

HAMBATAN & ARUS LISTRIK

MINGGU KE-6

2 X PERTEMUAN

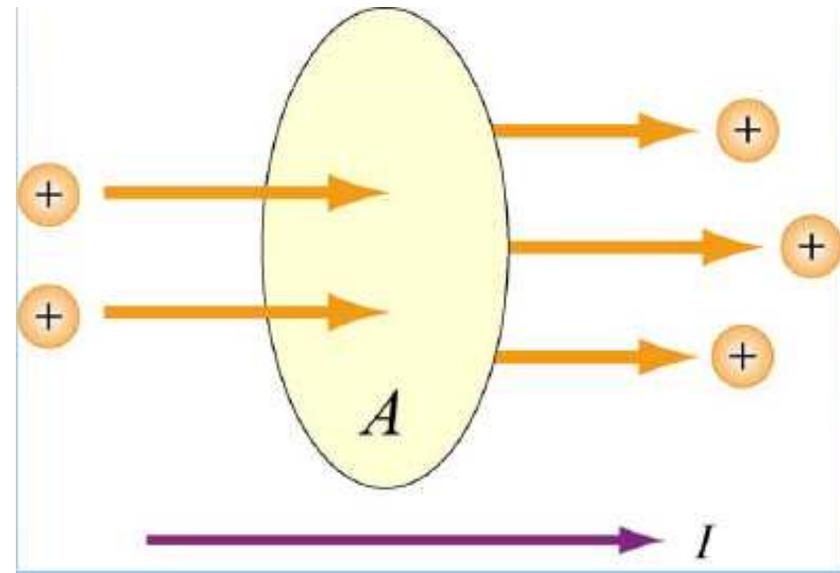
Arus: Aliran muatan

Arus rata-rata I_{av} : Muatan ΔQ yang mengalir melalui luas A dalam waktu Δt

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Arus sesaat :
limit $\Delta t \rightarrow 0$ dari I_{av}

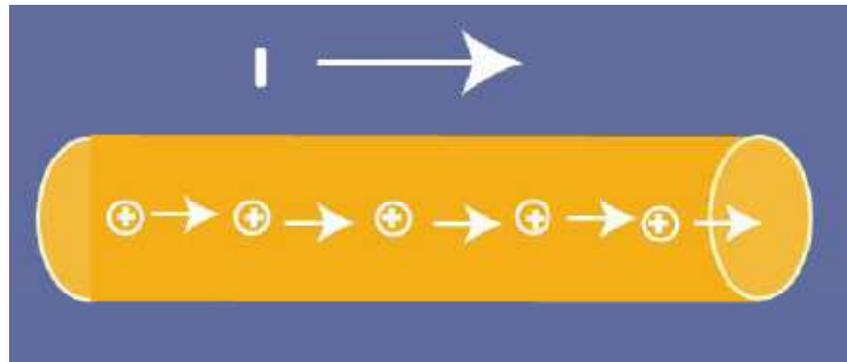
$$I = \frac{dQ}{dt}$$



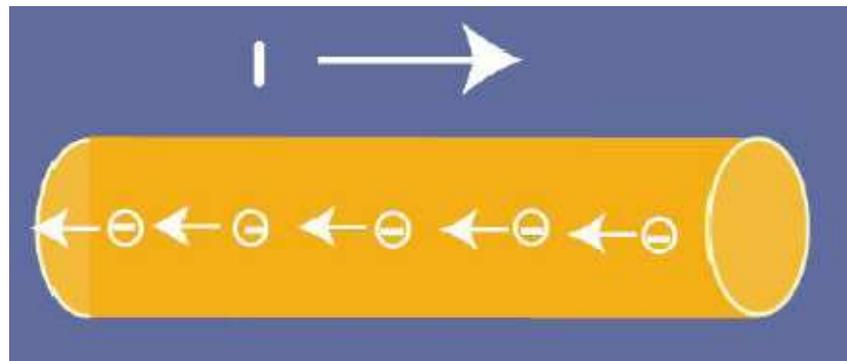
Satuan arus: Coulomb/sekon = Ampere

Arah Arus

Arah arus adalah searah dengan arah aliran muatan positif



atau, berlawanan arah dengan arah aliran muatan negatif



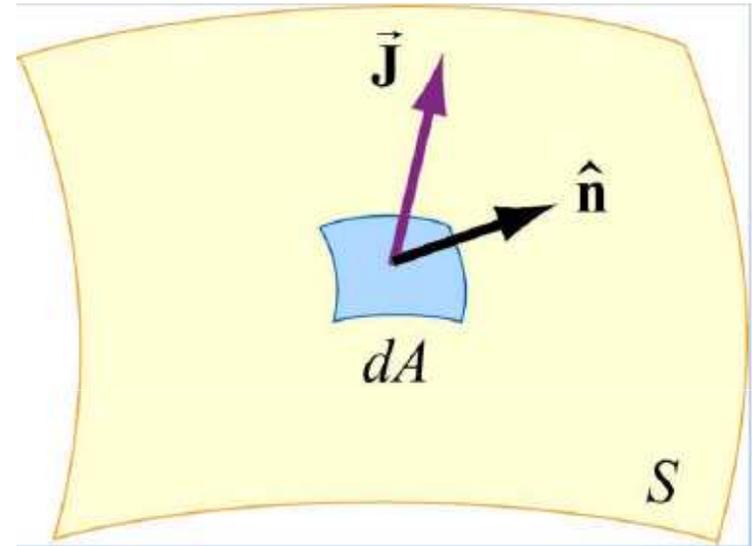
Rapat Arus J

J: arus/satuan luas

$$\vec{\mathbf{J}} \equiv \frac{I}{A} \hat{\mathbf{i}}$$

$\hat{\mathbf{i}}$

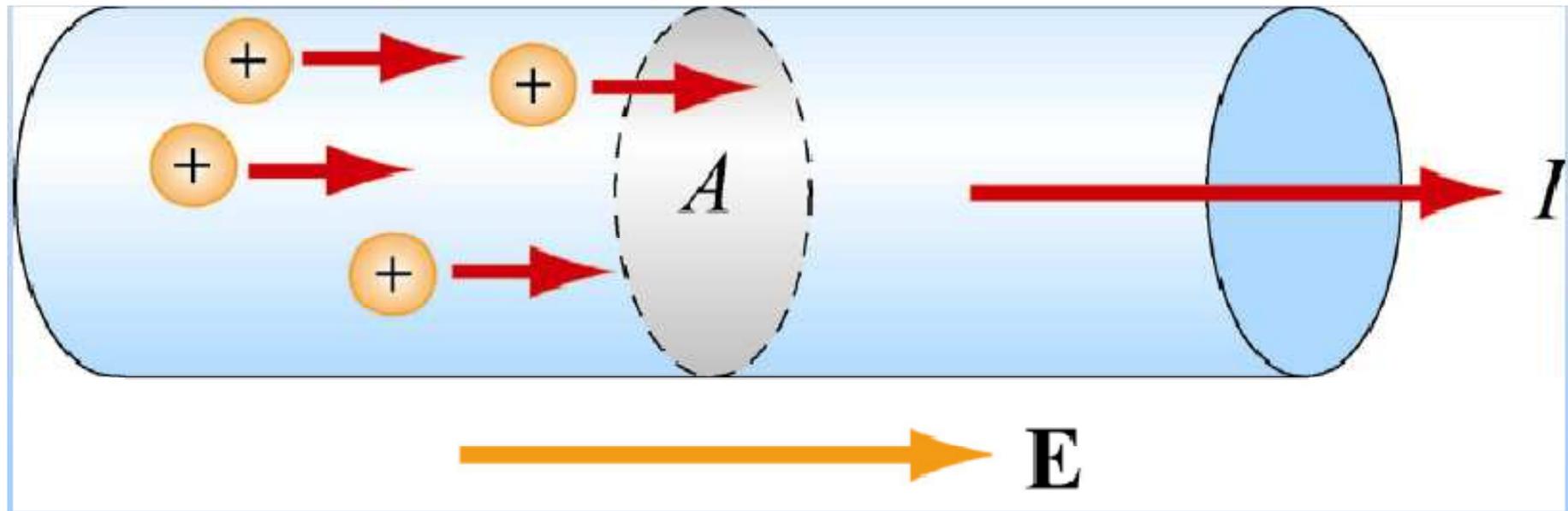
searah dengan arah arus



$$I = \int_S \vec{\mathbf{J}} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA = \int_S \vec{\mathbf{J}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

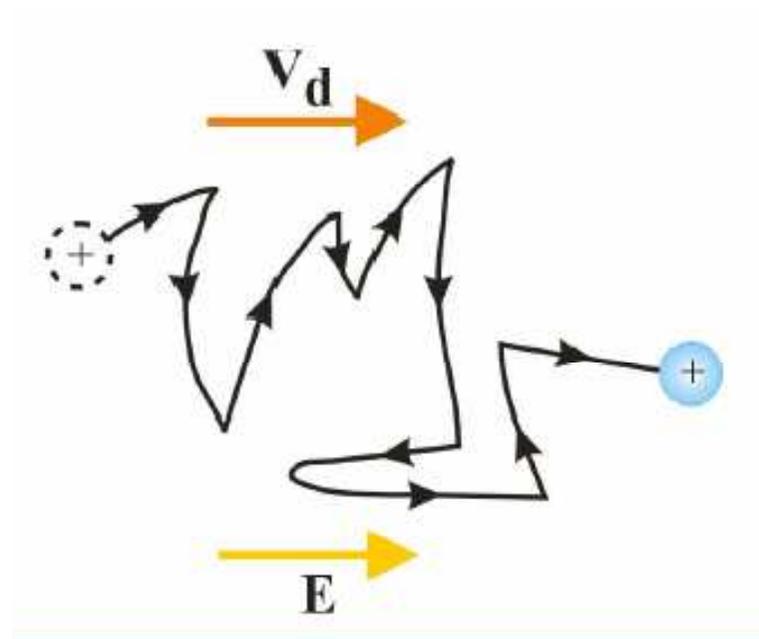
Mengapa arus dapat mengalir?

Jika medan listrik diberikan pada suatu konduktor, muatan akan mengalir membentuk arus yang searah dengan E .



Cat: ketika arus mengalir, konduktor tidak lagi sebagai sebuah permukaan equipotensial (dan E di dalam $\neq 0$)!

Arus: Tinjauan Mikroskopik



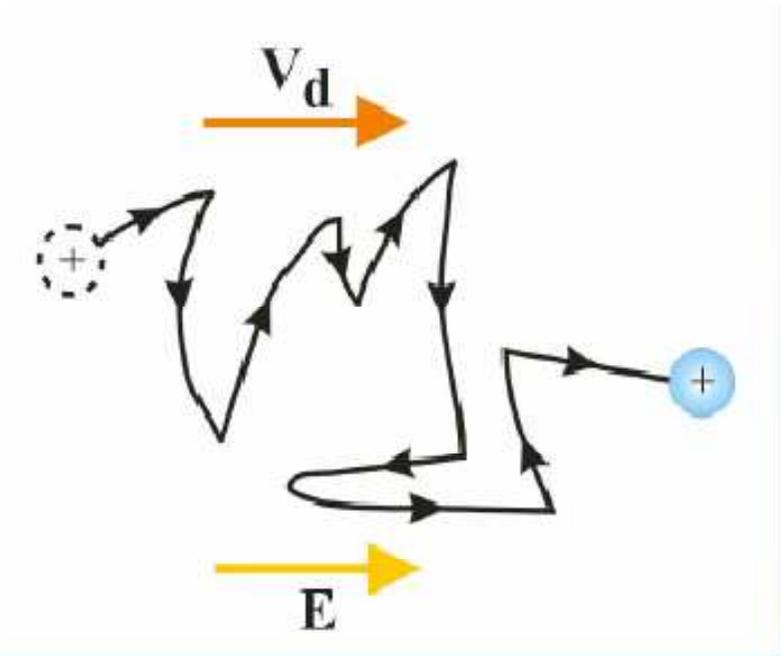
Animasi 6.1

Kecepatan Drift adalah kecepatan alir yang diakibatkan adanya medan listrik.

Besar kecepatan drift: 4×10^{-5} m/sec, atau 0.04 mm/sekon!

Untuk berpindah sejauh 1 meter dengan kecepatan drift, membutuhkan waktu 10 jam!

Konduktivitas dan Resistivitas



Kemampuan arus untuk mengalir bergantung pada kerapatan muatan dan rerata hamburan

Dua kuantitas yang mewakili ini:

σ : konduktivitas

ρ : resistivitas

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan terminal :

$$v = \mu E \quad \mu \text{ Mobilitas elektron}$$

Misal : dx = elemen kawat

A = luas penampang kawat

n = kerapatan elektron (jumlah elektron persatuan volum)

$$\text{Volume elemen kawat : } dV = A dx$$

$$\text{Jumlah elektron dalam elemen volum : } dN = n dV = n A dx$$

$$\text{Jumlah muatan elektron dalam elemen volum : } dQ = e dN = n e A dx$$

$$\begin{aligned} \text{Arus yang mengalir dalam kawat : } I &= \frac{dQ}{dt} = \frac{n e A dx}{dt} = n e A \frac{dx}{dt} = n e A v \\ &= n e A \mu E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rapat arus : } J &= \frac{I}{A} = n e \mu E & \sigma &= n e \mu \\ &= \sigma E & \text{Konduktivitas listrik} & \end{aligned}$$

$$I = neA\mu \frac{EL}{L} \quad L = \text{panjang kawat}$$

Jika dianggap E dalam kawat konstan, maka $EL =$ beda potensial ujung-ujung kawat

$$I = neA\mu \frac{V}{L}$$

Dengan: $I = V / R$

$$R = \frac{1}{ne\mu} \frac{L}{A} \quad \text{Bandingkan} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

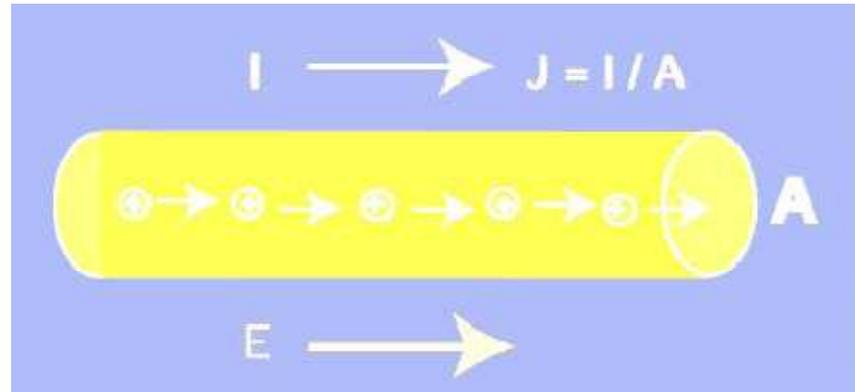
$$\rho = \frac{1}{ne\mu}$$

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

Hukum Ohm Mikroskopik

$$\vec{\mathbf{E}} = \rho \vec{\mathbf{J}} \quad \text{or} \quad \vec{\mathbf{J}} = \sigma \vec{\mathbf{E}}$$

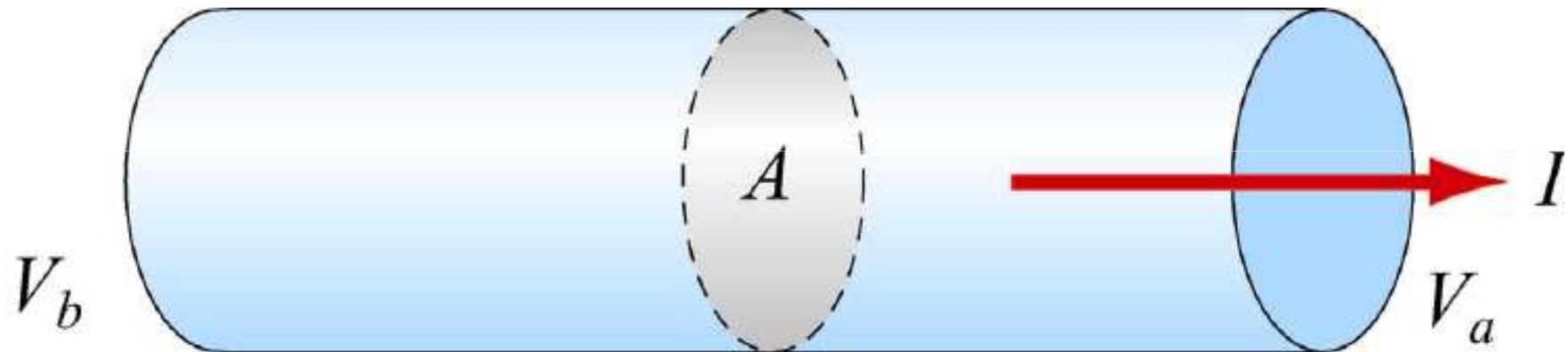
$$\rho \equiv \frac{1}{\sigma}$$



ρ dan σ hanya bergantung pada sifat mikroskopis bahan, bukan pada bentuk.

Mengapa arus dapat mengalir?

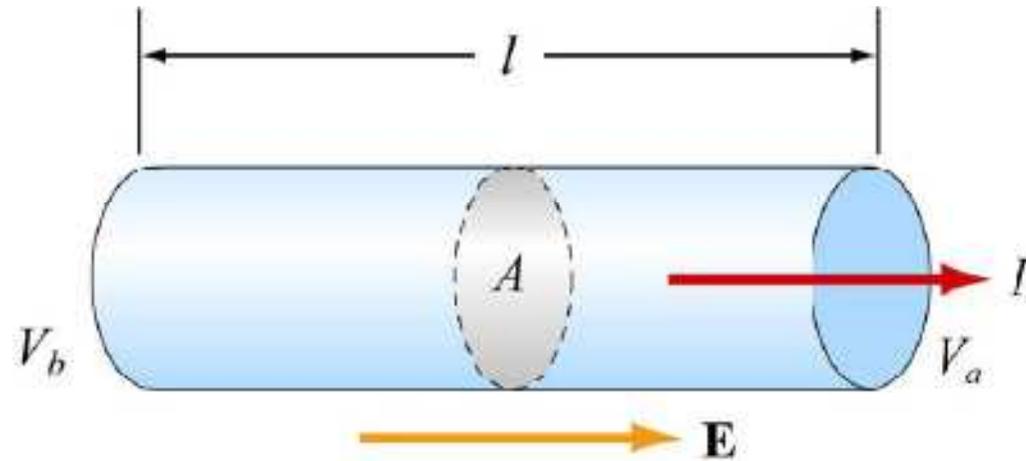
Selain meninjau medan listrik, tinjau pula beda potensial pada konduktor



$$\Delta V = V_b - V_a$$

Hukum Ohm

Bagaimana hubungan antara ΔV dan arus?



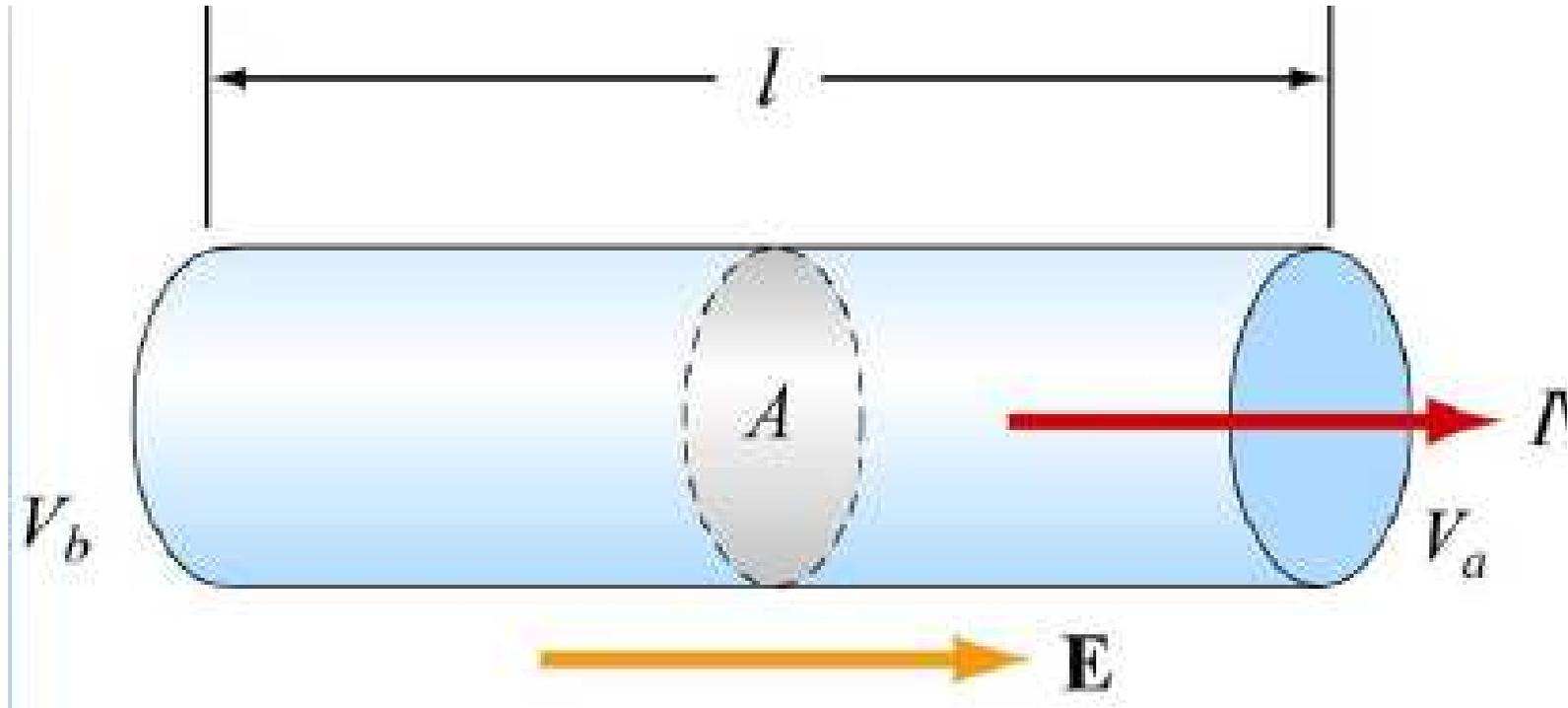
$$\Delta V = V_b - V_a = -\int_a^b \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = E\ell$$

$$J = \frac{E}{\rho} = \frac{\Delta V / \ell}{\rho}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

$$\Rightarrow \Delta V = I \left(\frac{\rho \ell}{A} \right) \equiv IR$$

Hukum Ohm



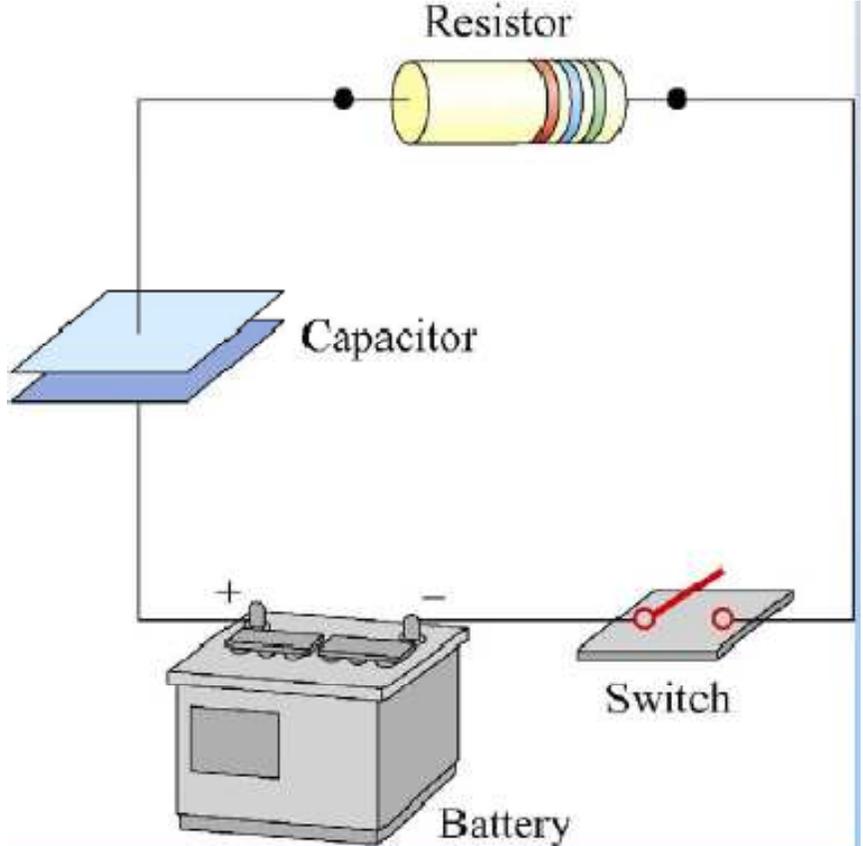
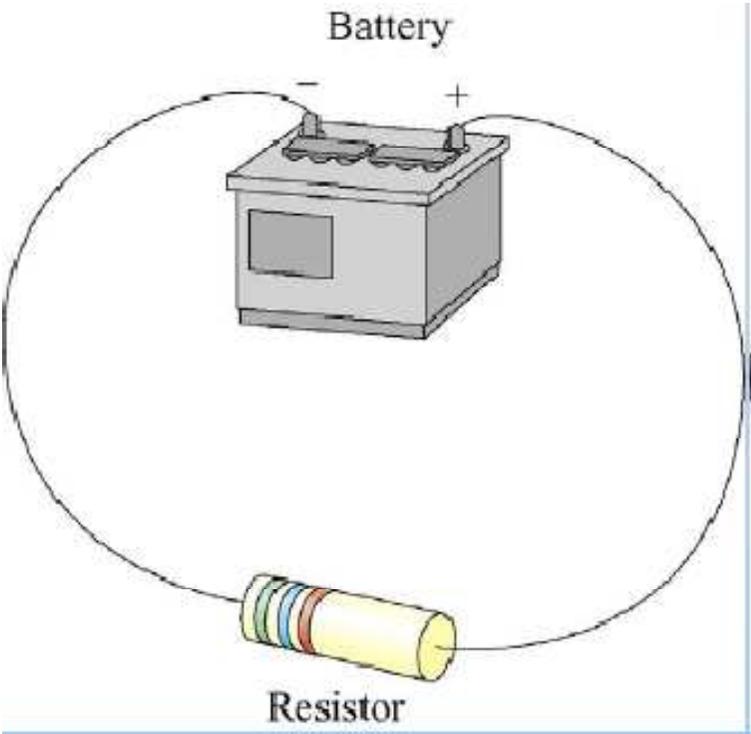
$$\Delta V = IR$$

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

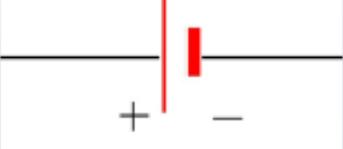
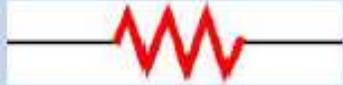
Animasi 6.2

R memiliki satuan Ohm (Ω) = Volt/Amp

Contoh Rangkaian

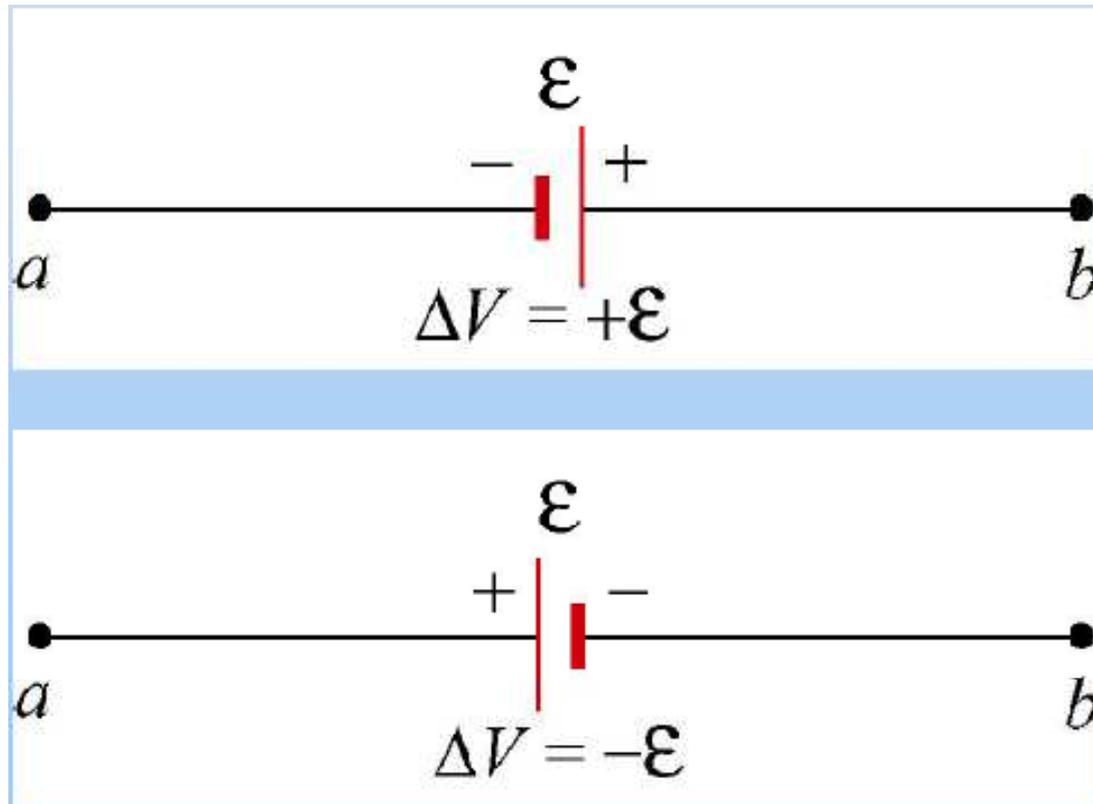


Simbol untuk Elemen Listrik pada Rangkaian

Battery	
Resistor	
Capacitor	
Switch	

Konvensi Tanda - Batrei

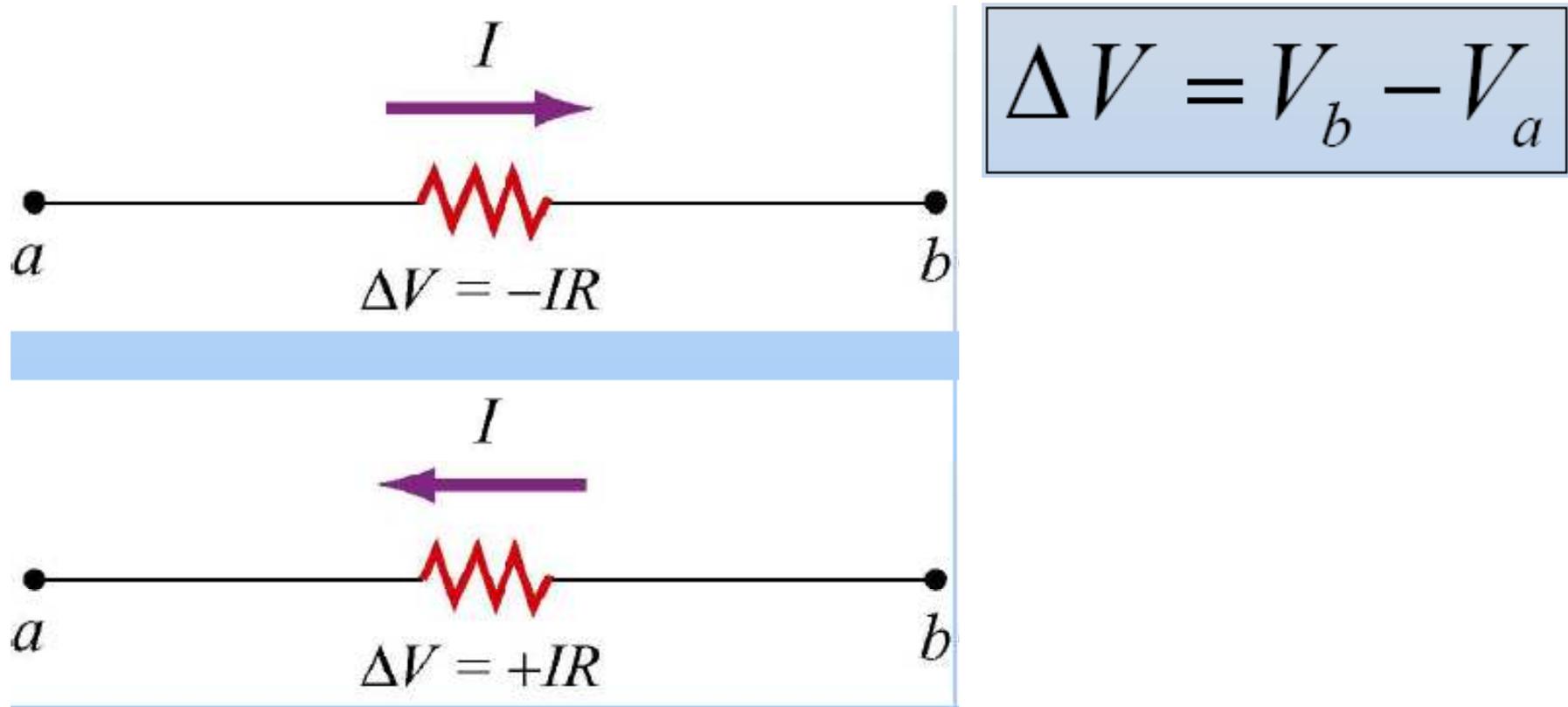
Bergerak dari terminal negatif ke terminal positif dari sebuah batrei:
potensial *meningkat*



$$\Delta V = V_b - V_a$$

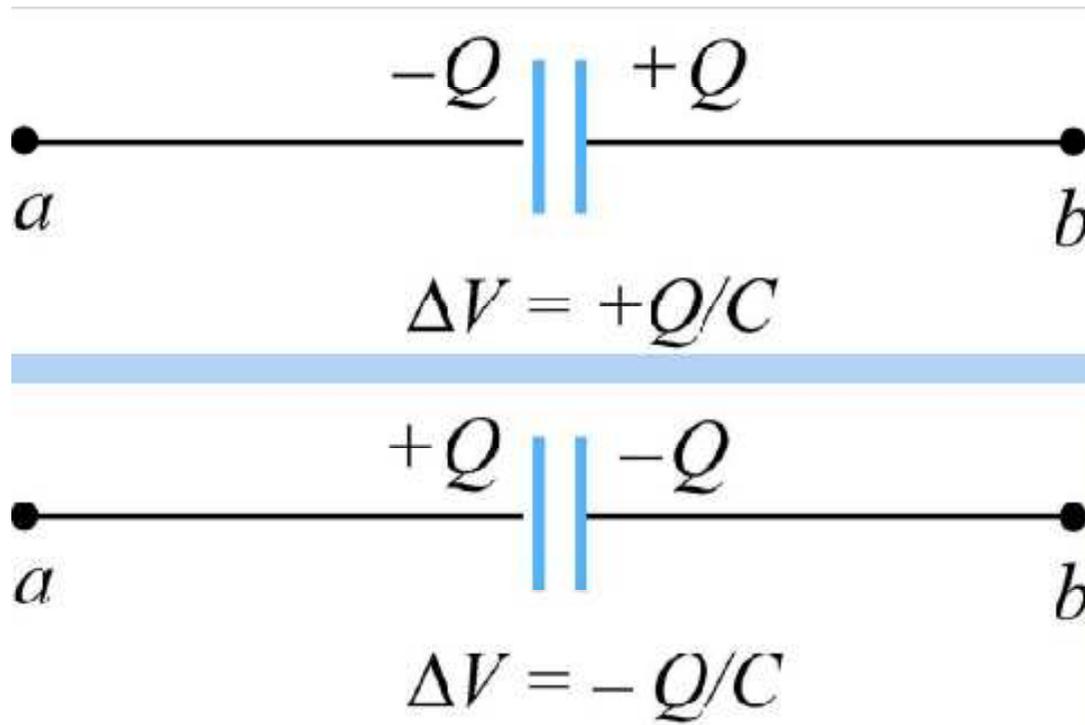
Konvensi Tanda - Resistor

Bergerak melalui resistor searah dengan arah arus: potensial *menurun*



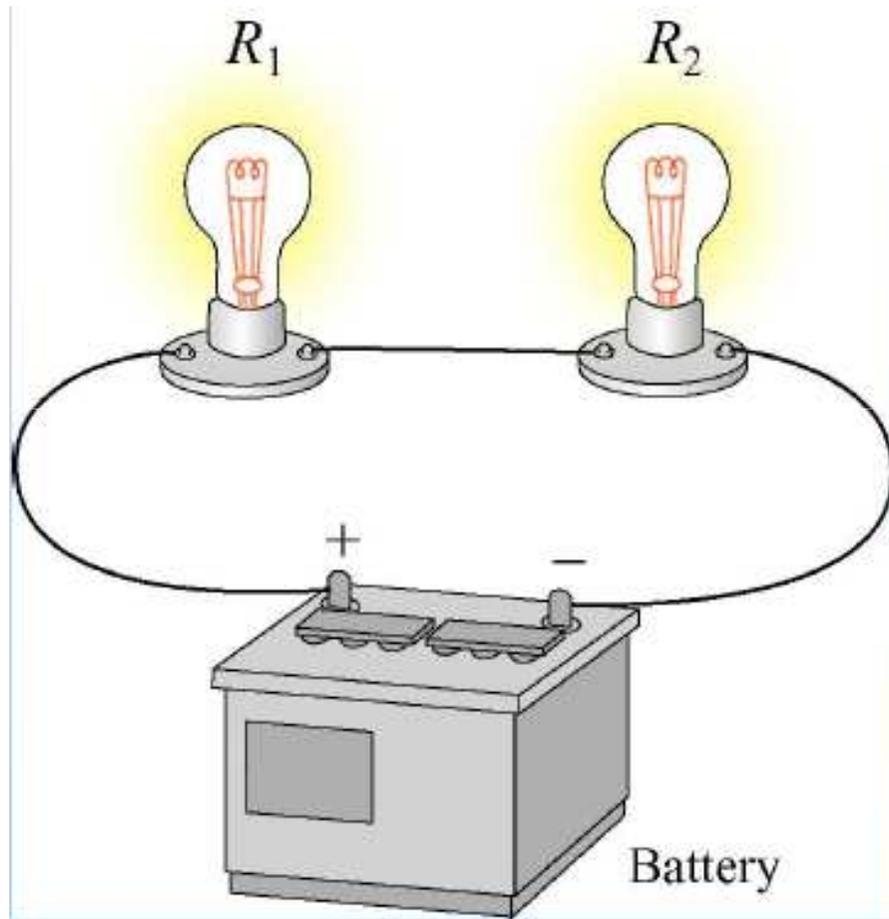
Konvensi Tanda - Kapasitor

Bergerak melalui kapasitor dari plat bermuatan negatif ke plat bermuatan positif:
potensial *meningkat*

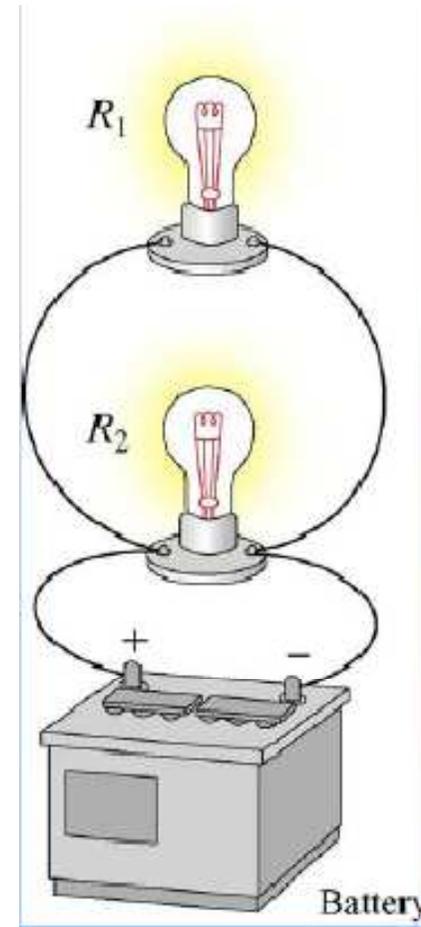


$$\Delta V = V_b - V_a$$

Seri vs Paralel



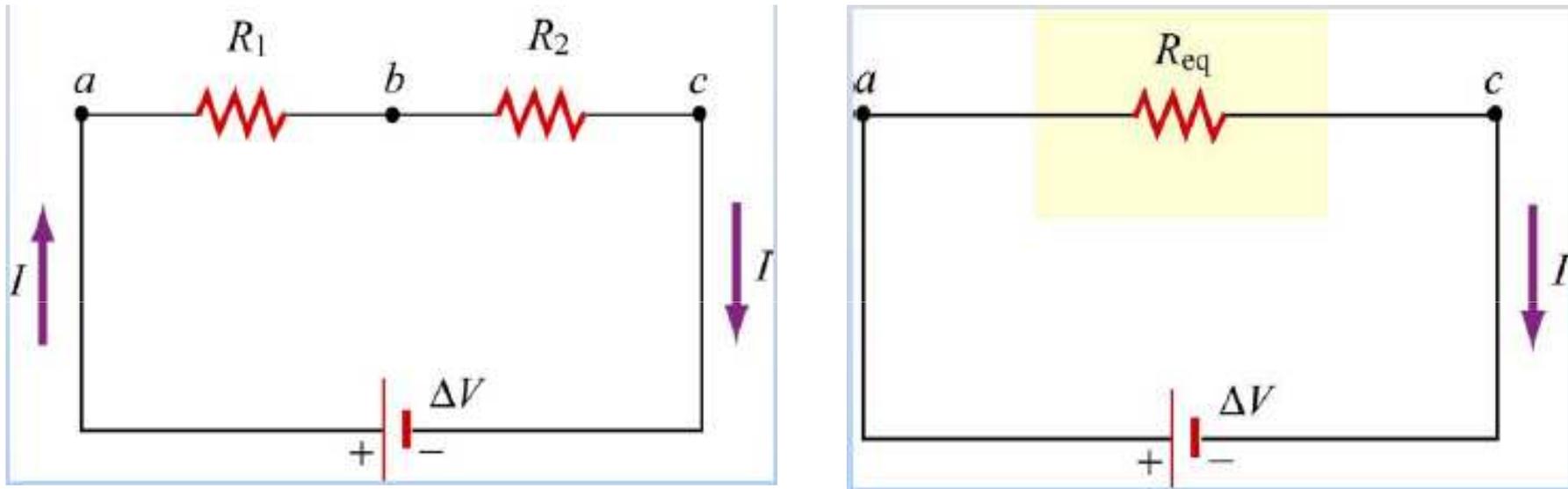
Series



Parallel

Susunan Resistor Seri

Arus yang sama harus melewati kedua resistor



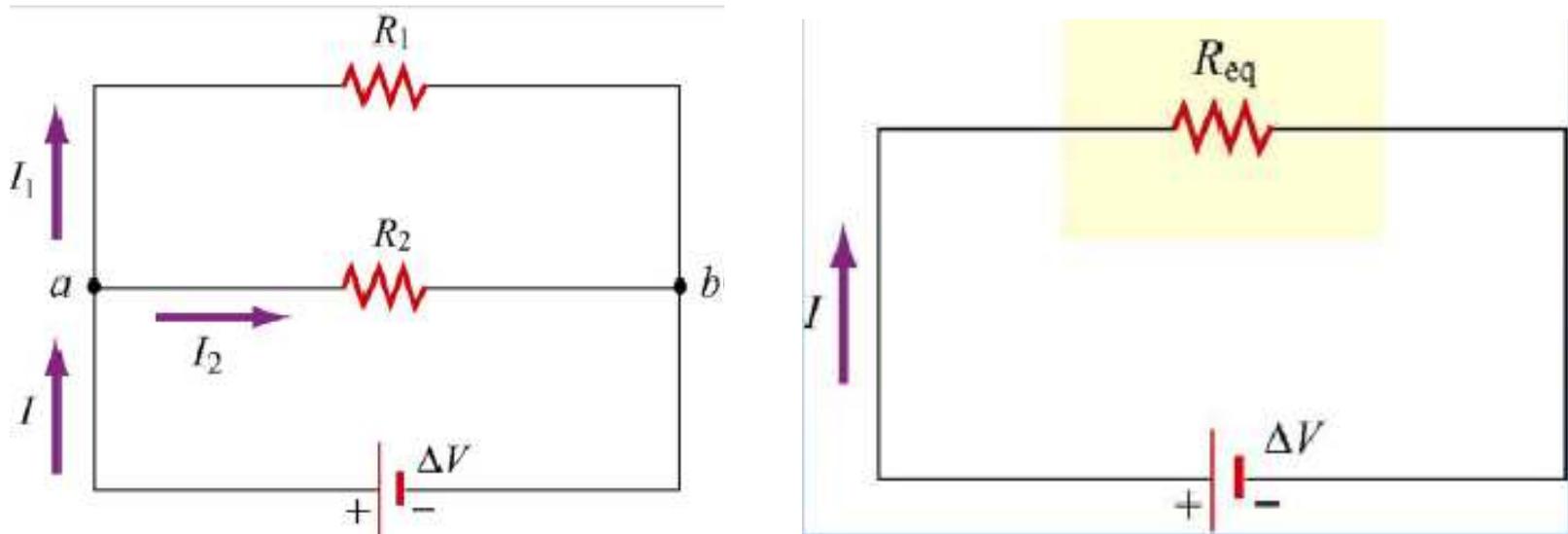
$$\Delta V = I R_1 + I R_2 = I(R_1 + R_2) = I R_{eq}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Animasi 6.3

Susunan Resistor Paralel

Tegangan pada tiap resistor haruslah sama



$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I R_{eq}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

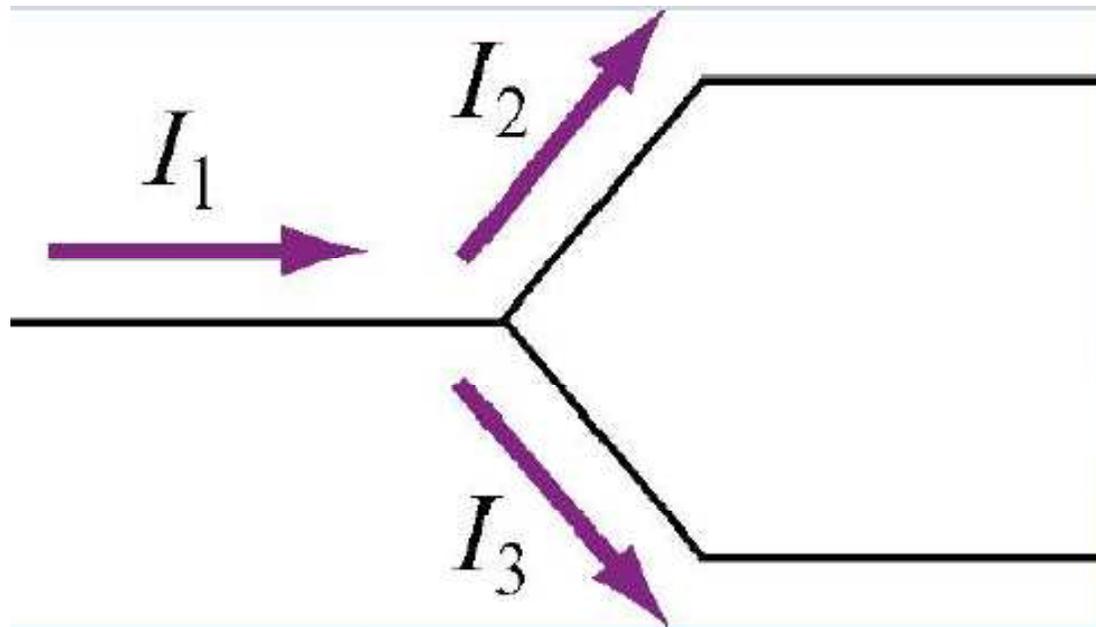
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Animasi 6.4

Hukum Kirchhoff

Hukum Kirchhoff

1. Jumlah arus yang masuk pada suatu persimpangan haruslah sama dengan jumlah arus yang keluar dari persimpangan.



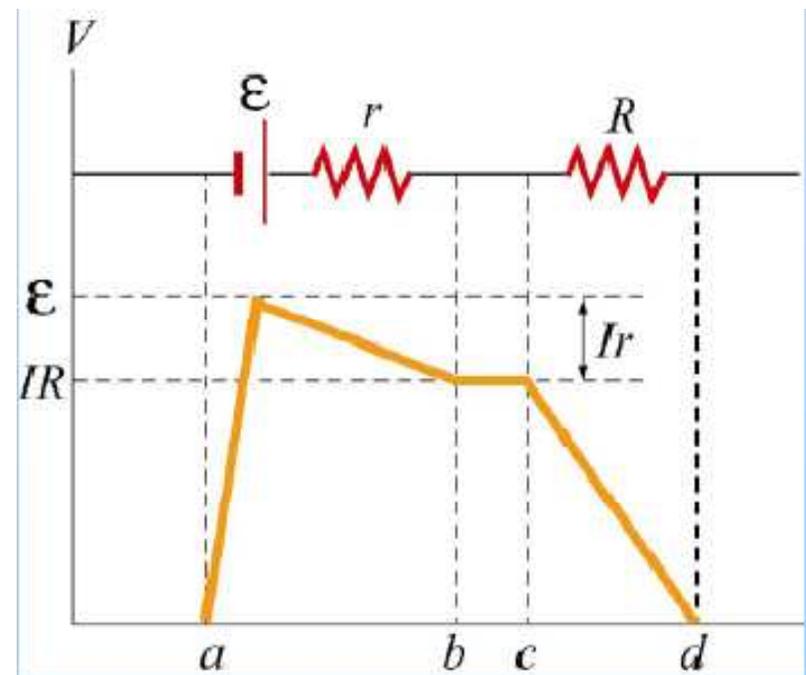
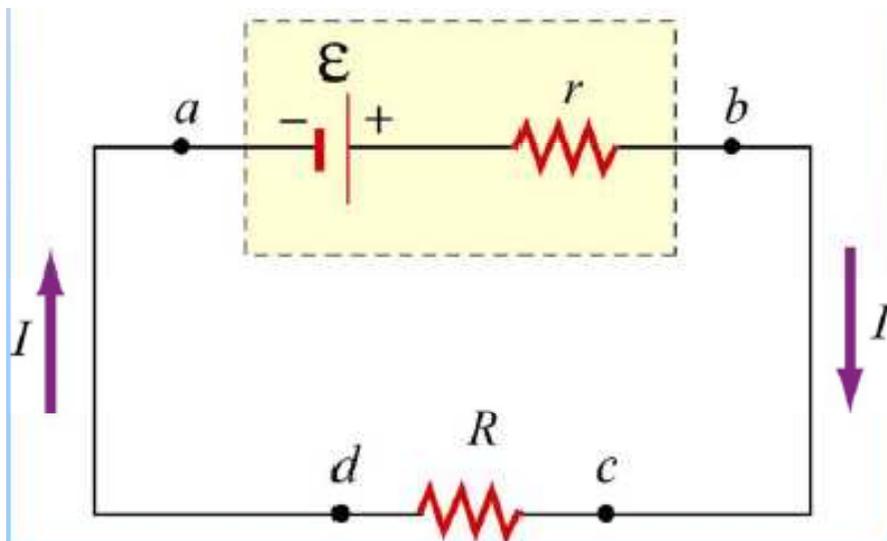
$$I_1 = I_2 + I_3$$

Hukum Kirchhoff

2. Jumlah beda potensial yang terdapat pada semua elemen listrik dalam rangkaian tertutup harus nol.

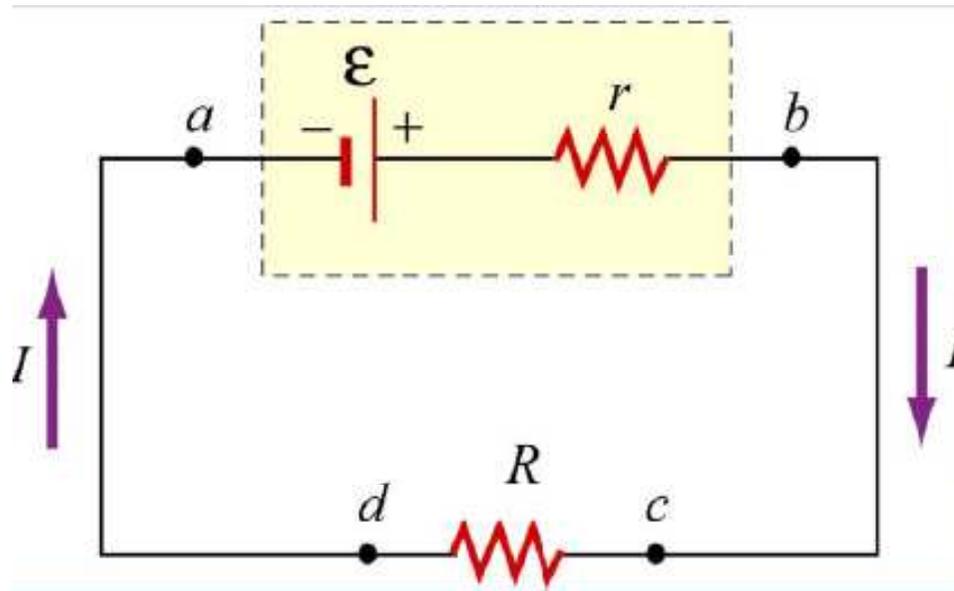
$$\Delta V = - \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

Closed Path



Hambatan Dalam

Baterei nyata memiliki hambatan dalam r , yang sangat kecil tetapi tidak nol



Animasi 6.5

Tegangan Terminal:

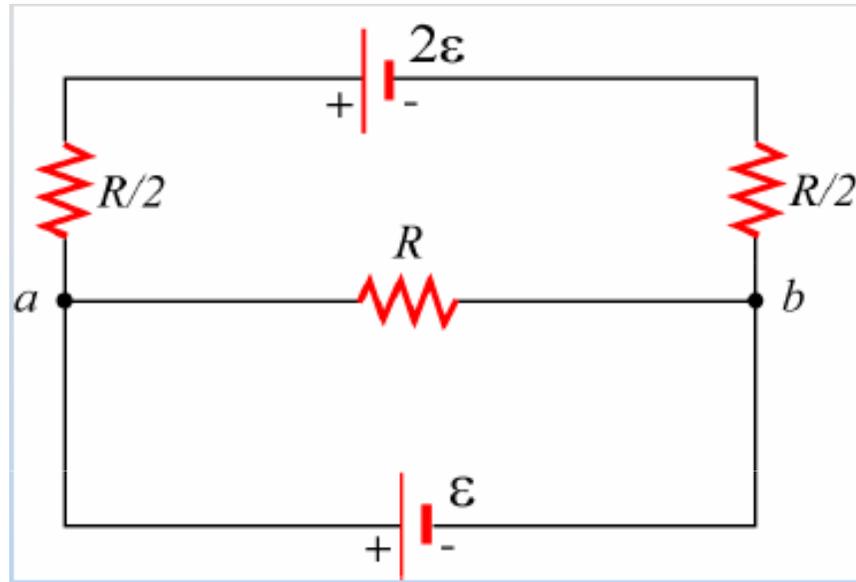
$$\Delta V = V_b - V_a = \mathcal{E} - I r$$

(Meskipun anda hubung singkatkan ujung-ujungnya, anda tidak akan memperoleh arus takhingga)

Langkah-langkah Penyelesaian Problem Rangkaian

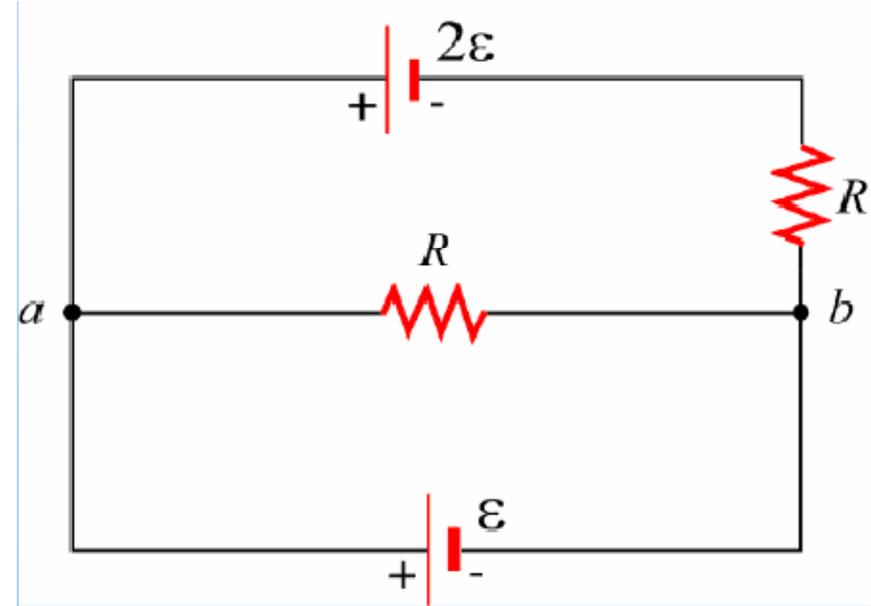
1. Sederhanakan resistor (bila mungkin)
2. Tentukan loop pada rangkaian (bisa lebih dari satu)
3. Tentukan arah dari tiap loop (sembarang)
4. Tentukan arah arus pada tiap loop (“sembarang”)
5. Tuliskan persamaan Hukum Kirchoff 1 dan 2, aplikasikan pada tiap loop
6. Pecahkan

Contoh: Rangkaian Sederhana

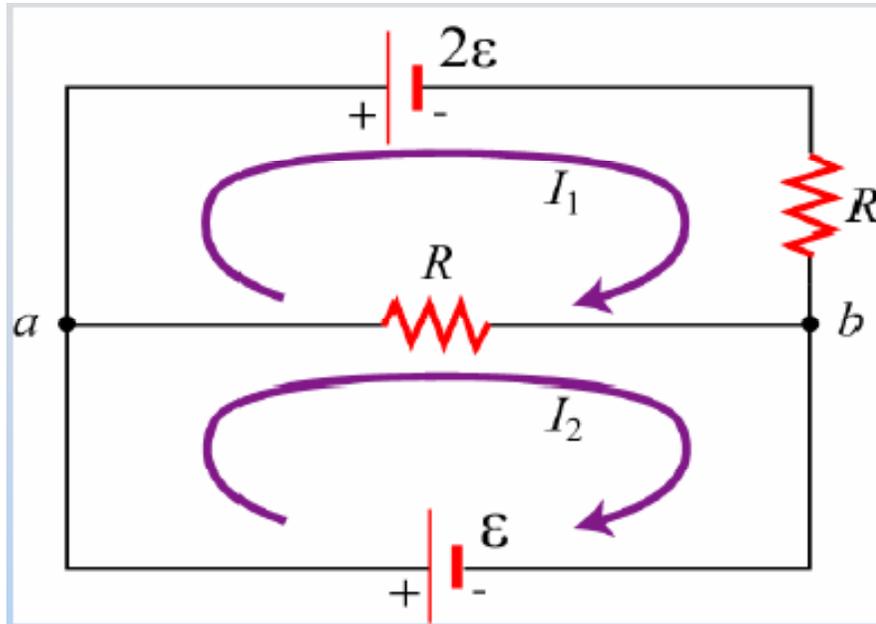


Berapa arus yang melalui
batrei bawah?

Langkah 1
Anda dapat menyederhanakan
resistor!



Contoh: Rangkaian Sederhana



Langkah 2, 3 dan 4:

Langkah 5:

$$\begin{aligned} -2\varepsilon - I_1 R - (I_1 - I_2) R &= 0 \\ -(I_2 - I_1) R + \varepsilon &= 0 \end{aligned}$$

Langkah 6:

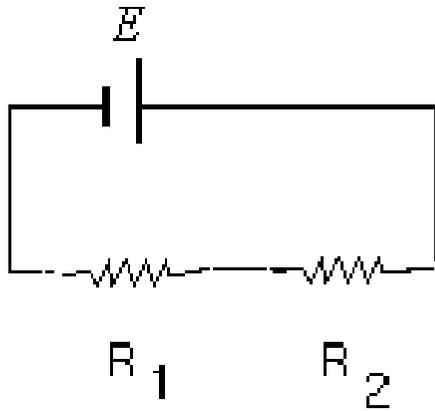
$$-2\varepsilon - I_1 R + \varepsilon = 0 \rightarrow I_1 = \frac{-\varepsilon}{R}$$

Harga I_2 :

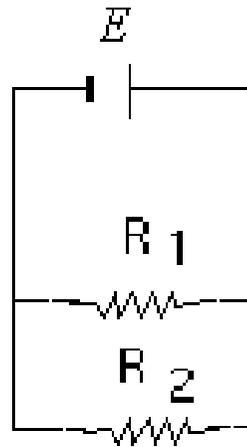
$$(I_2 - I_1) R = \varepsilon \rightarrow I_2 = \frac{\varepsilon}{R} + I_1$$

$$I_2 = 0$$

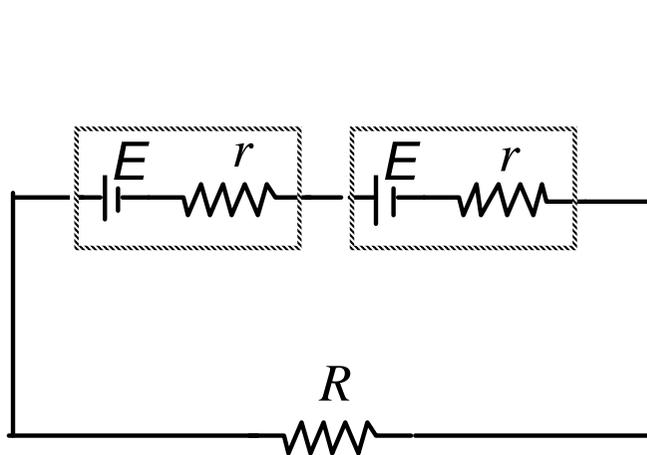
(A)



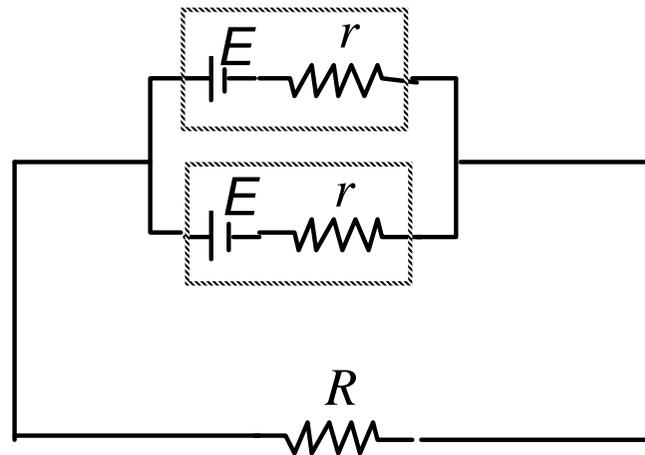
(B)



- Tentukan besar arus pada masing-masing rangkaian!



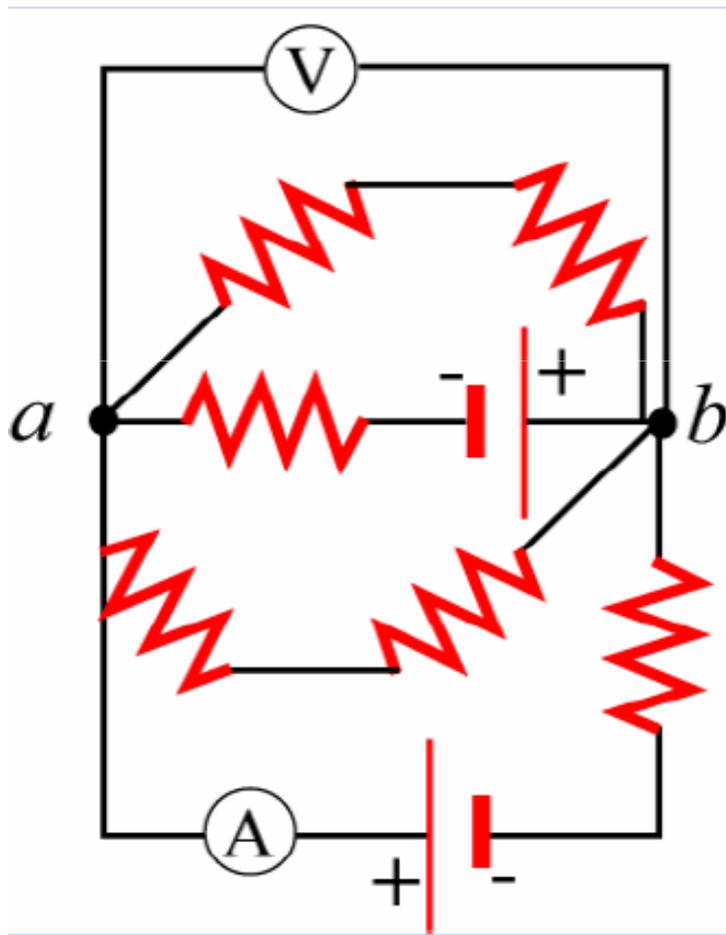
(a)



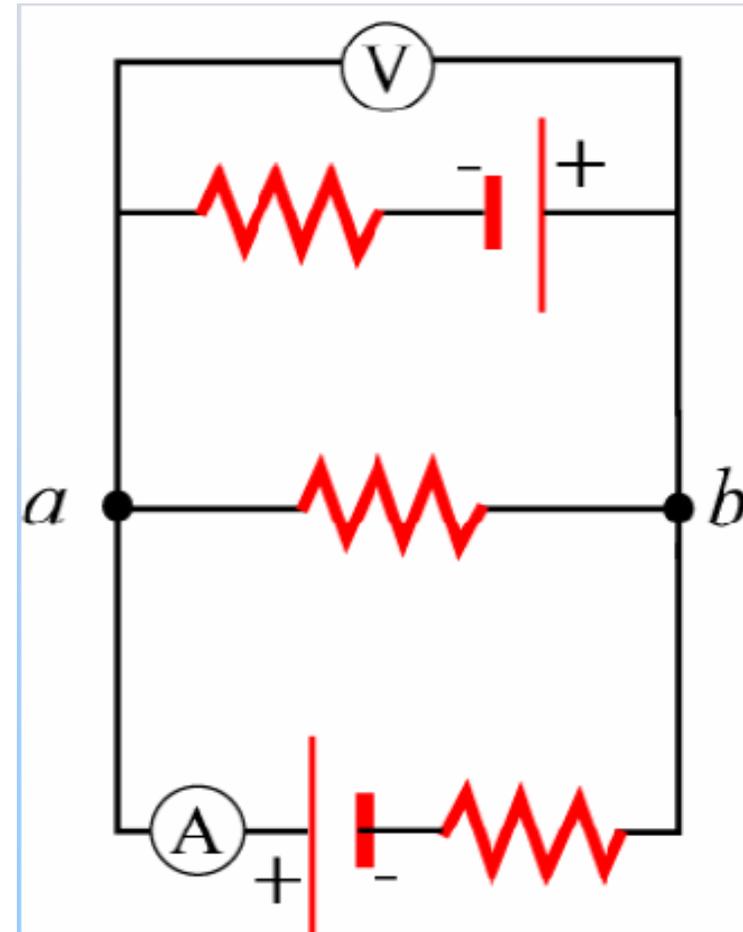
(b)

Problem: Rangkaian

Cari nilai amperemeter & voltmeter. All resistors are R , batteries are ε



Rumit



Sederhana

- **Daya**

Daya Listrik

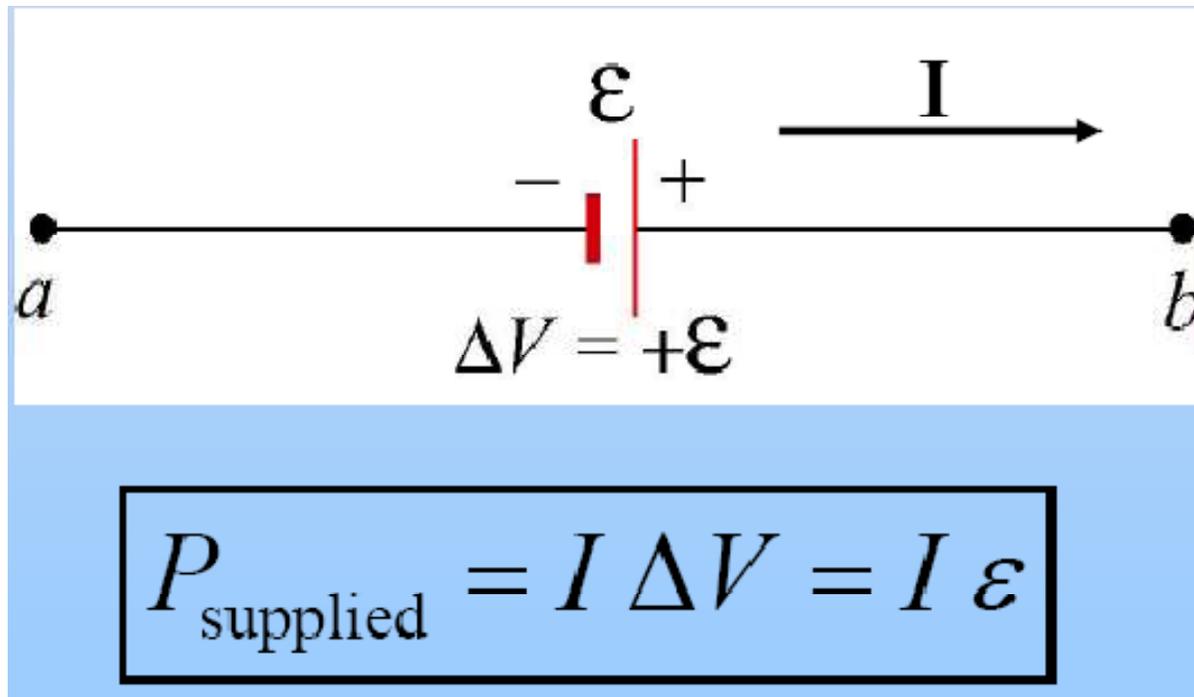
Daya adalah perubahan energi tiap satuan waktu.

$$P = \frac{d}{dt}U = \frac{d}{dt}(q\Delta V) = \frac{dq}{dt}\Delta V$$

$$P = I \Delta V$$

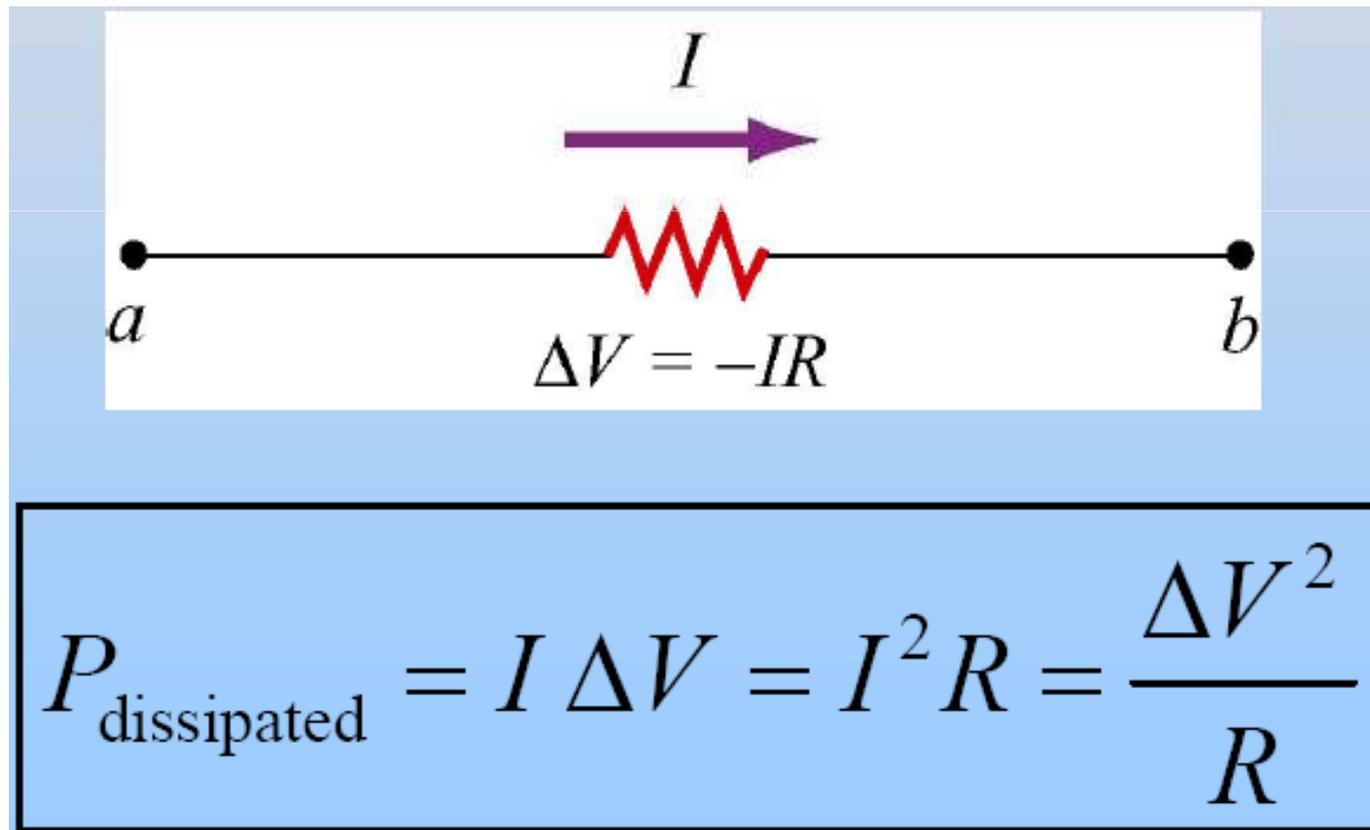
Daya - Baterai

Bergerak dari terminal negatif ke terminal positif dari sebuah baterai: potensial *meningkat*. Jika arus mengalir pada arah tersebut, maka baterai *mensuplai* daya.



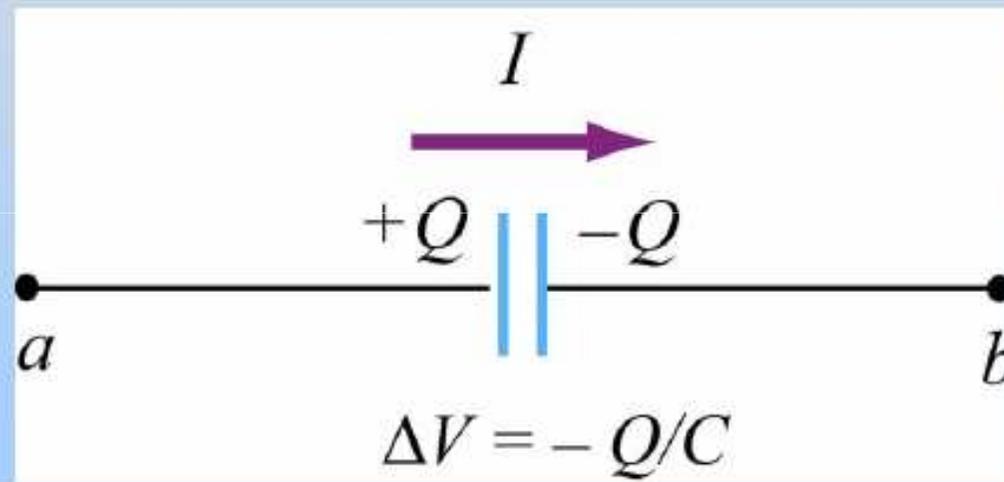
Daya - Resistor

Bergerak melalui resistor searah dengan arah arus: potensial *menurun*. Resistor selalu *mendisipasi* daya



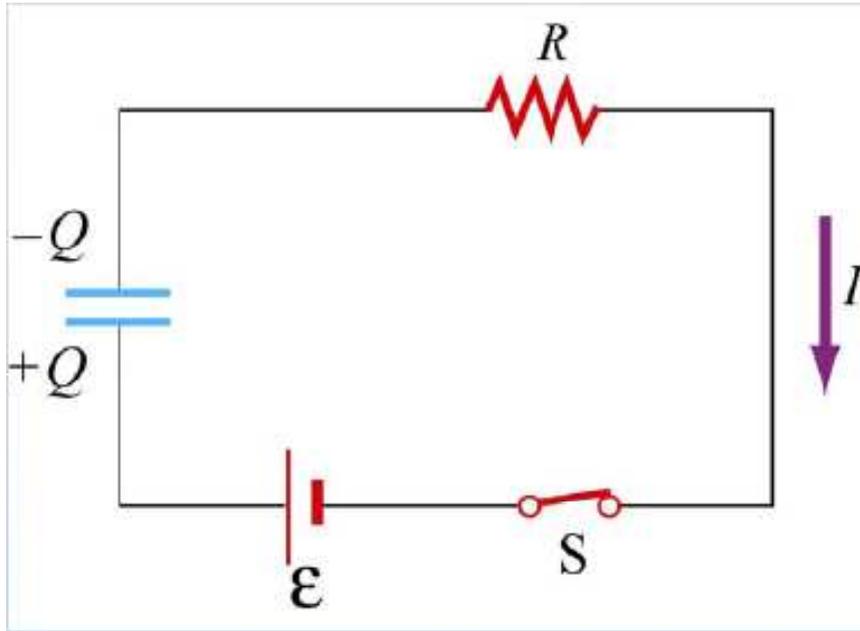
Daya - Kapasitor

Bergerak melalui kapasitor dari plat positif ke negatif: potensial menurun. Jika arus mengalir pada arah tersebut, maka kapasitor *mengabsorpsi* daya (menyimpan muatan)



$$P_{\text{absorbed}} = I \Delta V = \frac{dQ}{dt} \frac{Q}{C} = \frac{d}{dt} \frac{Q^2}{2C} = \frac{dU}{dt}$$

Keseimbangan Energi



$$\varepsilon - \frac{Q}{C} - IR = 0$$

Kalikan dengan I :

$$\varepsilon I = I^2 R + \frac{Q}{C} \frac{dQ}{dt} = I^2 R + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \right)$$

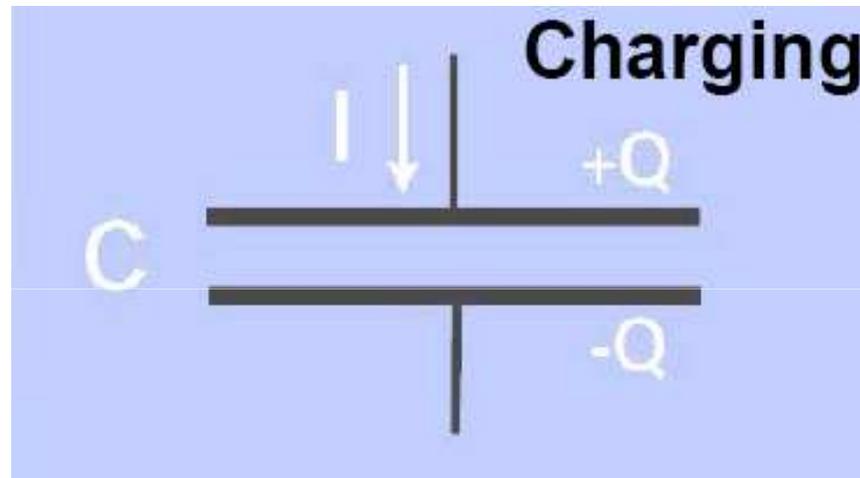
(daya yang disuplai batrei) = (daya yang didisipasi resistor)
+ (daya yang diabsorpsi kapasitor)

Rangkaian RC

Pengisian (Charging) dan Pengosongan (Discharging) Kapasitor

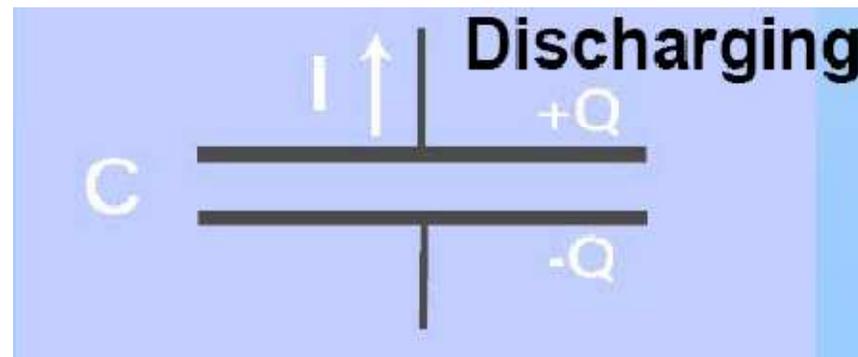
1. Ketika arah arus mengalir menuju plat positif dari kapasitor,

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

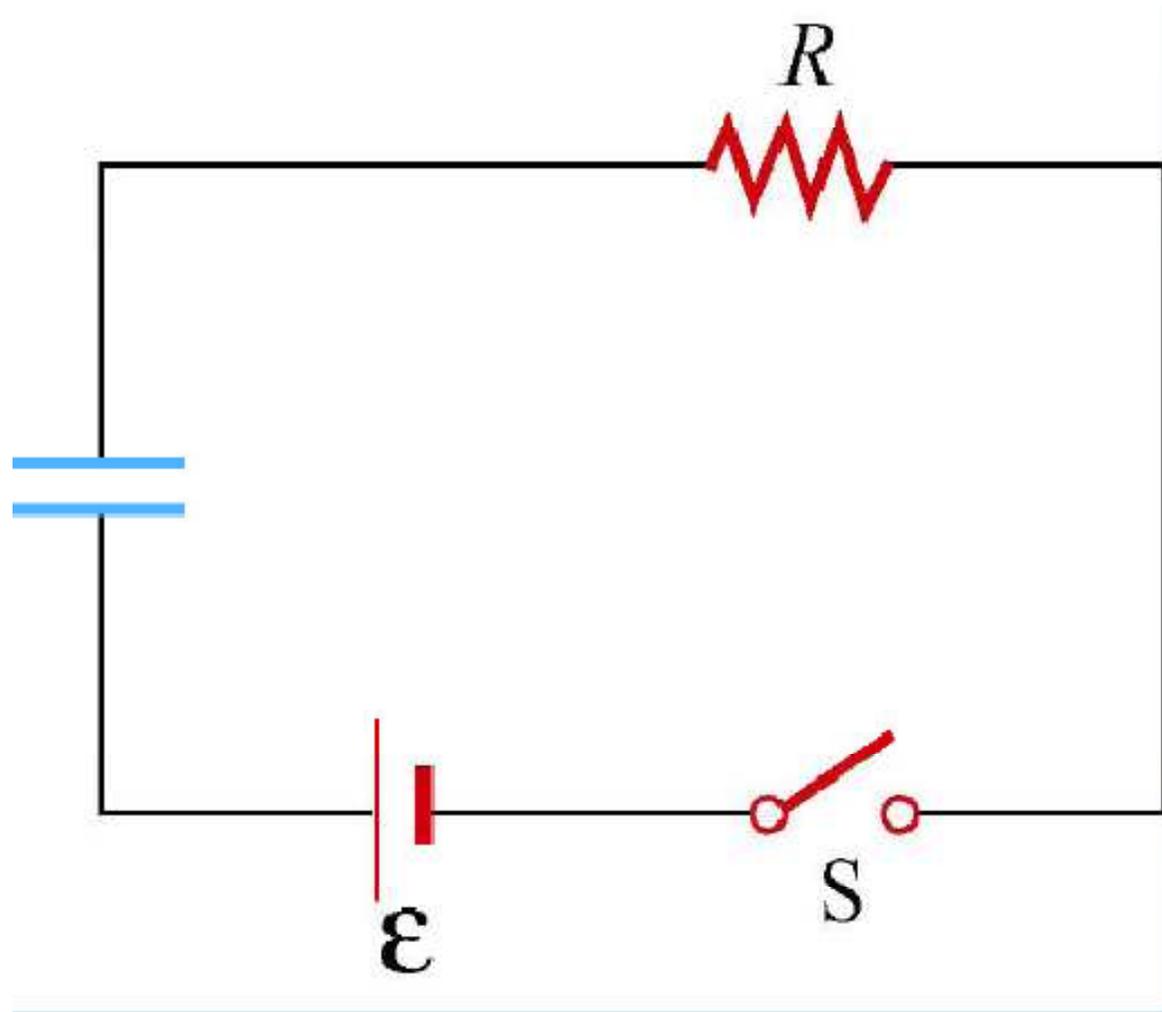


2. Ketika arah arus mengalir keluar dari plat positif kapasitor,

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

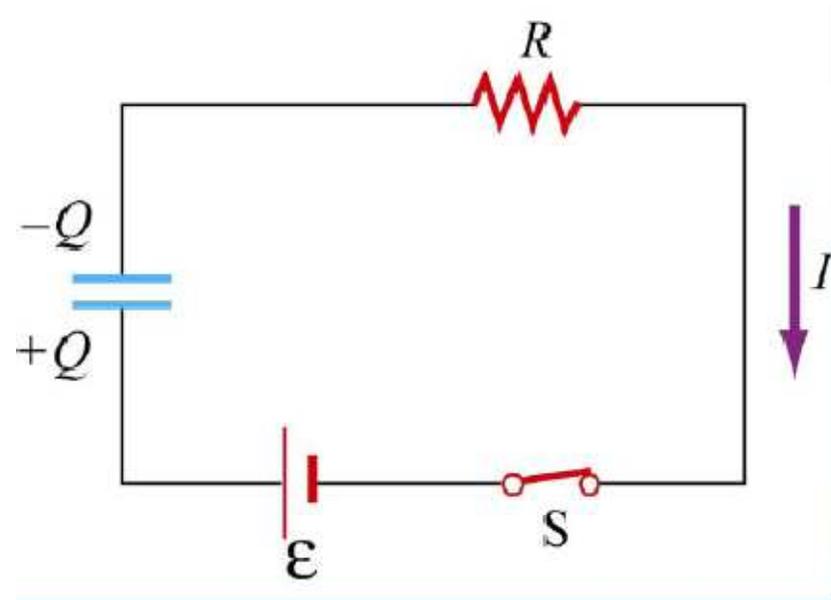
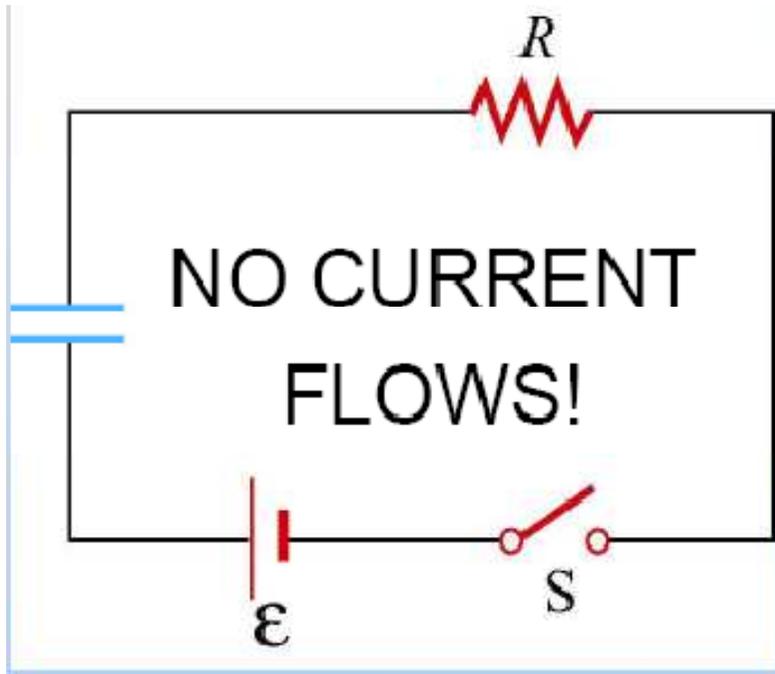


Pengisian Kapasitor



Apa yang terjadi ketika saklar S ditutup?

Pengisian Kapasitor

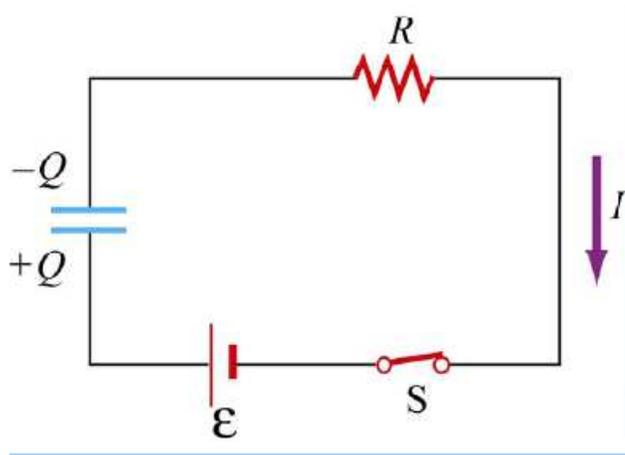


Gunakan Hukum Kirchhoff
(berjalan searah arus):

$$\sum_i \Delta V_i = \epsilon - \frac{Q}{C} - IR = 0$$

Animasi 6.6

Pengisian Kapasitor



$$\varepsilon - \frac{Q}{C} = \frac{dQ}{dt} R \Rightarrow \frac{dQ}{Q - C\varepsilon} = -\frac{dt}{RC}$$

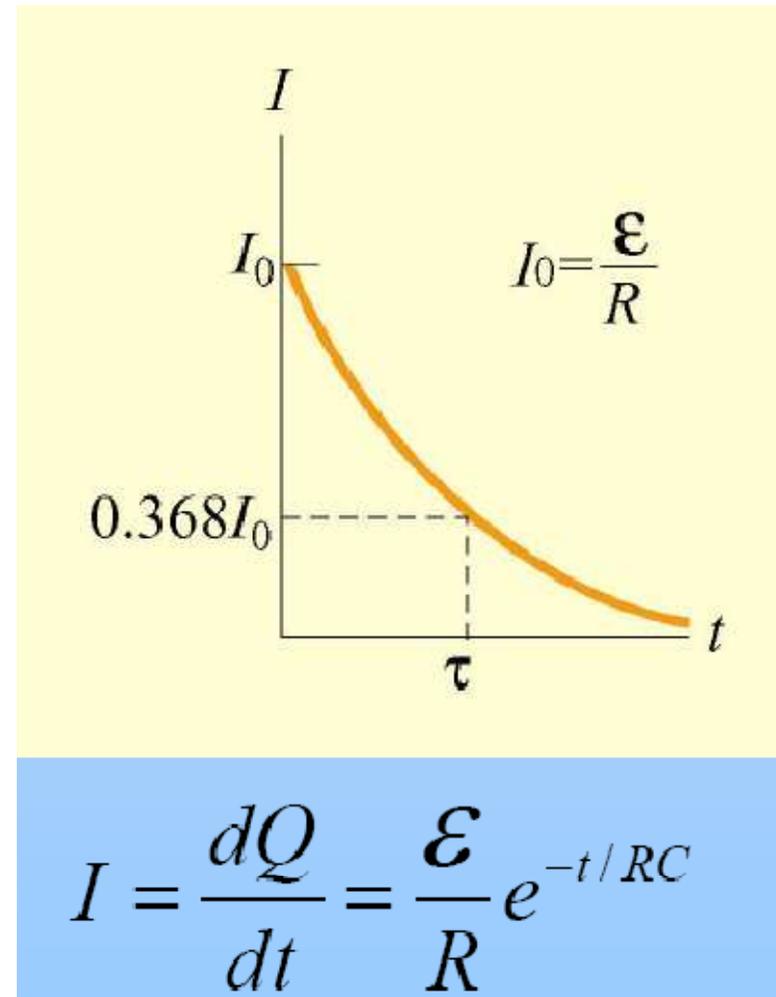
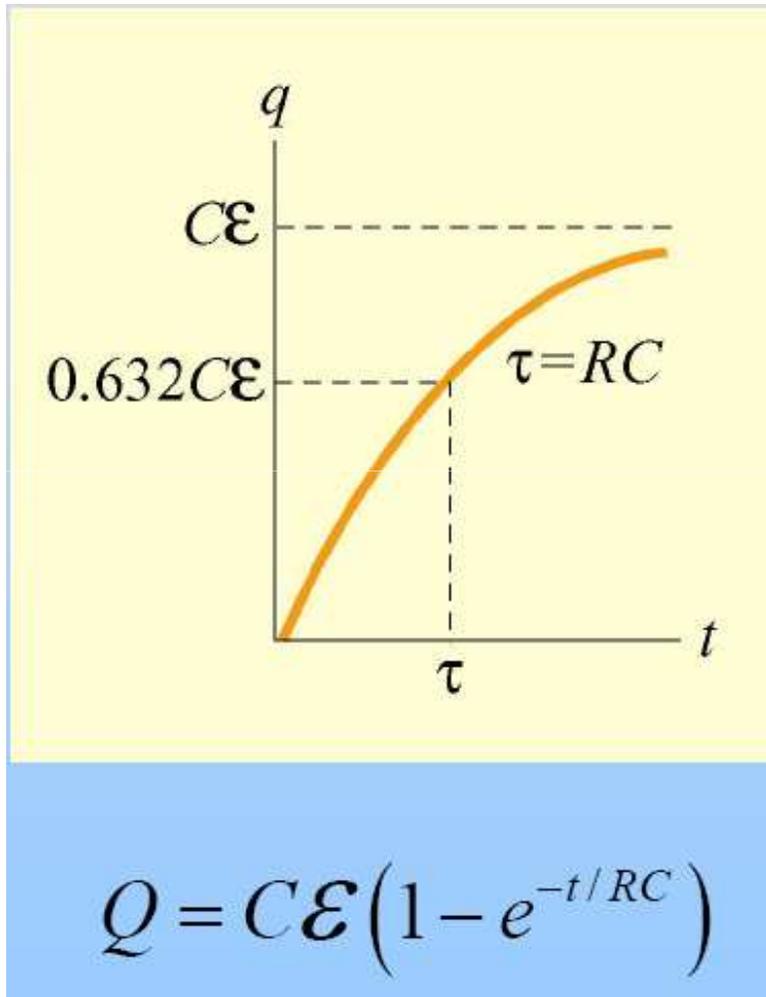
$$\int_0^Q \frac{dQ}{Q - C\varepsilon} = -\int_0^t \frac{dt}{RC}$$

Solusi persamaan differensial:

$$Q(t) = C\varepsilon \left(1 - e^{-t/RC} \right)$$

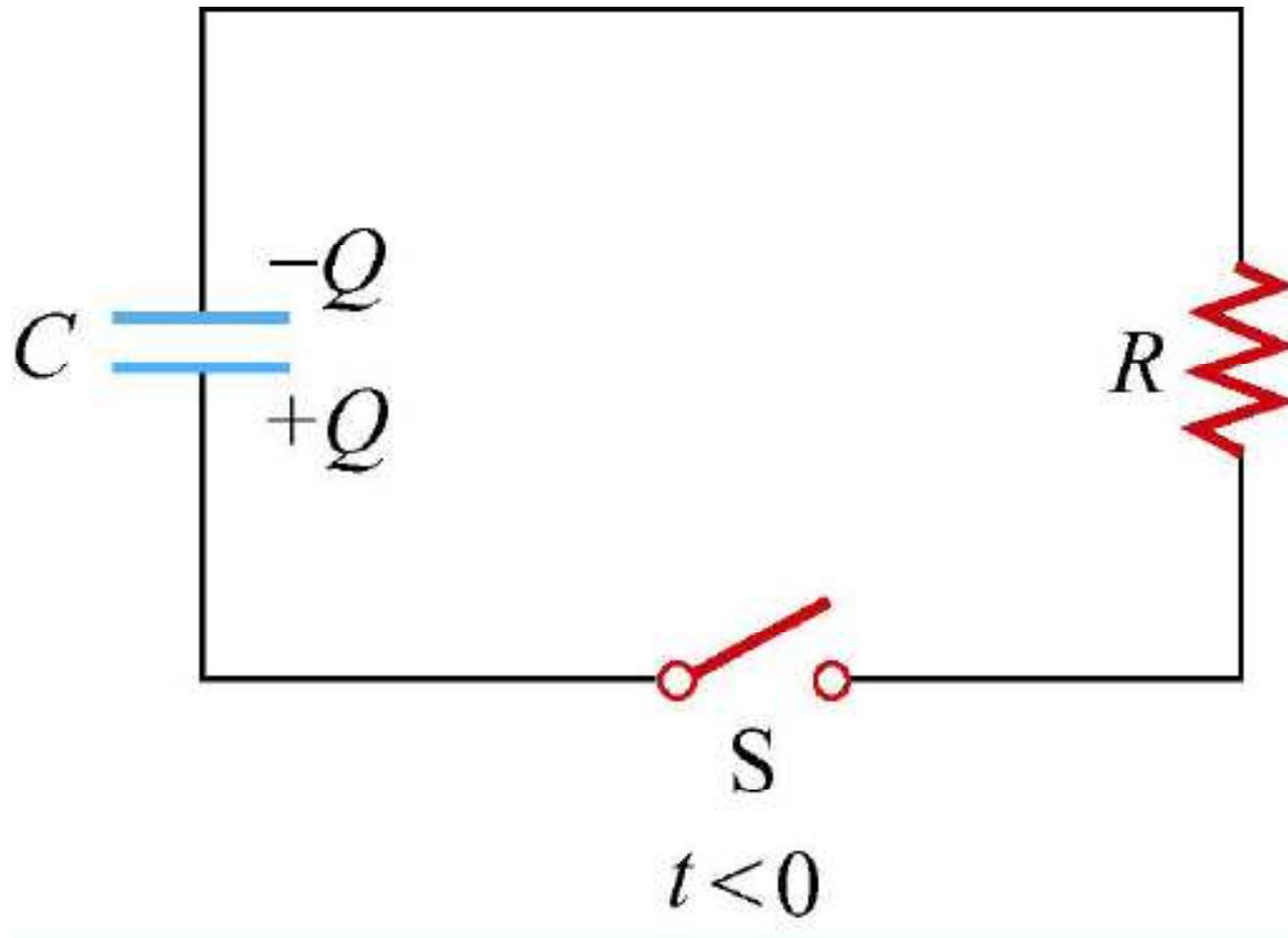
RC adalah konstanta waktu, dan memiliki satuan sekon

Pengisian Kapasitor



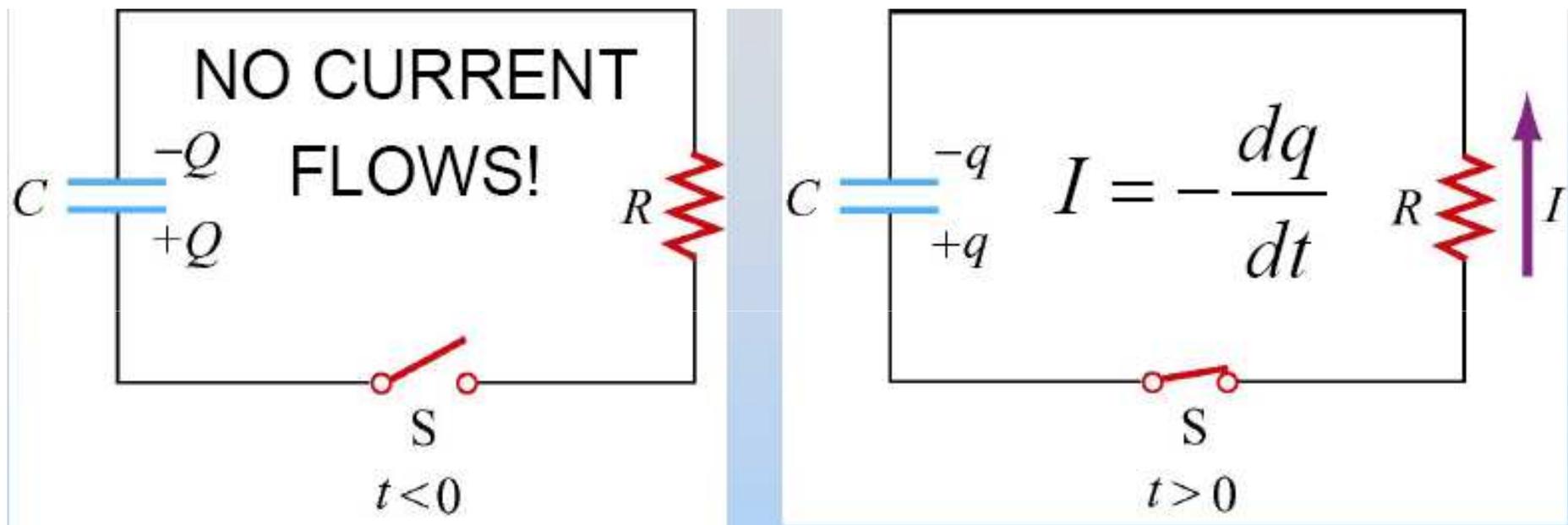
Animasi 6.7

Pengosongan Kapasitor



Apa yang terjadi ketika saklar S ditutup?

Pengosongan Kapasitor



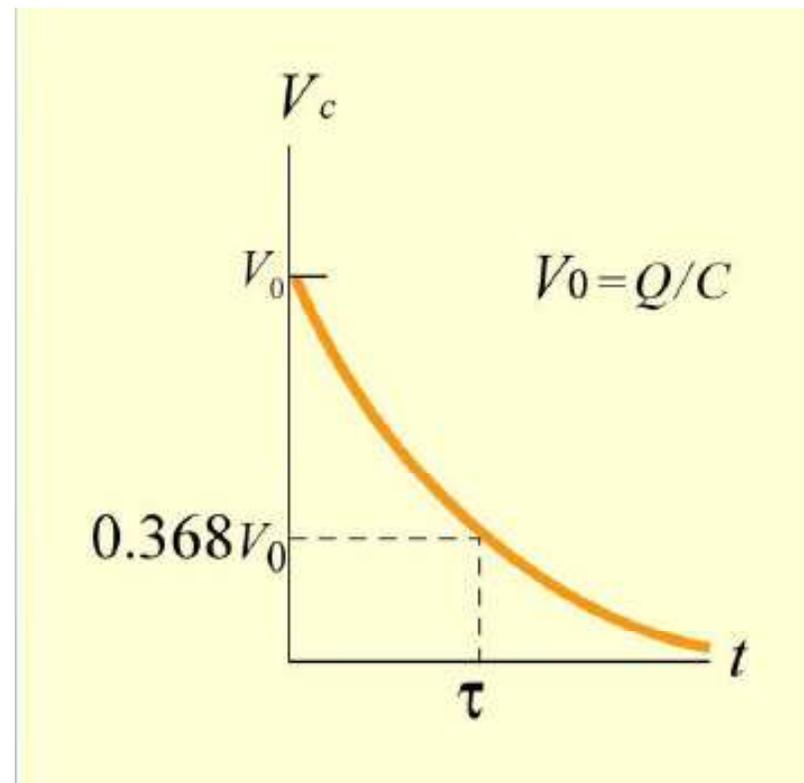
$$\sum_i \Delta V_i = \frac{q}{C} - IR = 0$$

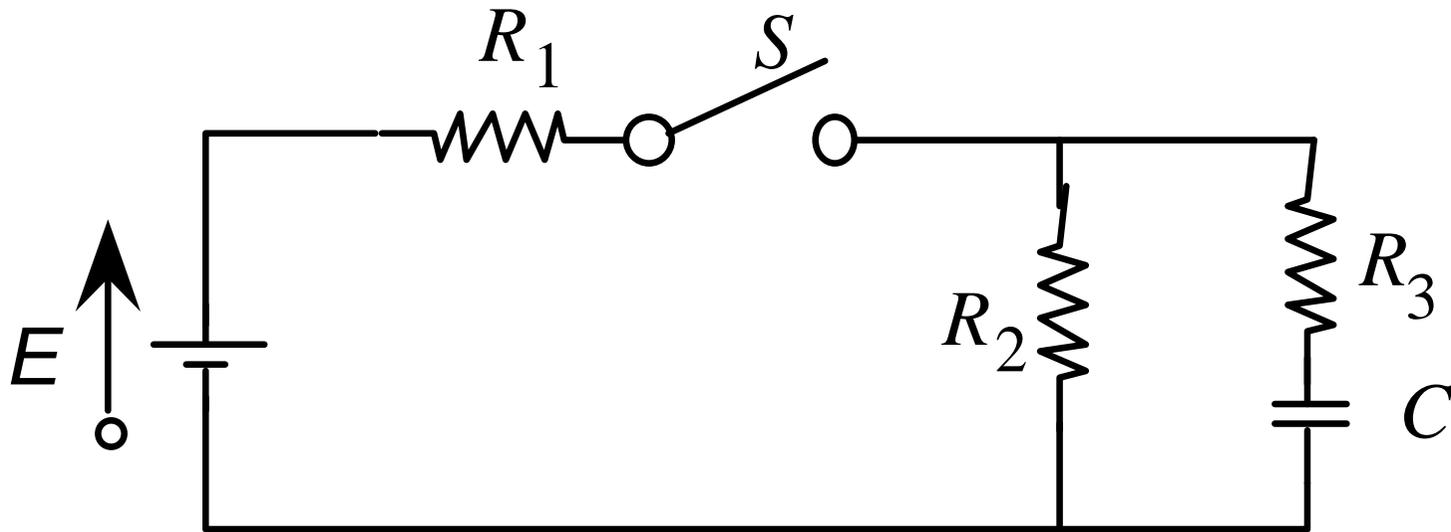
Pengosongan Kapasitor

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = 0 \Rightarrow \int_{Q_0}^Q \frac{dq}{q} = - \int_0^t \frac{dt}{RC}$$

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

Animasi 6.8

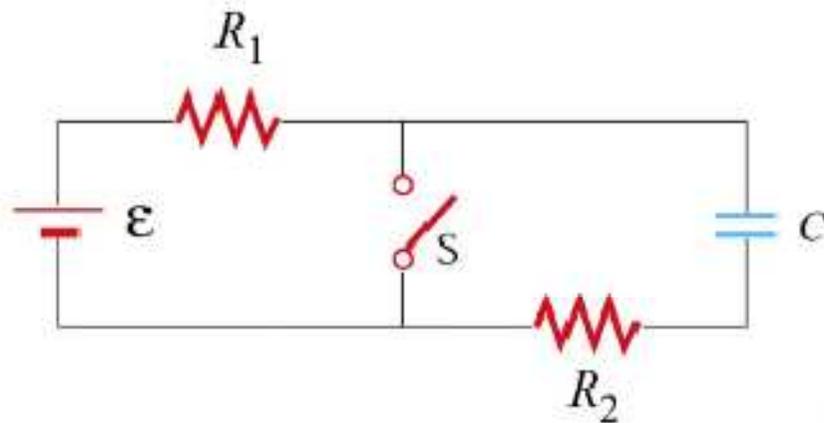




- Gambarkan grafik V_c fungsi waktu, ketika saklar S ditutup!
- b. carilah potensial yang melewati kapasitor sebagai fungsi waktu, $V_c(t)$?

Tugas

1. Buku Halliday Resnick Hal. 248 No. 49
2. Buku Tipler Hal. 207 No. 61
3. Lihat rangkaian di bawah ini,



- a. Saklar s terbuka sangat lama, berapakah beda potensial pada kapasitor?
- b. Pada $t=0$ saklar s ditutup, carilah arus yang melewati saklar sebagai fungsi waktu, $I(t)$?

TUGAS 5
Buku Halliday Resnick
Hal. 242 No. 25, 27 & 28