

# LISTRIK

Chap. 21 Buku Halliday & Resnick edisi 10 tahun 2014

# Sifat-sifat muatan listrik

Muatan listrik memiliki sifat-sifat berikut :

1. Muatan yang berlawanan tanda akan saling tarik-menarik, dan muatan yang sama akan saling tolak-menolak.
2. Jumlah muatan total dalam sistem terisolasi tetap.
3. Muatan listrik dapat dikuantifikasi.

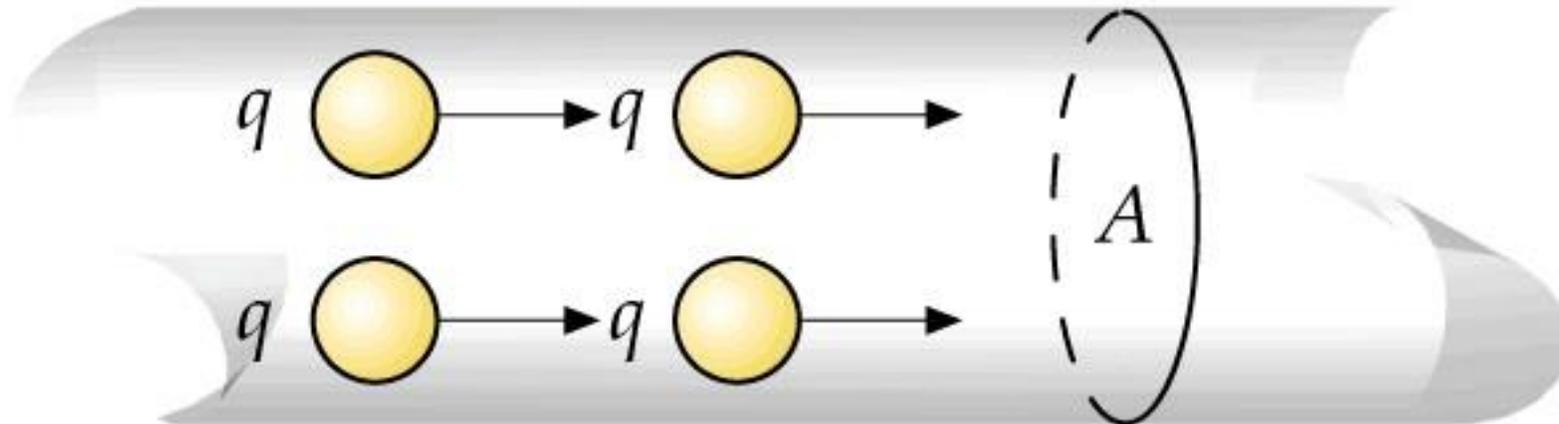
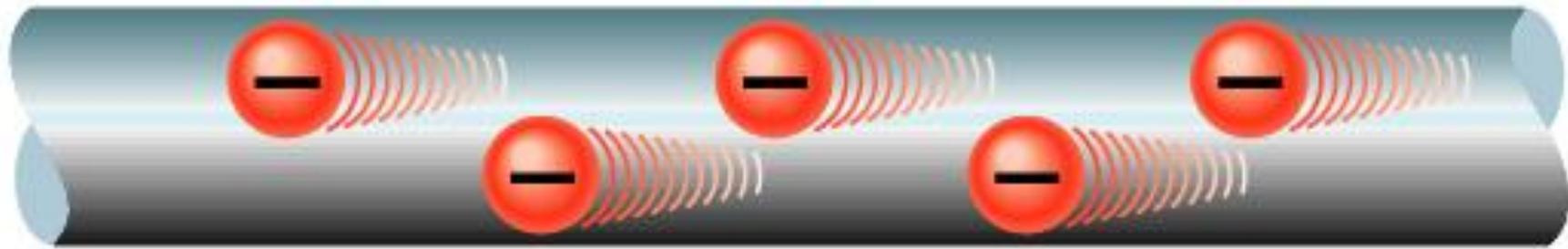
**Konduktor** : bahan yang mampu menghantarkan elektron dengan bebas.

**Insulator** : bahan yang tidak mampu menghantarkan elektron dengan bebas.

**Semikonduktor** : bahan yang memiliki sifat kelistrikan di antara konduktor dan isolator

# Aliran listrik

- Pembawa muatan dalam konduktor adalah elektron.



# Arus listrik

Arus listrik adalah **aliran muatan listrik**.

Didefinisikan sebagai kecepatan muatan listrik yang mengalir melalui suatu permukaan.

Hubungan antara arus listrik dengan kecepatan muatan melewati suatu titik dinyatakan dengan :

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

Satuan internasional (SI) adalah ampere (A)

Q = jumlah muatan listrik

t = waktu

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

# Coulomb dan Ampere

Satuan muatan listrik adalah **coulomb** (C).

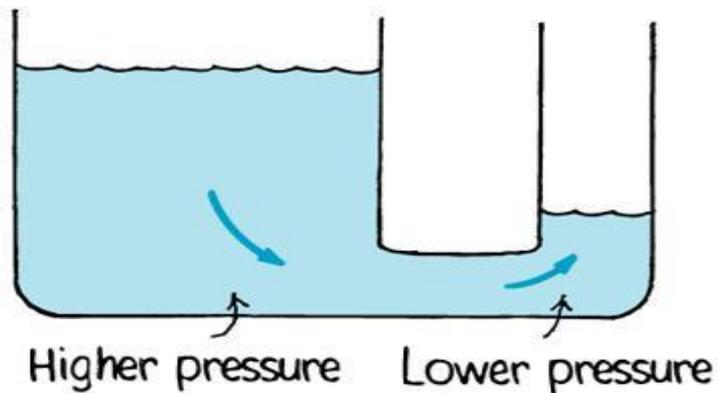
Bila dinyatakan dalam satuan arus listrik disebut dengan **ampere** (A),

Bila muatan melewati suatu titik dalam waktu 1 detik, dimana terdapat arus listrik sebesar 1 ampere pada titik tersebut maka dinyatakan sebagai :

$$1\text{ C} = (1\text{ A})(1\text{ s}).$$

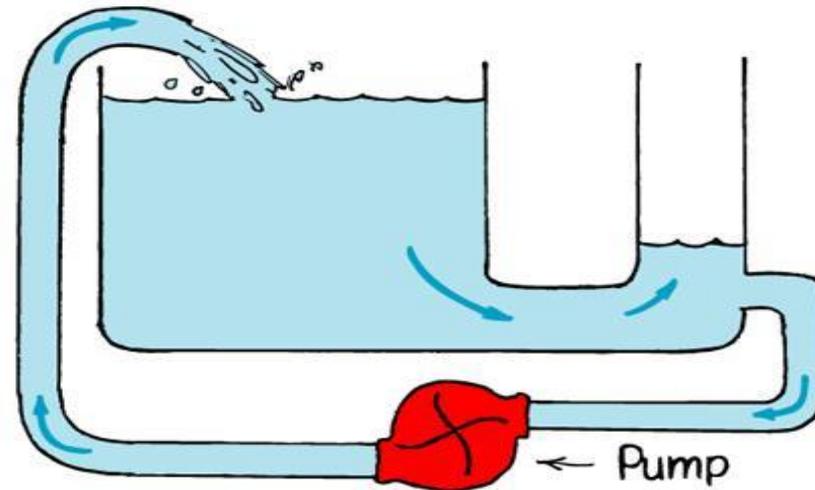
# Arus

Air mengalir dari sumber bertekanan tinggi ke sumber bertekanan rendah; aliran akan berhenti apabila tidak ada lagi beda tekanan.



a

Air akan terus mengalir karena beda tekanan terus dipertahankan dengan menggunakan pompa.

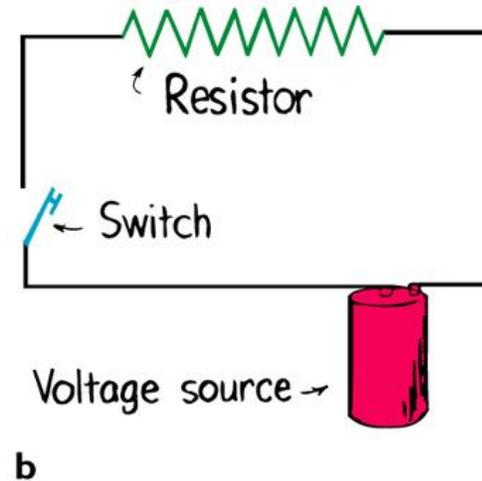
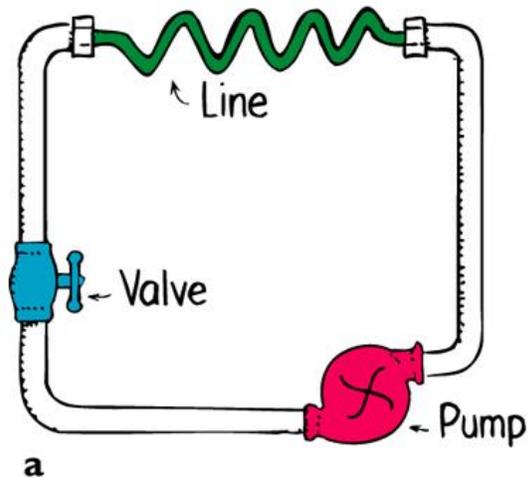


b

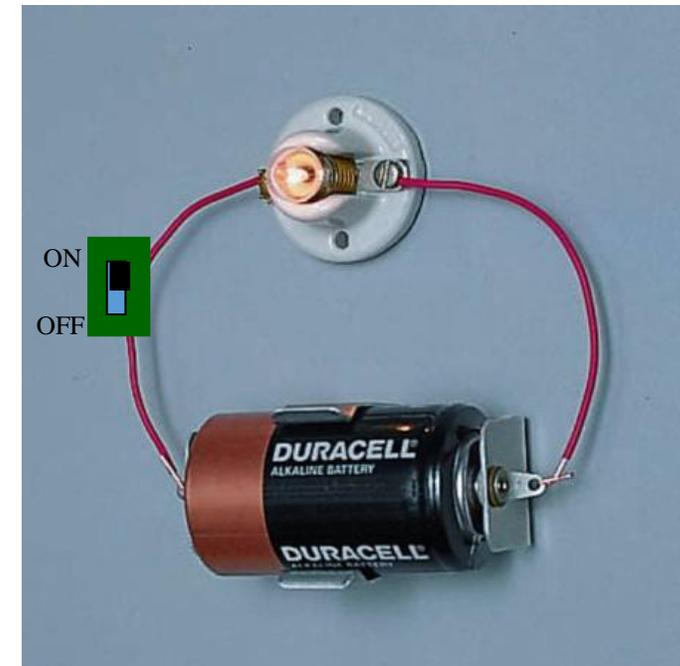
# Arus listrik

Pada aliran air, yang mengalir adalah molekul air. Pada arus listrik, yang mengalir adalah muatan listrik.

Pada jaringan listrik, elektron menciptakan aliran muatan.

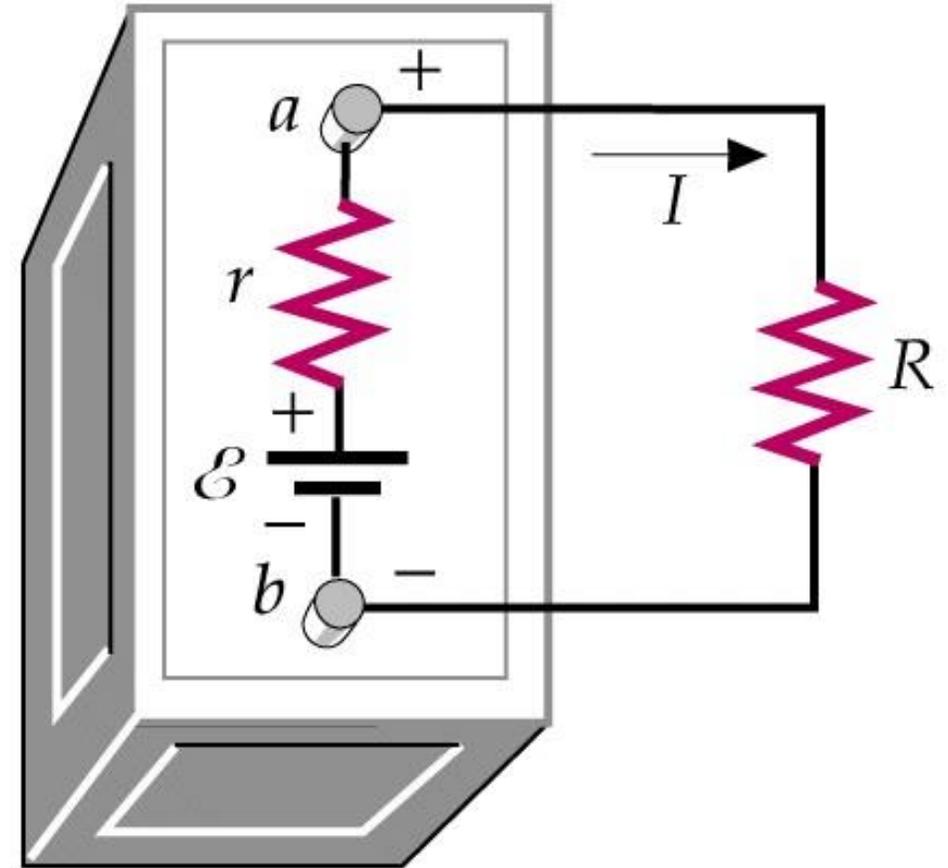


Copyright © 2006 Paul G. Hewitt, printed courtesy of Pearson Education Inc., publishing as Addison Wesley.



# Jaringan listrik

- Jaringan listrik sederhana terdiri atas :
  - Sumber energi (mis : batere)
  - Kawat/kabel konduktor
  - Tahanan  $R$ / resistor sebagai pengguna energi.
  - Saklar utk menyalakan/mematikan.
- Sumber energi memiliki tahanan dalam ( $r$ ).



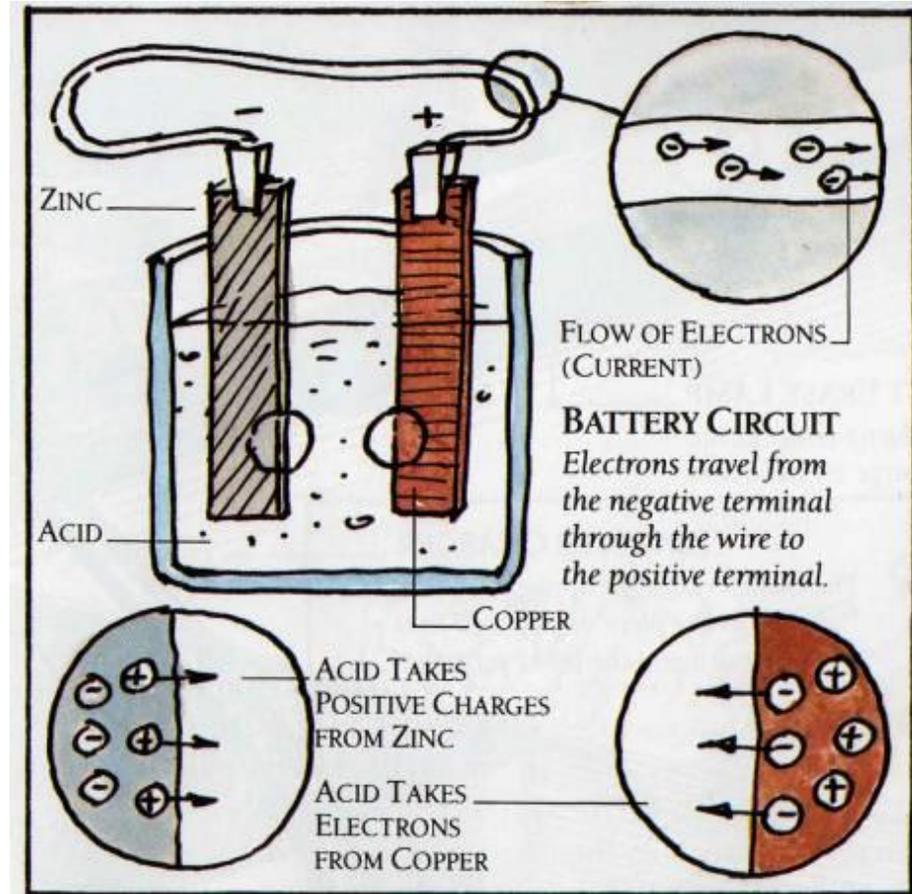
# Macam aliran listrik

- Aliran listrik searah (DC-direct current)
  - arah aliran listrik ke satu arah.
  - contoh : batere, aki, sel surya
  
- Aliran listrik bolak-balik (AC-alternating current)
  - arah aliran listrik berbalik arah berkali-kali dalam 1 detik (gelombang sinusoidal).
  - contoh : sumber arus PLN

# Baterie kimia

Baterie memisahkan muatan positif dan negatif menggunakan suatu reaksi kimia.

Energi potensial kimia diubah menjadi energi listrik.



# Hukum Coulomb

Gaya listrik yang diberikan oleh suatu muatan  $q_1$  pada muatan  $q_2$  dinyatakan sebagai :

$$\mathbf{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

dengan  $r$  : jarak antar 2 muatan

$\hat{\mathbf{r}}$  : vektor satuan yang mengarah dari  $q_1$  ke  $q_2$

$k_e$  : konstanta Coulomb =  $8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2.$$

where the constant  $\epsilon_0$  (lowercase Greek epsilon) is known as the *permittivity of free space* and has the value  $8.854 2 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$ .

Satuan muatan bebas yang terkecil yang ada di alam,  $e$ , adalah muatan elektron ( $-e$ ) atau proton ( $+e$ ), dengan  $e = 1.602 \times 10^{-19}$  C.

Charge and Mass of the Electron, Proton, and Neutron		
Particle	Charge (C)	Mass (kg)
Electron ( $e$ )	$-1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$9.109\,5 \times 10^{-31}$
Proton ( $p$ )	$+1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$1.672\,61 \times 10^{-27}$
Neutron ( $n$ )	0	$1.674\,92 \times 10^{-27}$

# Medan listrik (*Electric Field*)

**Medan listrik** : gaya listrik  $F_e$  yang bekerja pada suatu muatan yang menempati titik tertentu, dibagi dengan besarnya muatan  $q_0$

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

Sehingga, **gaya listrik  $F_e$**  pada suatu muatan  $q$  yang menempati medan listrik  $E$  dinyatakan sebagai :

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$$

Pada jarak  $r$  dari muatan  $q$ , medan listrik yang ditimbulkan muatan tersebut memenuhi persamaan :

$$\mathbf{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

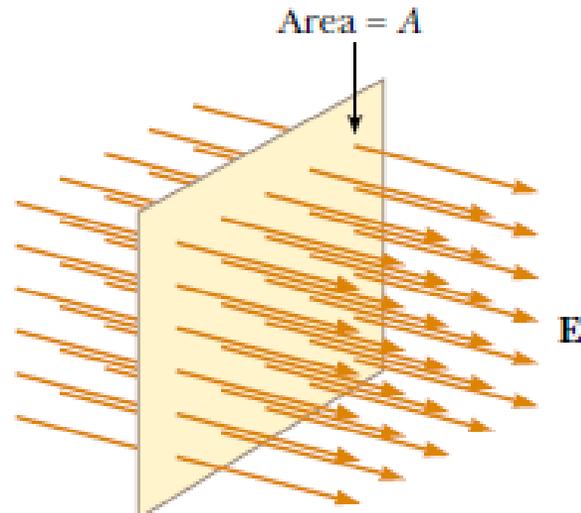
*where  $\hat{\mathbf{r}}$  is a unit vector directed from the charge toward the point in question. The electric field is directed radially outward from a positive charge and radially inward toward a negative charge.*

# Fluks listrik (*Electric Flux*)

Merupakan sejumlah garis-garis medan listrik yang menembus suatu permukaan :

$$\Phi_E = EA$$

$$\phi E [=] \text{Nm}^2/\text{C}$$



## Potensial listrik (*Electric Potential*)

Bila muatan positif  $q_0$  bergerak antara titik A dan B dalam suatu medan listrik  $E$ , perubahan energi potensial pada sistem muatan-medan adalah :

$$\Delta U = -q_0 \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

$dS$  : jarak A ke B

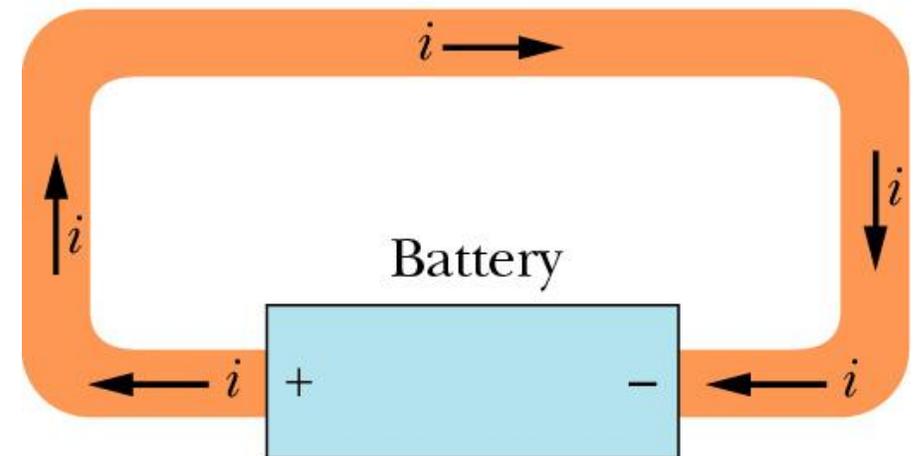
Potensial listrik  $V = U/q_0$  adalah besaran skalar dan memiliki satuan J/C, dengan  $1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$ .

## **Beda potensial (Voltage-V)**

- Arus listrik dalam suatu jaringan mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Perbedaan ini diperlukan arus untuk mengalir melalui konduktor.
- Ujung positif dari baterai adalah potensial tinggi, dan ujung negatif adalah potensial rendah.
- Beda potensial  $V$  diukur dalam Volt.

## Beda potensial (Voltage-V)

- Di dalam baterai, reaksi kimia terjadi dengan memindahkan elektron dari suatu terminal ke terminal lain.
- Karena adanya beda muatan antara kedua ujung inilah maka terdapat perbedaan potensial di antara keduanya.

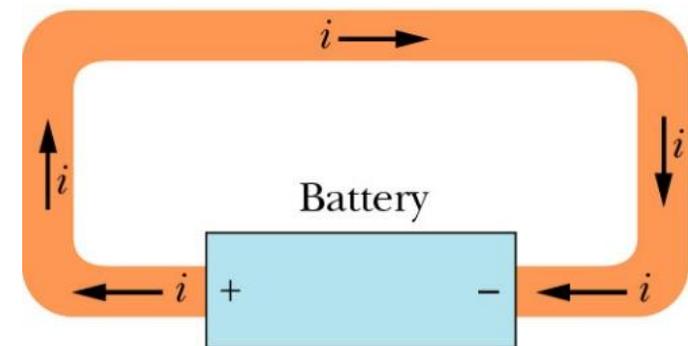


# Beda potensial (Voltage-V)

- Baterai menciptakan medan listrik di dalam dan sejajar terhadap kabel, yang mengarah dari ujung positif ke ujung negatif.
- Medan listrik tersebut menggerakkan gaya terhadap elektron-elektron bebas yang menyebabkan mereka bergerak. Gerakan inilah yang disebut arus listrik.
- Arus pada jaringan listrik mengalir dari ujung positif ke ujung negatif.



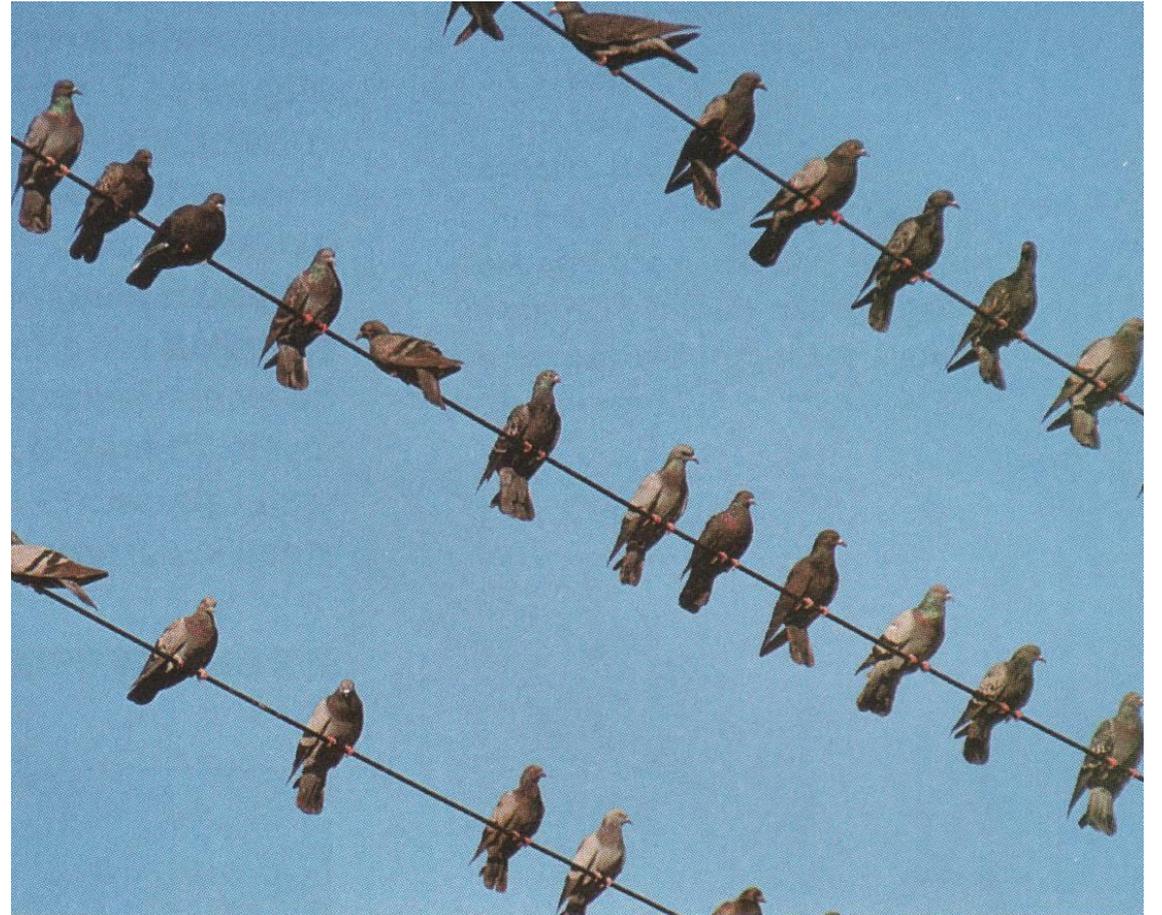
(a)



(b)

How can birds perch or squirrels run along high voltage (1000's of volts) wires and not be fried??

To receive a current (shock) there must be a **difference** in potential between one foot and the other, but every part of the bird or squirrel is at the **same** potential as the wire. IF they landed with one foot on one wire and the other foot on a neighboring wire at a different voltage, ZAP!!!!



# Tahanan (*Resistance*)

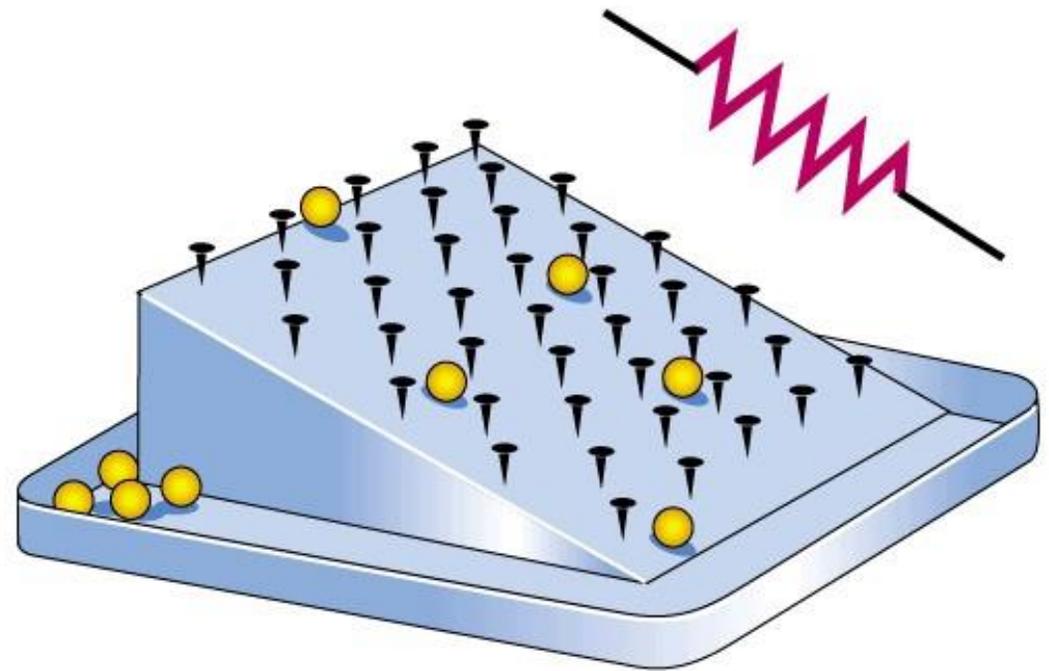
Satuan internasional (SI) untuk tahanan  $R$  [=] ohm ( $\Omega$ ) yang didefinisikan sebagai volt/Ampere

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

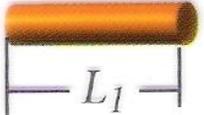
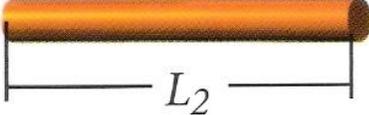
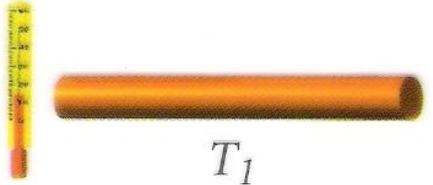
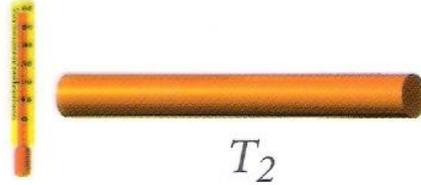
# Tahanan R

- Tahanan adalah sesuatu yang bertentangan dengan aliran muatan melalui konduktor.
- Tahanan suatu konduktor padat tergantung pada :
  1. Sifat-sifat bahan
  2. Panjang konduktor
  3. Luas penampang konduktor
  4. Temperatur



(a)

# Faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan

Factor	Less resistance	Greater resistance
Length		
Cross-sectional area		
Material	 Copper	 Aluminum
Temperature		

# Tahanan

- Tahanan konduktor sebanding dengan panjangnya.
  - Tahanan meningkat seiring dengan makin panjangnya konduktor.
- Tahanan konduktor berbanding terbalik dengan luas penampang konduktor.
  - Tahanan menurun seiring bertambahnya luas area.
- Tahanan selalu tergantung pada suhu konduktor. Tumbukan antar elektron dengan elektron lain dan atom-atom meningkatkan suhu bahan sehingga menambahkan energi panas yang menyebabkan elektron bergerak lebih cepat dan lebih sering bertumbukan. Hal ini akan meningkatkan tahanan konduktor.

# Tahanan

- Tahanan diukur dalam satuan ohm  $\Omega$ .  $1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$
- Resistivitas  $\rho$  tergantung pada sifat bahan. Konduktor yang baik memiliki resistivitas rendah (atau konduktivitas tinggi). Isolator memiliki resistivitas tinggi (atau konduktivitas rendah).
- Satuan resistivitas adalah  $\Omega \cdot \text{m}$ .
- Tahanan : 
$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$
- Resistivitas :  $\rho = \rho_0 + \rho_0 \cdot \alpha \cdot (T - T_0)$

# Hukum Ohm

- Menggambarkan hubungan antara voltase, arus pada konduktor dan tahanan :

- 

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

$$V = I \cdot R$$

# Resistor

Rangkaian listrik menggunakan resistor untuk mengendalikan tingkat aliran listrik pada berbagai bagian dalam rangkaian.

The inverse of conductivity is resistivity<sup>3</sup>  $\rho$ :

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (27.10)$$

where  $\rho$  has the units ohm-meters ( $\Omega \cdot \text{m}$ ). Because  $R = \ell / \sigma A$ , we can express the resistance of a uniform block of material along the length  $\ell$  as

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (27.11)$$

## Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity <sup>a</sup> ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	Temperature Coefficient <sup>b</sup> $\alpha$ [( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup> ]
Silver	$1.59 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-3}$
Copper	$1.7 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Gold	$2.44 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-3}$
Aluminum	$2.82 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Tungsten	$5.6 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Iron	$10 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-3}$
Platinum	$11 \times 10^{-8}$	$3.92 \times 10^{-3}$
Lead	$22 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Nichrome <sup>c</sup>	$1.50 \times 10^{-6}$	$0.4 \times 10^{-3}$
Carbon	$3.5 \times 10^{-5}$	$-0.5 \times 10^{-3}$
Germanium	0.46	$-48 \times 10^{-3}$
Silicon	640	$-75 \times 10^{-3}$
Glass	$10^{10}$ to $10^{14}$	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	$10^{15}$	
Quartz (fused)	$75 \times 10^{16}$	

# Daya listrik (*Electrical Power*)

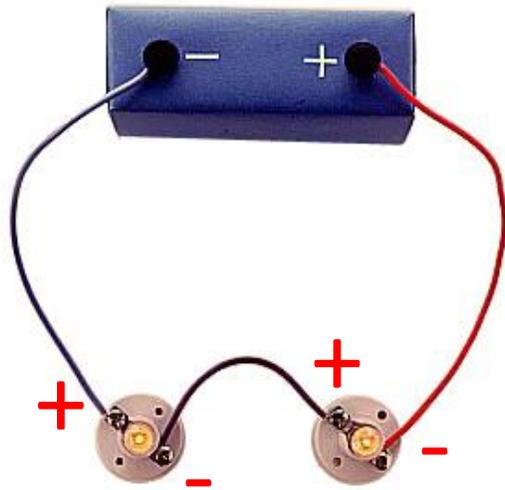
$$\mathcal{P} = I \Delta V$$

$$\mathcal{P} = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

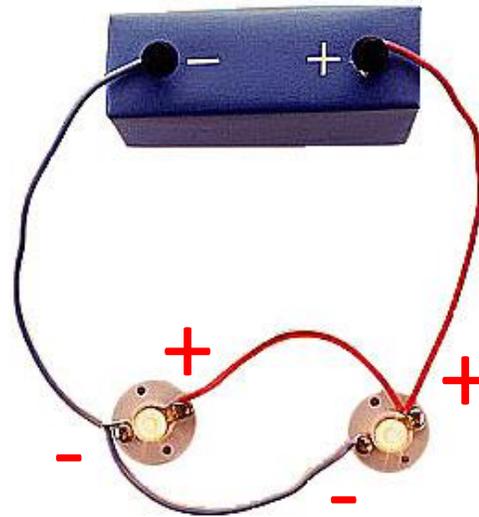
# Jenis jaringan

Ada 2 jenis jaringan listrik :

**SERIES CIRCUITS**



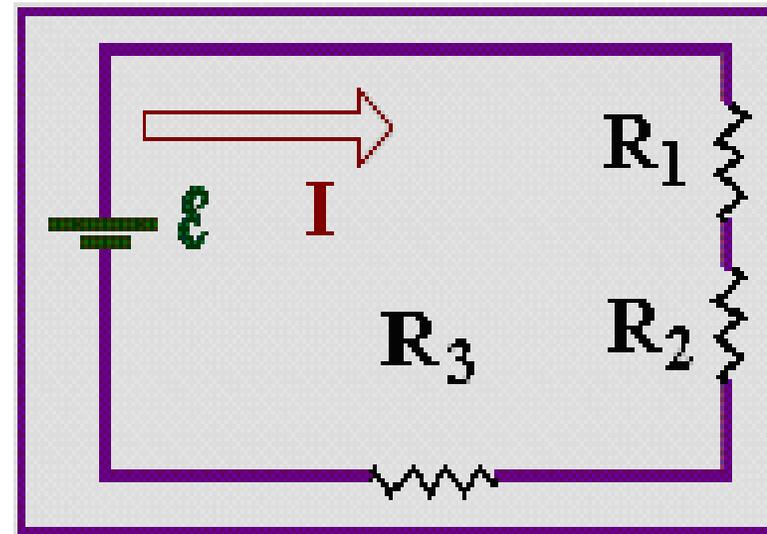
**PARALLEL CIRCUITS**



# Jaringan seri

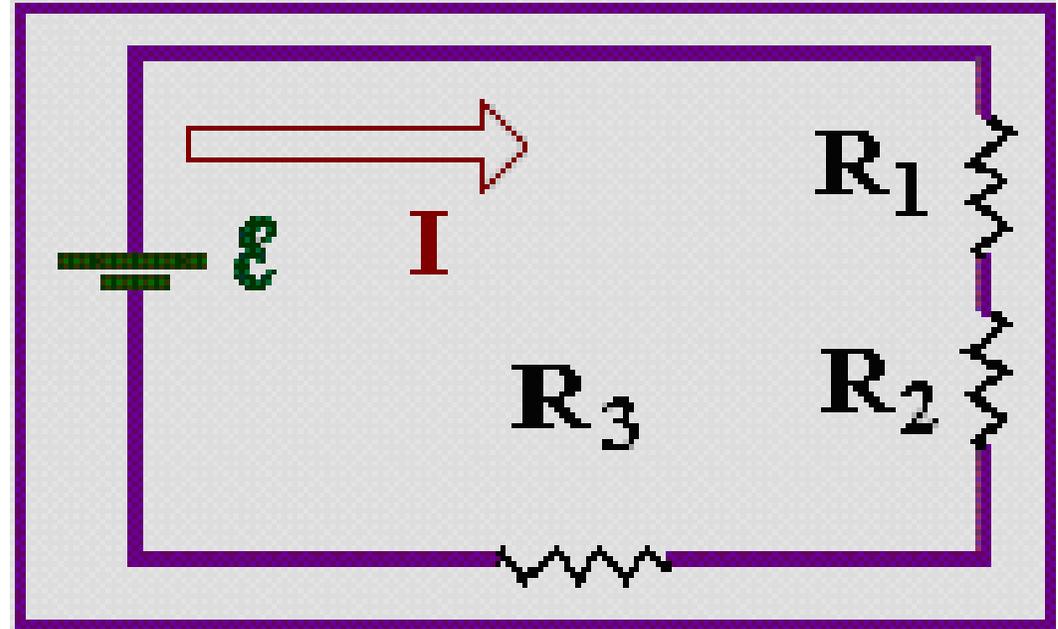
- Resistor dapat disusun secara seri, dimana arus mengalir melewatinya secara berurutan.
- Gambar 1 menunjukkan 3 resistor yang disusun secara seri, yang arahnya ditunjukkan oleh anak panah.

**Figure 1:** Resistor yang disusun seri



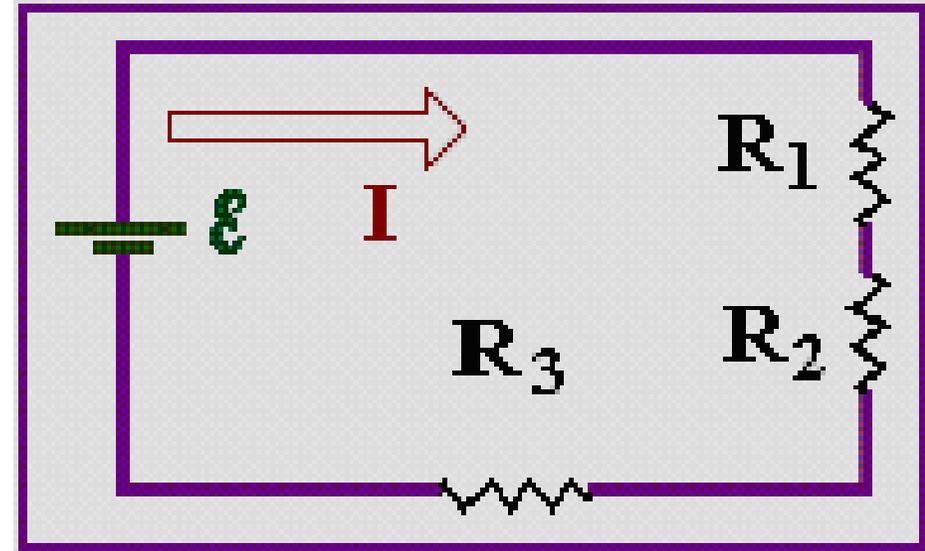
# Jaringan seri

- Karena hanya ada 1 jalan yang harus dilalui, maka arus yang mengalir tiap resistor adalah sama. Seluruh muatan yang berasal dari baterai akan melewati setiap resistor.
- $I = I_1 = I_2 = I_3$



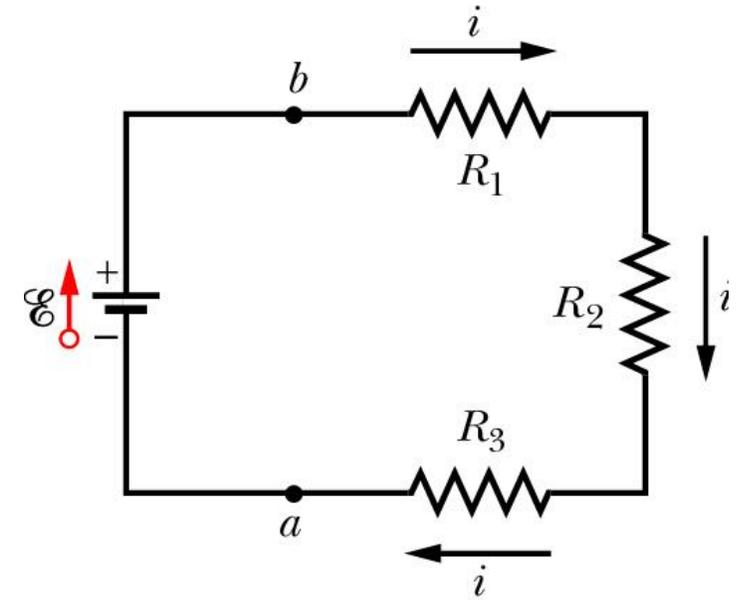
# Jaringan seri

- Penurunan voltase melalui resistor merupakan penjumlahan seluruh voltase total yang disuplai oleh batere.
- Pembawa muatan akan mensuplai energi ke setiap resistor dalam jaringan; jumlah energi yang diterima tiap resistor tergantung pada tahanan itu sendiri.
- Makin besar tahanan, makin besar energi yang digunakan.
- $E = V_1 + V_2 + V_3$

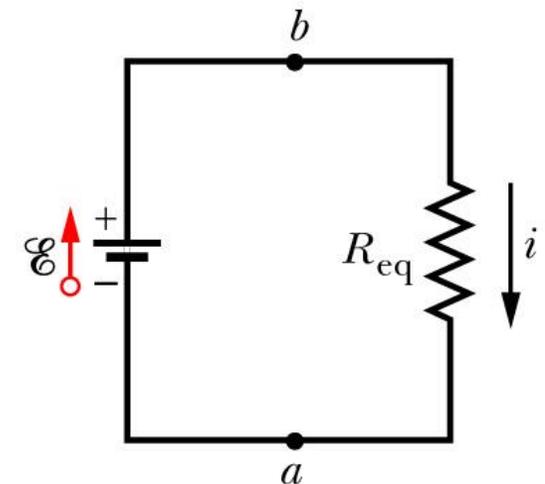


# Jaringan seri

- Untuk mempermudah perhitungan, tahanan seri dapat digabungkan menjadi satu resistor tunggal ekuivalen  $R_{eq}$ .
- Tahanan ekuivalen ini menggantikan 3 tahanan lain yang terpisah.
- $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$
- Jika  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ , dan  $R_3 = 8 \Omega$ , tahanan ekuivalen  $R_{eq} = 2 \Omega + 4 \Omega + 8 \Omega = 14 \Omega$



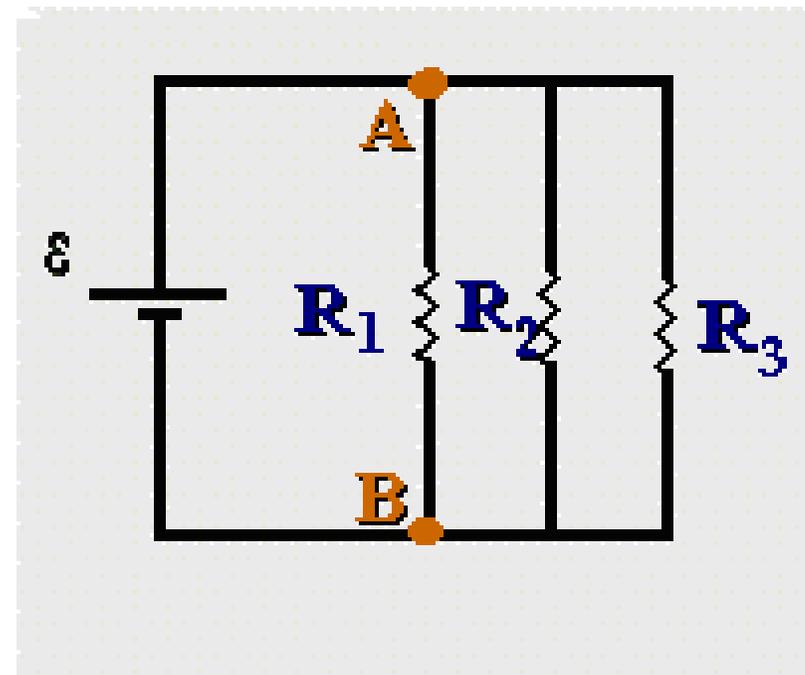
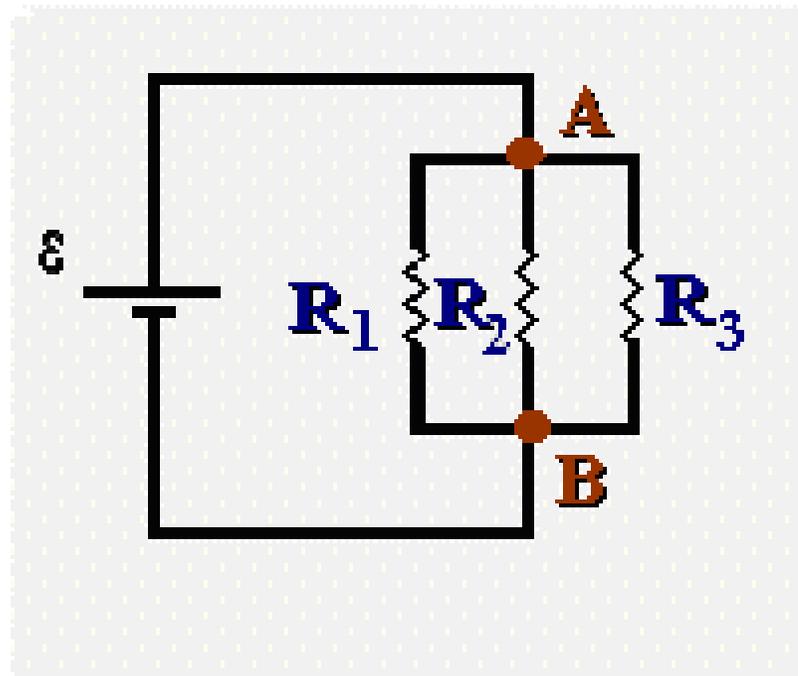
(a)



(b)

# Jaringan paralel

- Resistor dapat dihubungkan dengan susunan bercabang dari suatu titik dan bergabung kembali pada titik lain. Ini dikenal sebagai **jaringan paralel**.
- Setiap resistor memiliki jalur yang berbeda untuk mengalir dari titik A ke B.

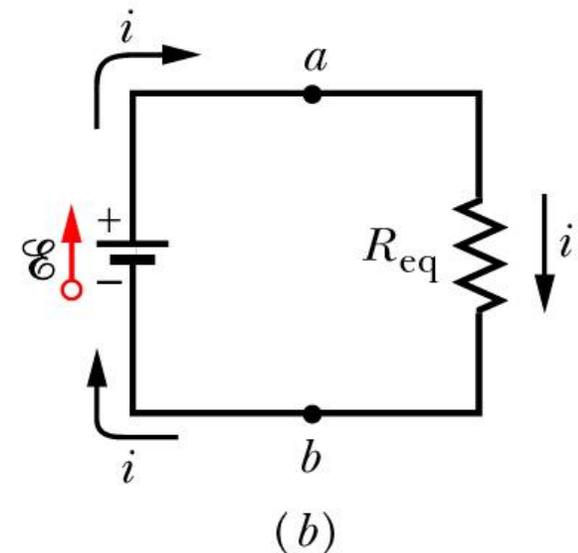
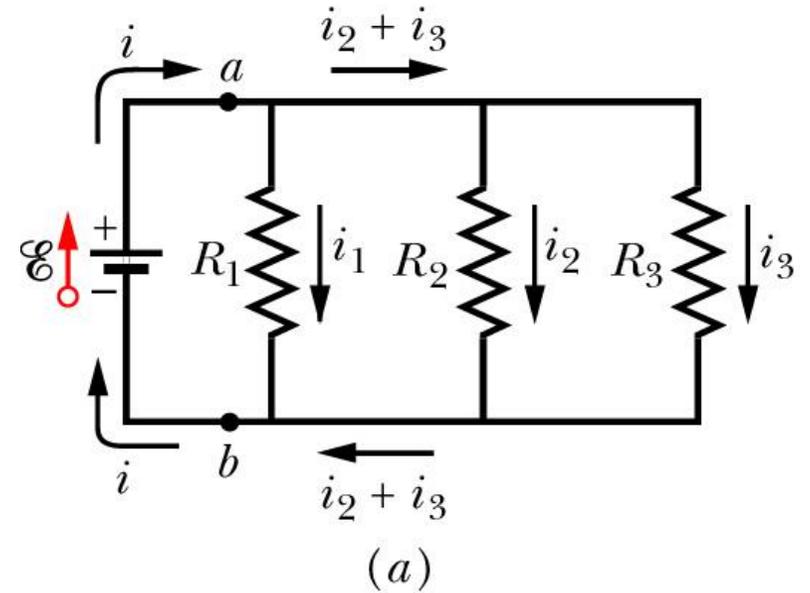


# Jaringan paralel

- Resistor yang disusun paralel mempunyai penurunan tegangan yang sama untuk masing-masingnya (nilainya konstan).

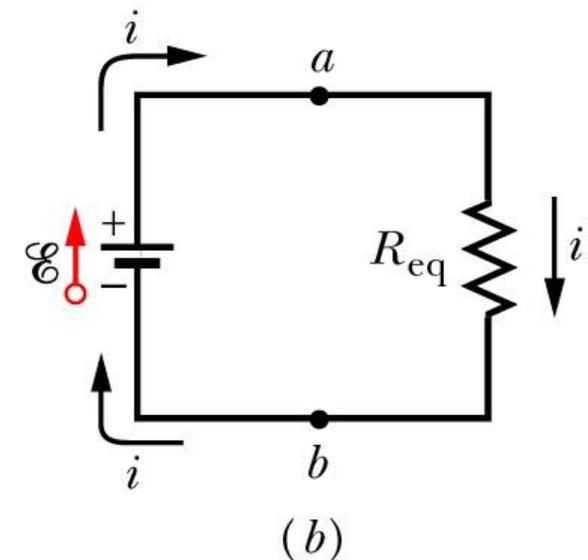
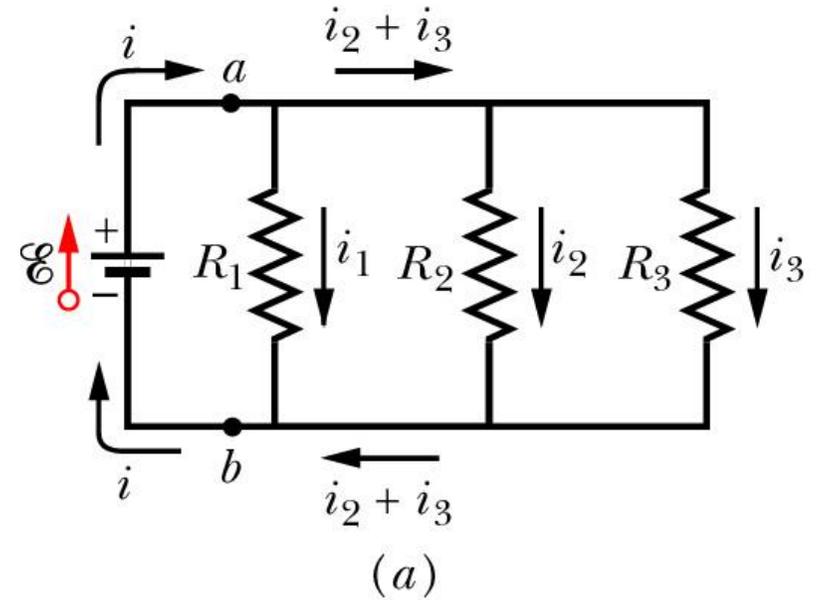
$$E = V_1 = V_2 = V_3$$

- Pembawa muatan yang dihasilkan batere membawa sejumlah energi (Joule) per Coulomb muatan, dan saat mencapai titik hubung, sebagian pembawa muatan ( $i_1$ ) akan melewati  $R_1$ , sebagian melewati  $R_2$  sebagai  $i_2$ , dan sisanya melewati  $R_3$  sebagai  $i_3$ .



# Jaringan paralel

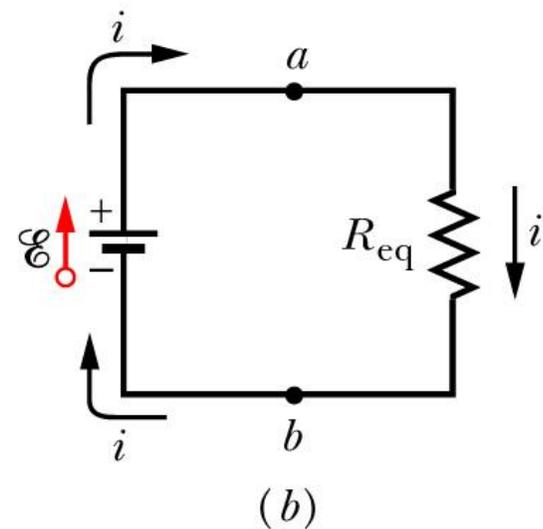
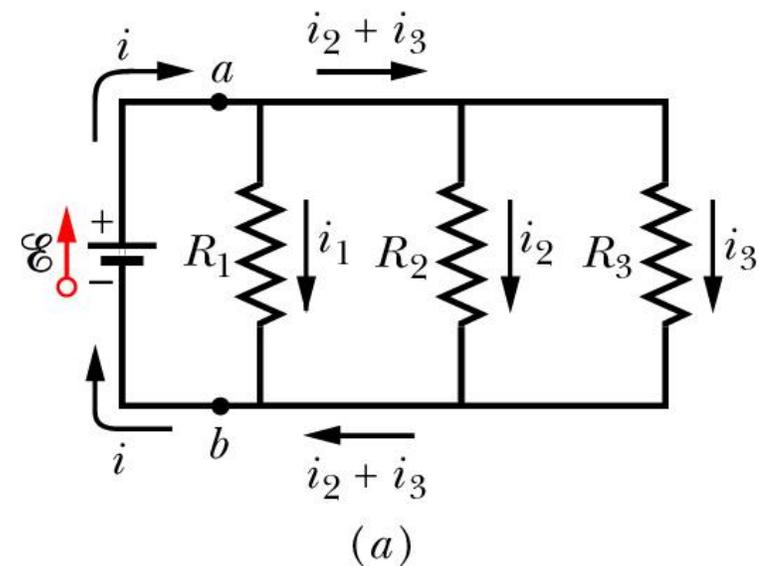
- Setiap pembawa muatan mempunyai sejumlah Joule/Coulomb yang sama, pada resistor mana pun yang dilewati, sehingga tegangan  $V$  konstan pada susunan paralel.
- Jumlah arus pada tiap cabang sama dengan total arus yang memasuki cabang susunan resistor paralel.
- Pada contoh ini :  $i = i_1 + i_2 + i_3$
- Biasanya :  $I_T = I_1 + I_2 + I_3$



# Jaringan paralel

- Tahanan yang disusun paralel dapat disederhanakan menjadi tahanan ekivalen  $R_{eq}$ .

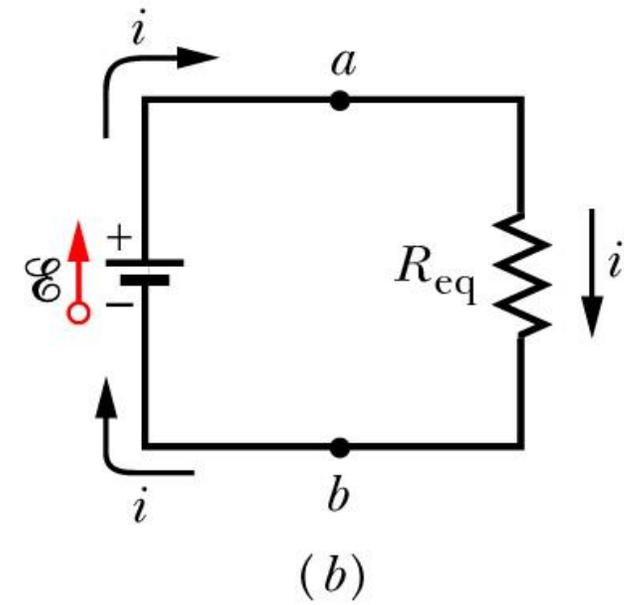
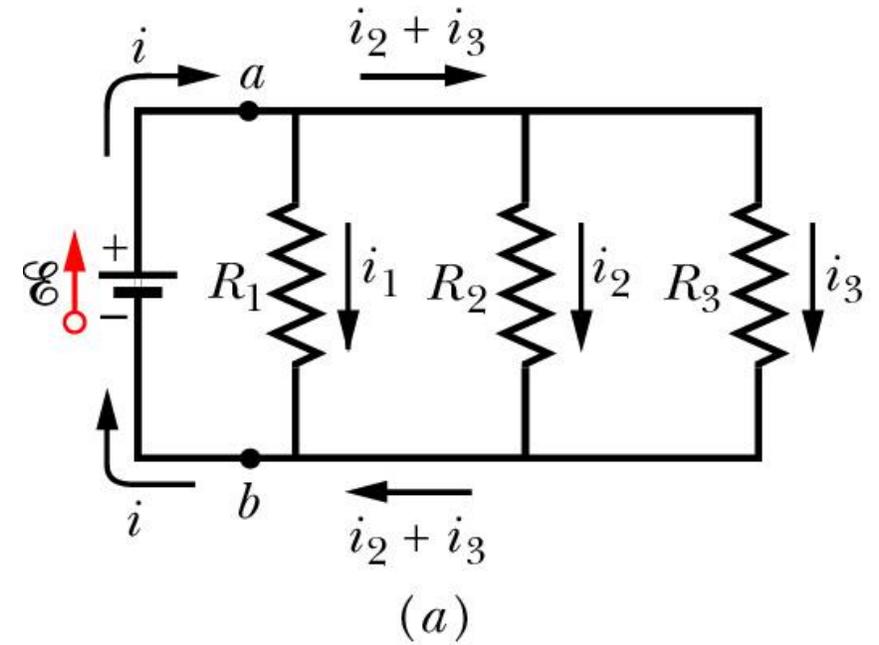
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



# Jaringan paralel

- Bila  $R_1 = 2 \Omega$  ,  $R_2 = 4 \Omega$  , dan  $R_3 = 8 \Omega$  ,  
Tahanan ekivalen

$$R_{\text{eq}} = [(2 \Omega)^{-1} + (4 \Omega)^{-1} + (8 \Omega)^{-1}]^{-1}$$
$$= 1.14286 \Omega$$



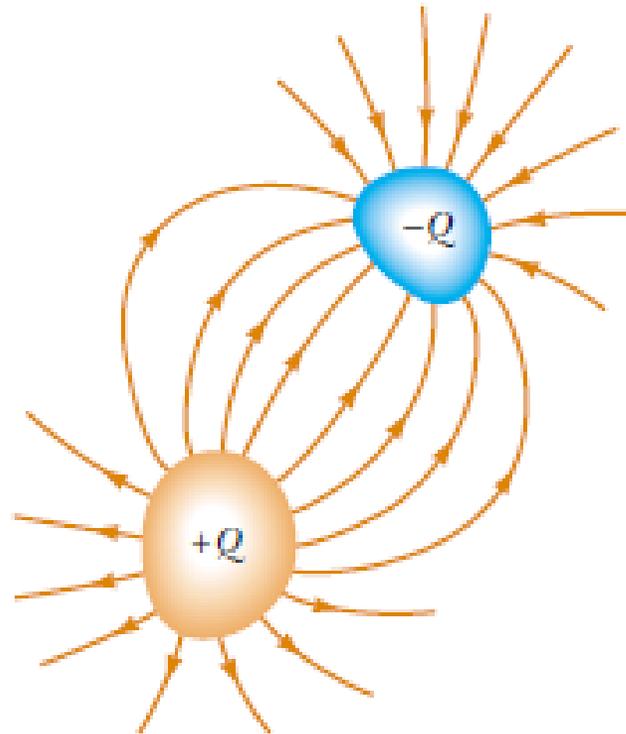
# Capacitance

(KAPASITANSI)



**Kapasitansi** ( $C$ ) dari suatu kapasitor :

rasio besarnya muatan dari tiap konduktor terhadap besarnya beda potensial antar konduktor :



**Figure 26.1** A capacitor consists of two conductors. When the capacitor is charged, the conductors carry charges of equal magnitude and opposite sign.

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

*capacitance is always a positive quantity*

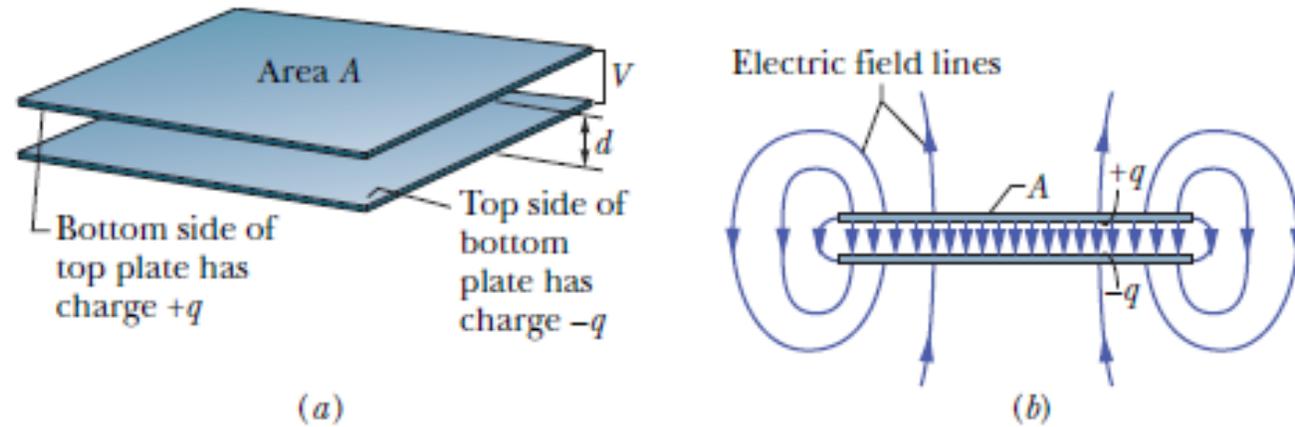
Satuan SI dari kapasitansi adalah Farad (F), sebagai penghargaan terhadap Michael Faraday

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$$

Farad merupakan satuan yang sangat besar dari kapasitansi.

Pada prakteknya, alat-alat memiliki kapasitansi antara **microfarads ( $10^{-6}$  F)** sampai **picofarads ( $10^{-12}$  F)**.

# *parallel-plate capacitor*



sebuah *parallel-plate capacitor*, terdiri atas 2 plat konduktor sejajar dengan luas area  $A$  dan terpisah sejauh  $d$ . Simbol yang digunakan untuk kapasitor (  $\text{⏏}$  ) didasarkan pada struktur plat sejajar, meskipun simbol ini berlaku untuk semua bentuk kapasitor.

$$\sigma = Q/A$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

$$\Delta V = Ed = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Qd/\epsilon_0 A}$$

$\epsilon_0 = 1/(4\pi k_e)$  is the permittivity of free space.

- $\sigma$  : surface charge density
- $Q$  : muatan
- $A$  : luas permukaan
- $d$  : jarak antar permukaan
- $E$  : medan listrik
- $\Delta V$  : beda potensial

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (\text{parallel-plate capacitor}).$$

- If a charge  $Q$  is uniformly distributed throughout a volume  $V$ , the **volume charge density**  $\rho$  is defined by

$$\rho \equiv \frac{Q}{V} \quad (\text{C/m}^3).$$

If a charge  $Q$  is uniformly distributed on a surface of area  $A$ , the **surface charge density**  $\sigma$  (lowercase Greek sigma) is defined by

$$\sigma \equiv \frac{Q}{A} \quad (\text{C/m}^2).$$

If a charge  $Q$  is uniformly distributed along a line of length  $\ell$ , the **linear charge density**  $\lambda$  is defined by

$$\lambda \equiv \frac{Q}{\ell}$$

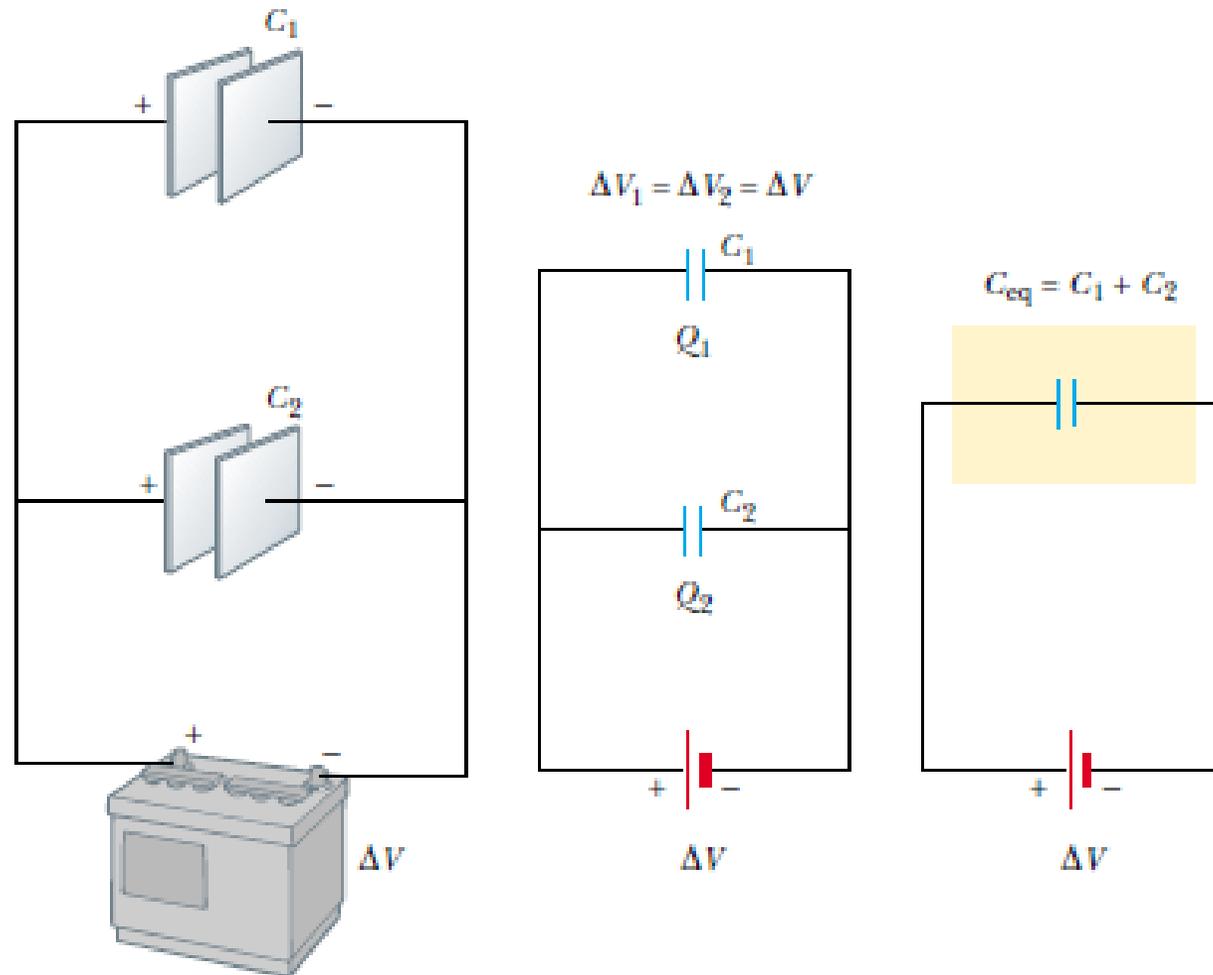
# Kombinasi kapasitor

Dua atau lebih kapasitor seringkali dikombinasikan dalam suatu rangkaian listrik.

Kapasitansi ekuivalen (yang setara) dari suatu susunan dapat dihitung dengan metode tertentu.

Pada kondisi tersebut, kapasitor yang akan digabungkan diasumsikan mula-mula tidak bermuatan.

# Parallel Combination



Beda potensial masing-masing kapasitor yang tersusun secara paralel/sejajar besarnya sama, dan sama pula dengan beda potensial gabungan.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (\text{parallel combination})$$

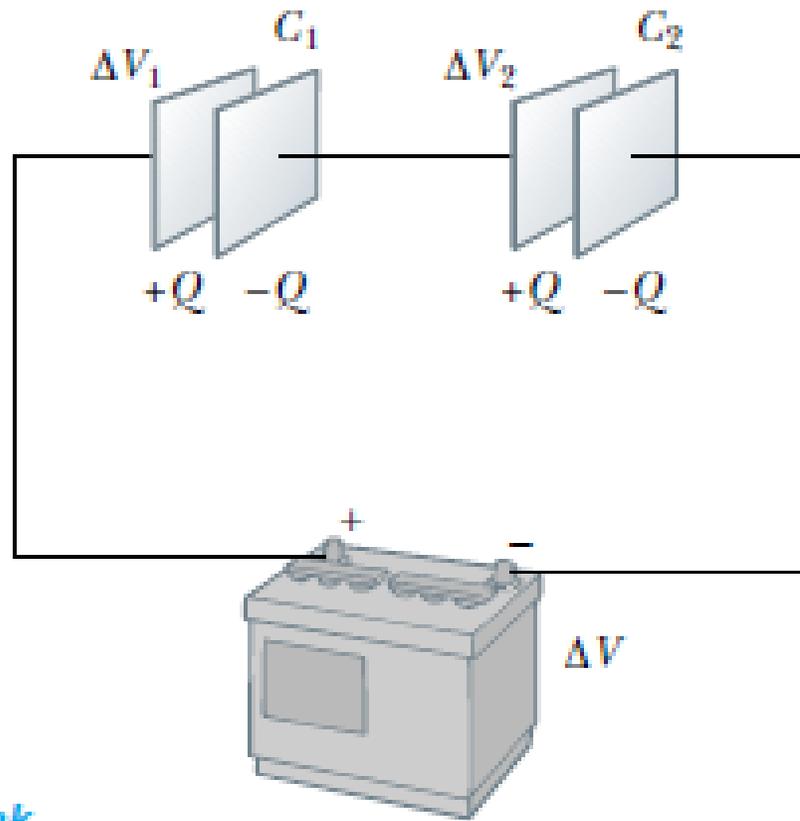
$$Q = C_{\text{eq}} \Delta V$$

$$Q_1 = C_1 \Delta V \quad Q_2 = C_2 \Delta V$$

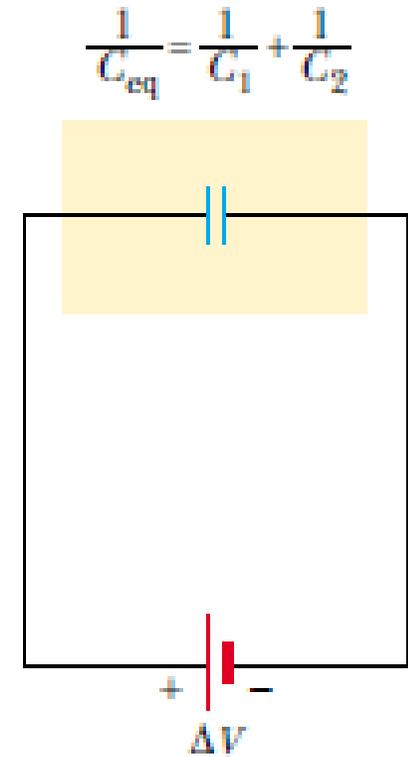
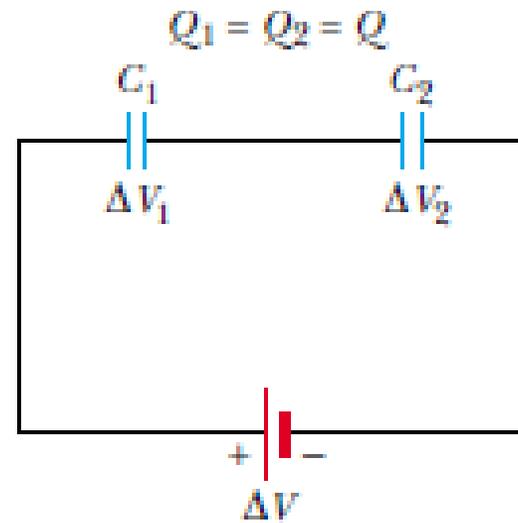
$$C_{\text{eq}} \Delta V = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$$

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 \quad (\text{parallel combination})$$

# Series Combination



ik



$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C_{\text{eq}}}$$

$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{Q}{C_{\text{eq}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (\text{series combination})$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (\text{series combination})$$

# Example 1

The electron and proton of a hydrogen atom are separated (on the average) by a distance of approximately  $5.3 \times 10^{-11}$  m. Find the magnitudes of the electric force and the gravitational force between the two particles.

$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$
$$= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2.$$

## Charge and Mass of the Electron, Proton, and Neutron

Particle	Charge (C)	Mass (kg)
Electron (e)	$-1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$9.109\,5 \times 10^{-31}$
Proton (p)	$+1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$1.672\,61 \times 10^{-27}$
Neutron (n)	0	$1.674\,92 \times 10^{-27}$

$$\begin{aligned}
 F_g &= G \frac{m_e m_p}{r^2} \\
 &= (6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2) \\
 &\quad \times \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \\
 &= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}
 \end{aligned}$$

The ratio  $F_e/F_g \approx 2 \times 10^{39}$ . Thus, the gravitational force between charged atomic particles is negligible when compared with the electric force. Note the similarity of form of Newton's law of universal gravitation and Coulomb's law of electric forces.

## Example 2

The nucleus in an iron atom has a radius of about  $4.0 \times 10^{-15}$  m and contains 26 protons.

- (a) What is the magnitude of the repulsive electrostatic force between two of the protons that are separated by  $4.0 \times 10^{-15}$  m?
- (b) What is the magnitude of the gravitational force between those same two protons?

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \\ &= \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(4.0 \times 10^{-15} \text{ m})^2} \\ &= 14 \text{ N.} \end{aligned} \quad \text{(Answer)}$$

$$\begin{aligned} F &= G \frac{m_p^2}{r^2} \\ &= \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})^2}{(4.0 \times 10^{-15} \text{ m})^2} \\ &= 1.2 \times 10^{-35} \text{ N.} \end{aligned} \quad \text{(Answer)}$$

## Example 3

What is the electric flux through a sphere that has a radius of 1.00 m and carries a charge of +1.00  $\mu\text{C}$  at its center?

$$E = k_e \frac{q}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{1.00 \times 10^{-6} \text{ C}}{(1.00 \text{ m})^2}$$
$$= 8.99 \times 10^3 \text{ N/C}$$

The field points radially outward and is therefore everywhere perpendicular to the surface of the sphere. The flux through the sphere (whose surface area  $A = 4\pi r^2 = 12.6 \text{ m}^2$ ) is thus

$$\Phi_E = EA = (8.99 \times 10^3 \text{ N/C})(12.6 \text{ m}^2)$$
$$= 1.13 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

## Example 4. Parallel-Plate Capacitor

A parallel-plate capacitor with air between the plates has an area  $A = 2.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  and a plate separation  $d = 1.00 \text{ mm}$ . Find its capacitance.

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{(8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2) (2.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{1.00 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$= 1.77 \times 10^{-12} \text{ F} = 1.77 \text{ pF}$$

# Latihan

- Kerjakan soal-soal di Chap. 21 Buku Halliday & Resnick edisi 10 tahun 2014