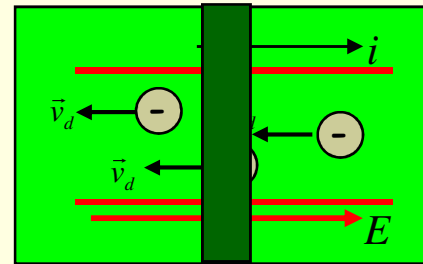
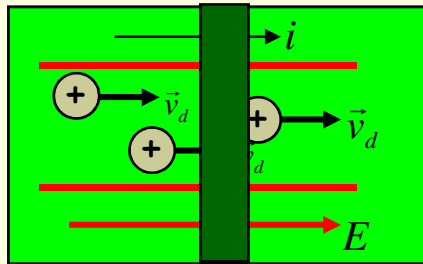
Ke Menu Utama

Lihat Tampilan Berikut:

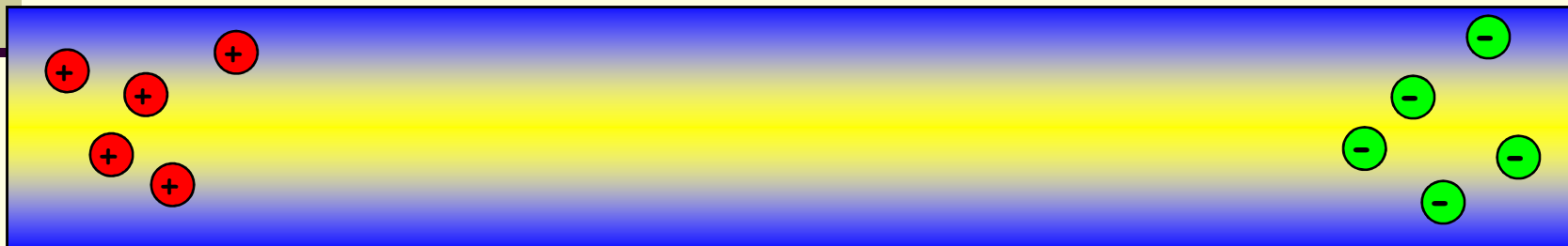


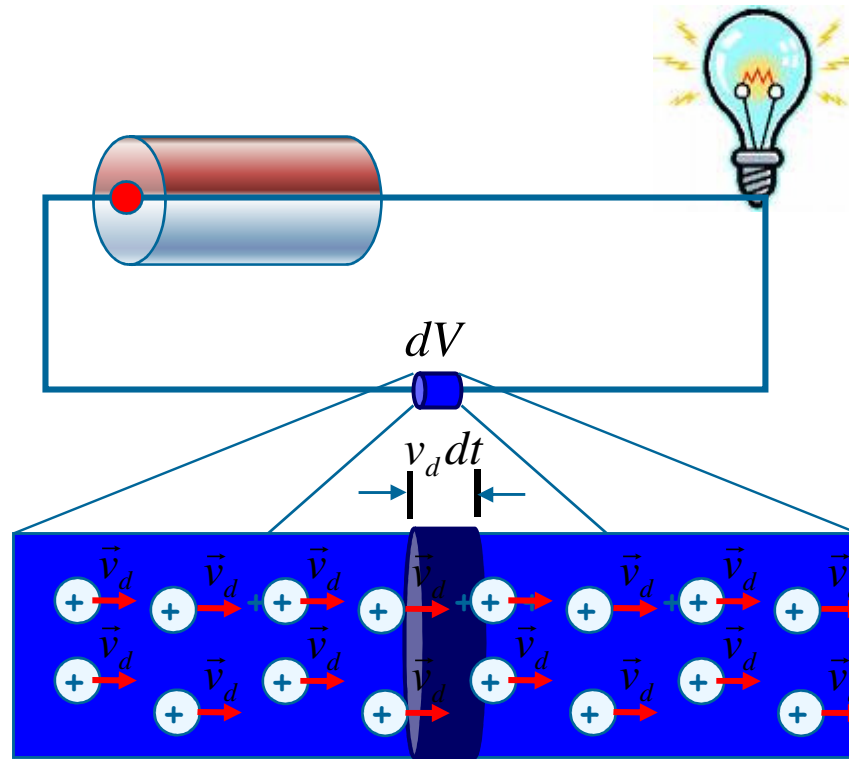
ARUS

Arus listrik didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir melalui suatu luas penampang tiap satuan waktu.



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





Apabila dalam suatu penampang konduktor dengan luas A terdapat n buah partikel persatuan volume yang bermuatan q bergerak dengan kecepatan v_d selama rentang waktu dt , maka besarnya kuat arus :

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

$$I = nqv_d A$$

Kerapatan arus menyatakan besarnya arus persatuan luas penampang, dirumuskan sbb :

$$I = nqv_d A$$

$$\vec{J} = \frac{I}{A} = n|q|\vec{v}_d$$

Dalam percobaannya, rasio antara medan listrik E dan Kerapatan arus \mathcal{J} "selalu" konstan. Besaran yang menunjukkan rasio E dan J disebut sebagai resistivitas (ρ):

$$\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{J}} \text{ atau } \sigma = \frac{\vec{J}}{\vec{E}}$$

$$\text{Jadi : } \rho = \frac{1}{\sigma} \text{ --- } \sigma = \text{Konduktivitas}$$

Asal
pernyataan
HUKUM OHM



HAMBATAN (RESISTENSI)

Hukum Ohm dapat dituliskan sbb :

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

Berdasarkan uraian sebelumnya, kita telah mengetahui bahwa $V=Ed$ atau jika panjang konduktor L maka $V=EL$, sedangkan J adalah rapat arus (I/A), jadi persamaan di atas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{V}{L} = \frac{\rho I}{A} \text{ atau } V = \frac{\rho L}{A} I$$

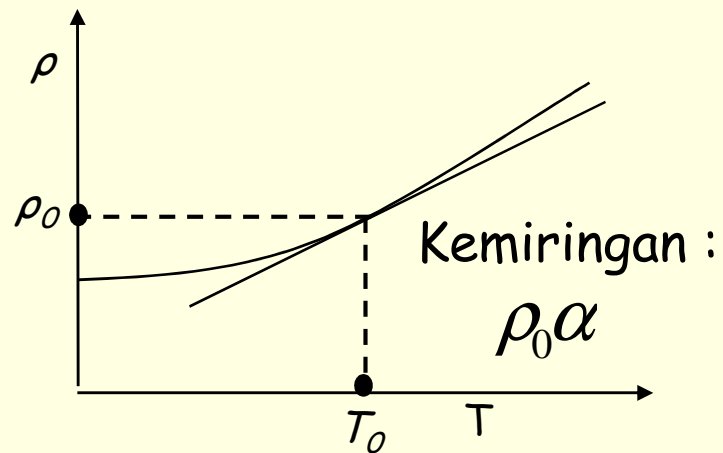
Persamaan di atas memperlihatkan bahwa arus total I sebanding dengan selisih potensial V . Rasio V terhadap I untuk sebuah konduktor dinamakan Hambatan (resistensi)

$$V = RI \text{ --- } > R = \frac{V}{I}$$

Dengan demikian maka :

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A}$$

Grafik Hubungan antara Resistivitas dengan Suhu



$$\rho = f(t)$$

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

$$\rho = \rho_0 + at$$

$$\rho = \rho_0 + \rho_0\alpha t$$

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

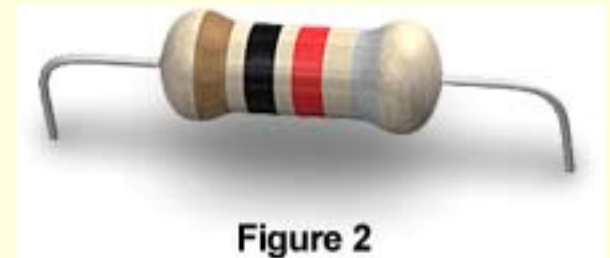


Figure 2



Warna	Nilai	faktor pengali	Toleransi
Hitam	0	1	
Coklat	1	10	1%
Merah	2	100	2%
Jingga	3	1.000	
Kuning	4	10.000	
Hijau	5	100.000	
Biru	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Abu-abu	8	10^8	
Putih	9	10^9	
Emas	-	0.1	5%
Perak	-	0.01	10%
Tanpa warna	-	-	20%

Membaca nilai hambatan :

Angka pertama

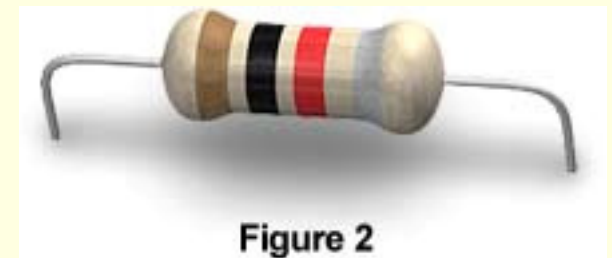
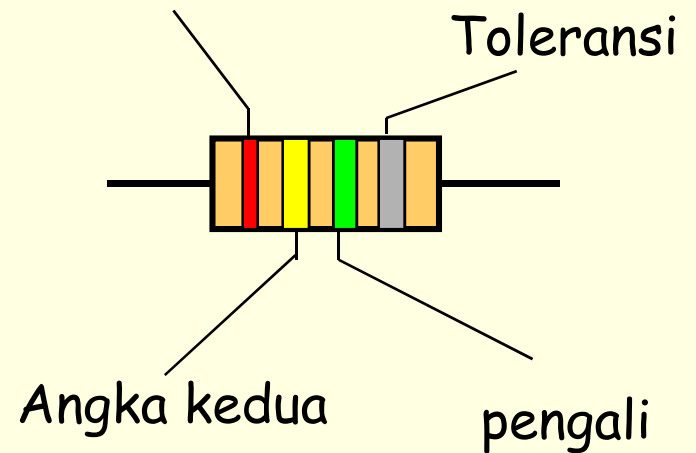


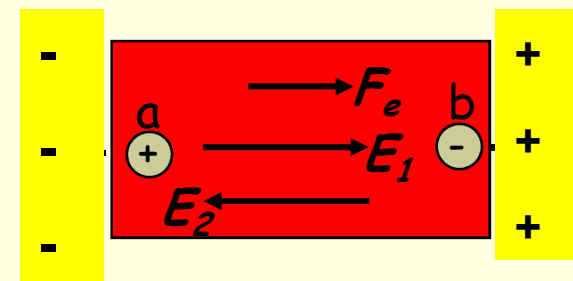
Figure 2



TEGANGAN GERAK ELEKTRIK

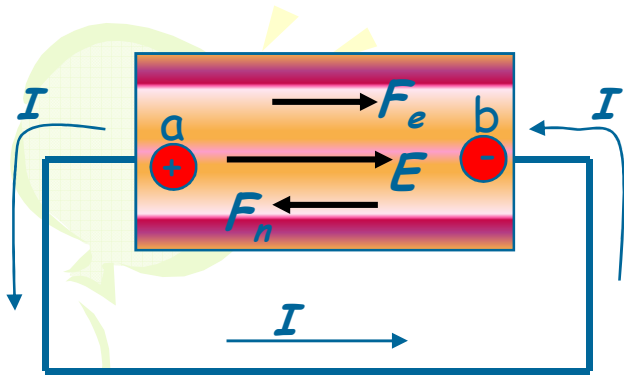
Pada sebuah konduktor, agar arus listrik tetap berjalan harus ada pengaruh dari luar yang dapat membuat arus mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi. Pengaruh tersebut dinamakan sebagai TEGANGAN GERAK ELEKTRIK (tge). Adapun alat yang mampu menghasilkan pengaruh tersebut disebut sebagai sumber tge. Sumber tge adalah alat yang mampu mempertahankan beda potensial di antara 2 terminal.

Pada keadaan alamiah, beda potensial a dan b akan menyebabkan gerakan muatan dari a ke b, namun kondisi ini akan cepat berakhir ketika q telah mengumpul di satu terminal yang menyebabkan tidak ada lagi beda potensial.



$$E_{tot} = E_1 - E_2 = 0$$





Untuk itu harus ada gaya luar F_n yang berfungsi untuk mempertahankan beda potensi.

Gaya luar tersebut akan melakukan kerja sebesar $q\mathcal{E}$ untuk melawan kerja elektrostatis qV_{ab} . Dengan demikian maka :

$$qV_{ab} = q\mathcal{E} \implies V_{ab} = \mathcal{E}$$

Sehingga :

$$\mathcal{E} = V_{ab} = IR$$

Namun dalam kenyataannya, selalu saja ada hambatan dalam (r) pada sumber tge tersebut, sehingga :

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$$

Sehingga :

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

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



Energi dan Daya dalam Rangkaian Listrik

Jika suatu arus listrik I bergerak akibat beda potensial V_{ab} selama rentang waktu dt , maka banyaknya muatan yang dipindahkan adalah $dQ = I dt$. Ini berarti bahwa kerja (dU atau dW) yang bekerja pada muatan ini adalah :

$$dW = V_{ab} dQ = V_{ab} I dt$$

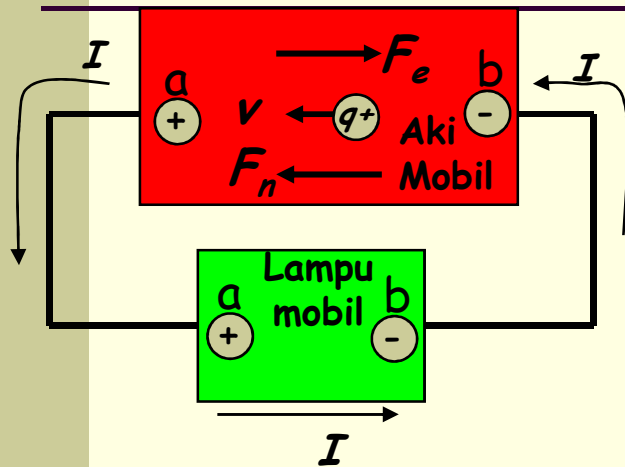
DAYA LISTRIK (P)

didefinisikan sebagai laju perpindahan energi terhadap waktu, maka P dirumuskan :

$$\frac{dW}{dt} = P = V_{ab} I = I^2 R = \frac{V_{ab}^2}{R}$$



Keluaran Daya sebuah Sumber



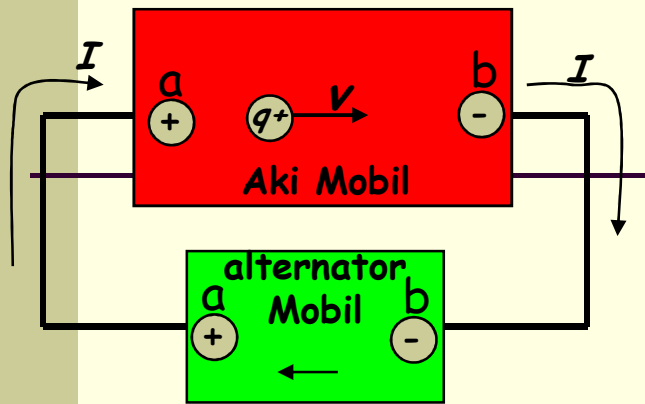
Kotak bagian atas menyatakan sebuah sumber dengan tge \mathcal{E} dan hambatan dalam r , sehingga $V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$. Sehingga kita dapat daya yang bekerja:

$$P = V_{ab} I = \mathcal{E}I - I^2 r$$

Anda lihat ada dua komponen daya dalam kasus ini, komponen pertama: $\mathcal{E}I$ menunjukkan laju konversi energi nonlistrik menjadi listrik di dalam sumber tge, sedangkan komponen: $-I^2 r$ menunjukkan laju pengurangan (disipasi) energi listrik akibat hambatan dalam pada sumber tge tersebut.



Masukan Daya ke Sebuah Sumber



Sekarang ditinjau apabila tge kotak yang bagian bawah lebih besar daripada tge bagian atas.

Dalam kasus ini maka akan terjadi aliran energi dari alternator yang memiliki tge lebih tinggi ke aki. Sehingga pada aki akan terjadi pembalikan arus dari a ke b.

Sehingga pada aki mobil berlaku : $V_{ab} = \mathcal{E} + Ir$

Hal ini mengakibatkan jumlah daya pada aki mobil menjadi:

$$P = V_{ab} I = \mathcal{E} I + I^2 r$$

$\mathcal{E} I$ menunjukkan kelajuan perubahan energi listrik menjadi nonlistrik (kimia), sedangkan $I^2 r$ adalah laju disipasi energi dalam hambatan pada aki.

Latihan :

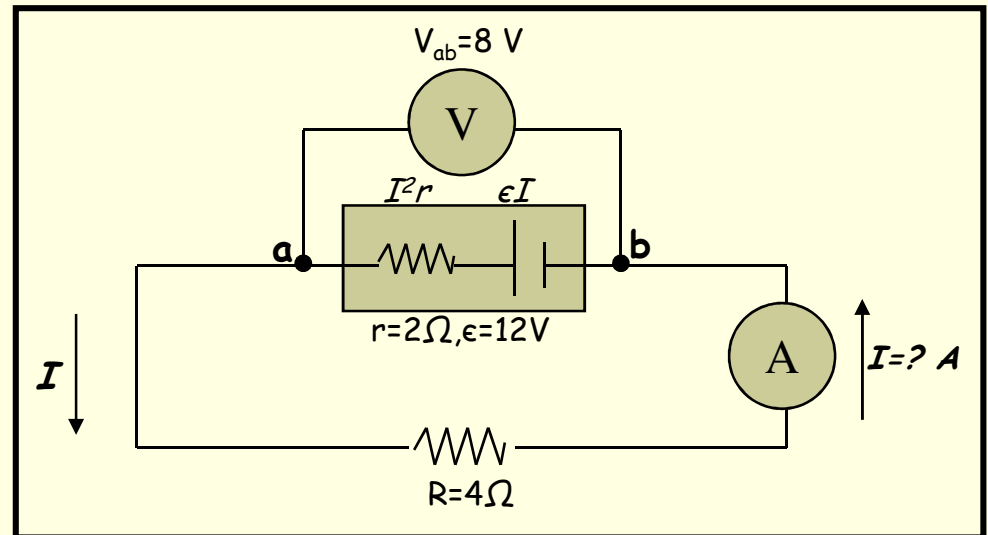
Berdasarkan rangkaian di bawah ini, tentukan :

a) laju konversi energi kimia ke listrik,

b) laju disipasi energi dalam aki,

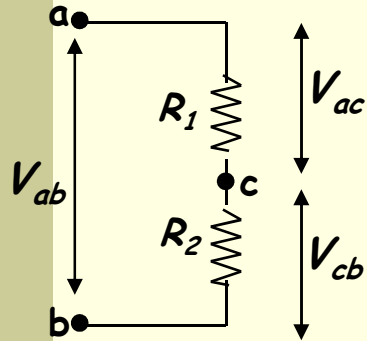
c) keluaran daya netto dari aki, dan

d) berapa daya listrik yang dipakai oleh resistor!



RANGKAIAN ARUS SEARAH

Resistor dalam Sambungan Seri

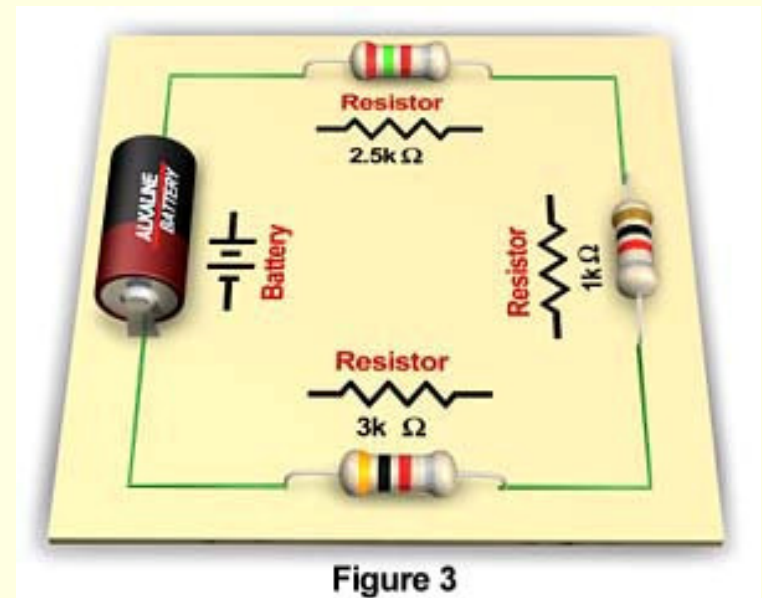


Rangkaian seri adalah rangkaian pembagi tegangan, jadi :

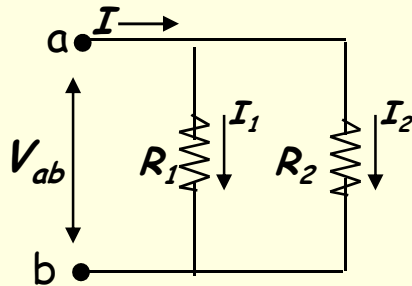
$$V_{ab} = V_{ac} + V_{cb} = IR_1 + IR_2$$

$$V_{ab} = I(R_1 + R_2)$$

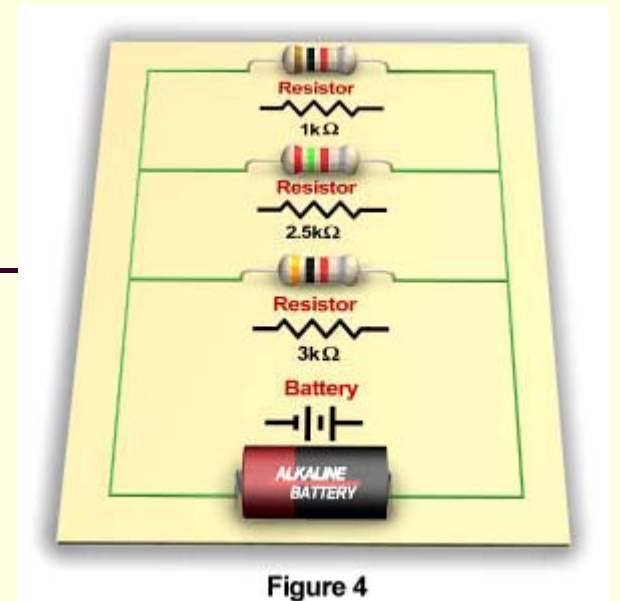
$$\frac{V_{ab}}{I} = R_{ek} = R_1 + R_2$$



Resistor dalam Sambungan Paralel



Rangkaian paralel adalah rangkaian pembagi arus, jadi :



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



Kaidah Kirchhof

Adakalanya kita dihadapkan pada rangkaian yang sulit untuk dianalisis dengan dasar pengetahuan kita tentang jenis sambungan seri dan paralel. Untuk melakukan analisis terhadap rangkaian yang rumit, maka digunakan kaidah kirchhof sbb :

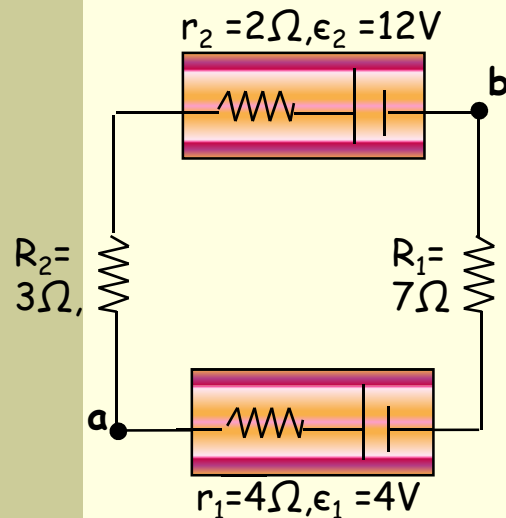
1. **Kaidah titik pertemuan kirchhof** : Jumlah aljabar dari arus ke dalam setiap titik pertemuan adalah nol ($\sum I=0$)
2. **Kaidah Simpal Kirchhof** : Jumlah aljabar dari selisih potensial dalam setiap simpal adalah nol ($\sum V=0$)



Strategi Analisis Rangkaian berdasarkan Kaidah Kirchhof :

1. Buat anggapan arah arus yang mengitari simpal (loop) tertutup,
2. Bertolak dari sembarang titik dalam rangkaian tersebut, kita tambahkan tge dan IR setiap kita menjumpai tge dan IR tersebut.
3. Jika kita melewati sumber dalam arah dari - ke +, maka tge dipandang berharga *positif*, jika kita berjalan dari + ke -, tge dipandang bernilai *negatif*.
4. Bila kita berjalan melalui sebuah resistor dalam arah yang sama seperti arah arus yang diasumsikan, maka suku IR bernialai negatif, bila sebaliknya maka IR bernilai positif.





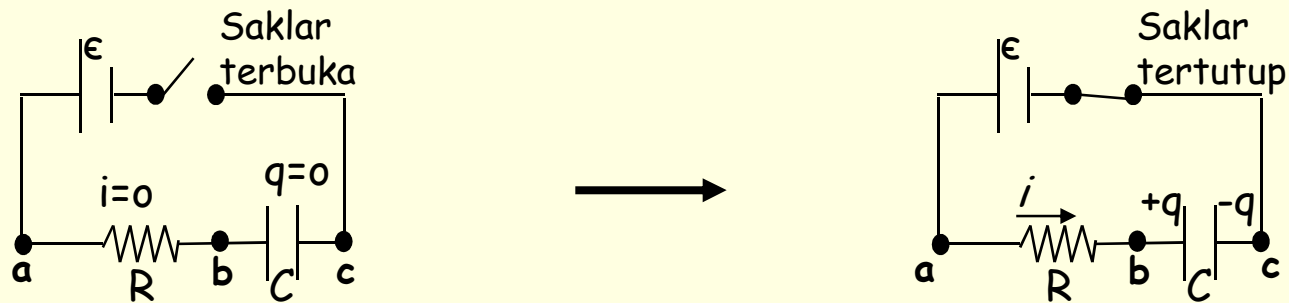
Rangkaian di samping menunjukkan dua buah aki yang saling dihubungkan dengan hambatan dalam dan tge masing-masing, diantara kedua aki terdapat dua buah resistor. Cari a) arus dalam rangkaian, b) selisih potensial V_{ab} , c) keluaran daya tge dari setiap aki!

Asumsikan arus bergerak dari a ke tge 4V, kemudian menuju resistor 7Ω , tge 12V, resistor 3Ω dan kembali ketitik a. Sehingga persamaan $\Sigma V=0$ menjadi :

$$-Ir_1 - \varepsilon_1 - IR_1 + \varepsilon_2 - Ir_2 - IR_3 = 0$$



Rangkaian Resistensi-Kapasitansi



Gambar pertama menunjukkan rangkaian seri R-C yang dapat digunakan untuk menjelaskan persoalan pengisian dan pengosongan muatan pada kapasitor.

Pada saat saklar terbuka, muatan pada kapasitor adalah "NOL", begitu saklar dihubungkan, maka proses pengisian kapasitor telah dimulai.



Mengisi/ Memberi Muatan Kapasitor

Pada saat $t=0$, muatan pada kapasitor adalah nol sedangkan tegangan pada R yaitu $V_{ab} = tge$ aki ϵ . Sehingga arus mula-mula $I_0 = \epsilon/R$.

Jika saklar terus di tutup, maka akan terjadi pengisian muatan pada kapasitor, pada kasus ini V_{bc} akan bertambah sedangkan V_{ab} menurun, namun jumlah antara keduanya selalu konstan (yaitu ϵ) mengikuti kaidah kirchhof, sbb :

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

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



Kita dapat menurunkan persamaan umum arus I dan muatan q sebagai fungsi waktu sbb:

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

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

$$\frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{dt}{RC}$$

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

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

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

$$q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC})$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/RC} = I_0e^{-t/RC}$$

Dari persamaan tersebut tampak bahwa pada saat $t=RC$, arus telah berkurang menjadi $1/e$ dari nilai awalnya (I_0), dan muatan pada kapasitor bertambah menjadi $(1 - 1/e)$ dari nilai akhirnya Q_f .

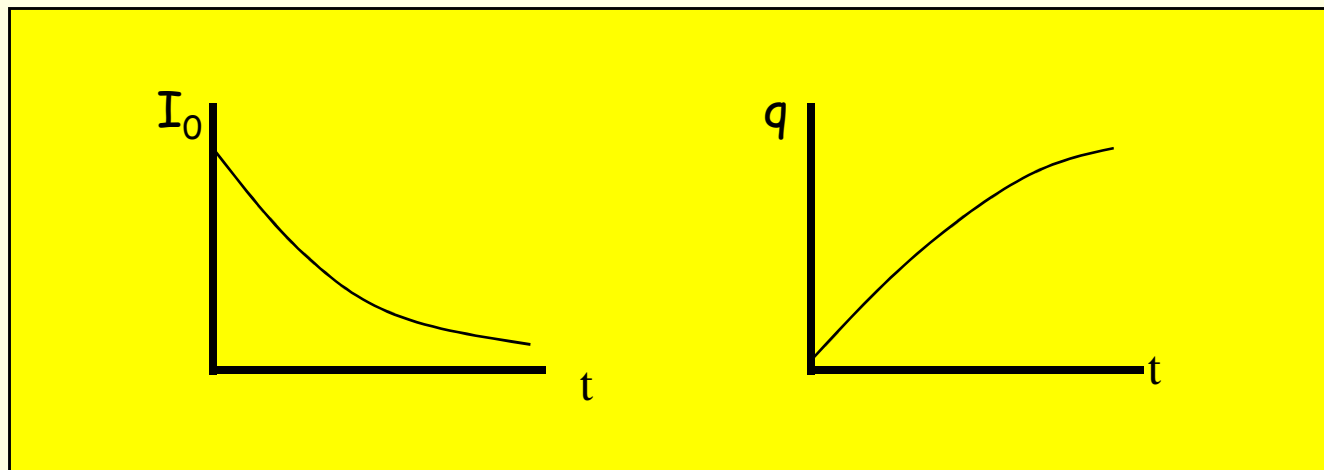
Kita juga bisa melihat adanya konstanta waktu:

$$\tau = RC$$

Coba anda buktikan bahwa RC berdimensi $[T]$ (Waktu) !!

$$q = Q_f (1 - e^{-t/RC})$$

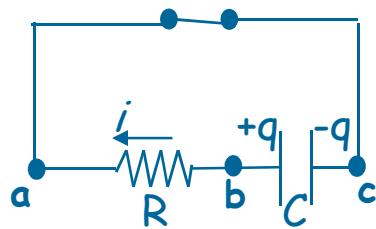
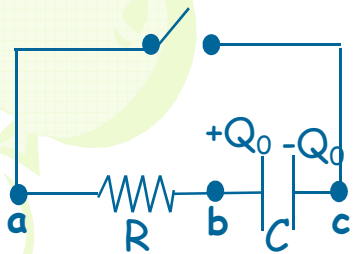
$$i = I_0 e^{-t/RC}$$



Apabila pengisian telah usai, ditandai dengan nilai muatan pada kapasitor telah sampai pada nilai akhirnya Q_f , maka arus akan menjadi nol dan $Q_f = C\epsilon$.



Pengosongan Kapasitor



Sekarang kita akan melakukan pengosongan muatan pada kapasitor. Hal ini dilakukan dengan melepas sumber tge ($\epsilon=0$). Pada saat awal, muatan q pada kapasitor adalah Q_0 . Begitu saklar ditutup maka q akan bergerak dan membentuk arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arah pada saat pengisian. Hal ini sesuai dengan kaidah kirchhof :

$$i = \frac{\epsilon}{R} - \frac{q}{RC} \quad \text{---} > \quad (\text{untuk } \epsilon = 0)$$

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

(anda lihat i bernilai negatif)

$$\frac{dq}{dt} = - \frac{q}{RC} \quad \text{---} > \quad \frac{dq}{q} = - \frac{dt}{RC}$$

$$\int_{Q_0}^q \frac{dq}{q} = - \int_0^t \frac{dt}{RC}$$

$$\ln \frac{q}{Q_0} = - \frac{t}{RC} \quad \text{---} > \quad q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Arus i bernilai :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}$$

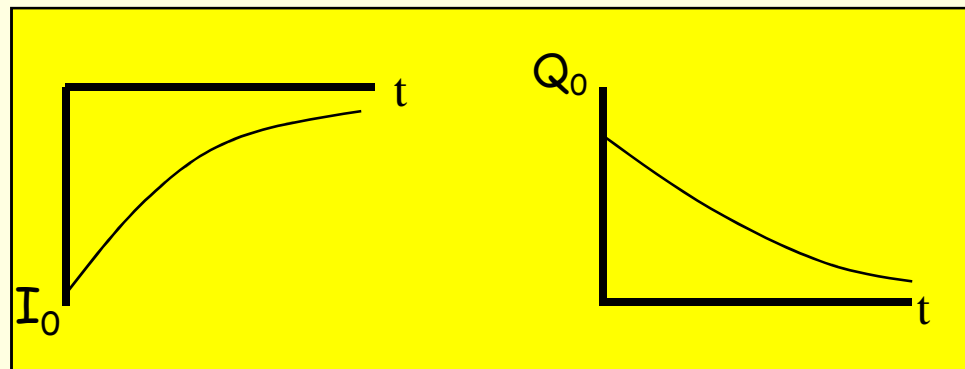
$$\text{Jadi } \text{---} > i = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$



Perubahan arus yang mengalir pada rangkaian dan muatan yang mendiami kapasitor pada saat pengosongan kapasitor

$$i = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$



Pada saat pengosongan, baik arus maupun muatan semua bergerak menuju ke titik nol.



Sekarang kita akan lihat berapa banyak energi yang bisa disimpan oleh kapasitor:

$$V = \frac{Q}{C} \longrightarrow dW = v dq$$

$$dW = \frac{q}{C} dq \longrightarrow W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

$$W = U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV$$

