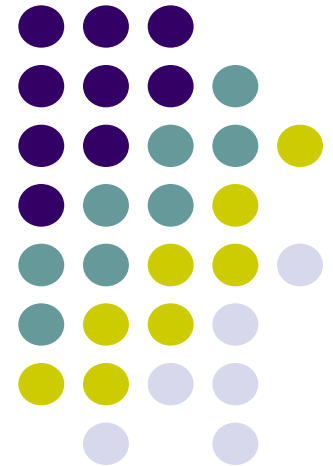


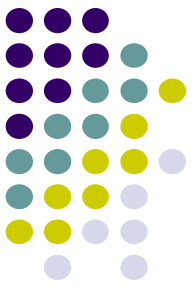
# Arus Listrik dan Resistansi

Kuliah Fisika Dasar II  
TIP, TP, UGM 2009

Ikhsan Setiawan, M.Si.  
Jurusan Fisika FMIPA UGM  
*ikhsan\_s@ugm.ac.id*



# Arus Listrik (*Electric Current*)



- Lambang :  $i$  atau  $I$ .
- Yaitu:
  - Laju aliran muatan yang melewati suatu titik dalam rangkaian listrik.
  - Laju aliran muatan yang melewati suatu luas penampang.

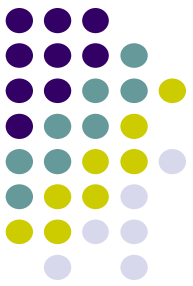
Laju aliran muatan = banyaknya muatan yang mengalir per satuan waktu.

$$i = \frac{Q}{t}$$

atau

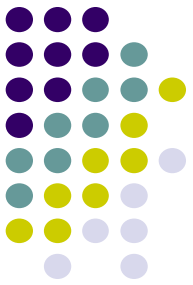
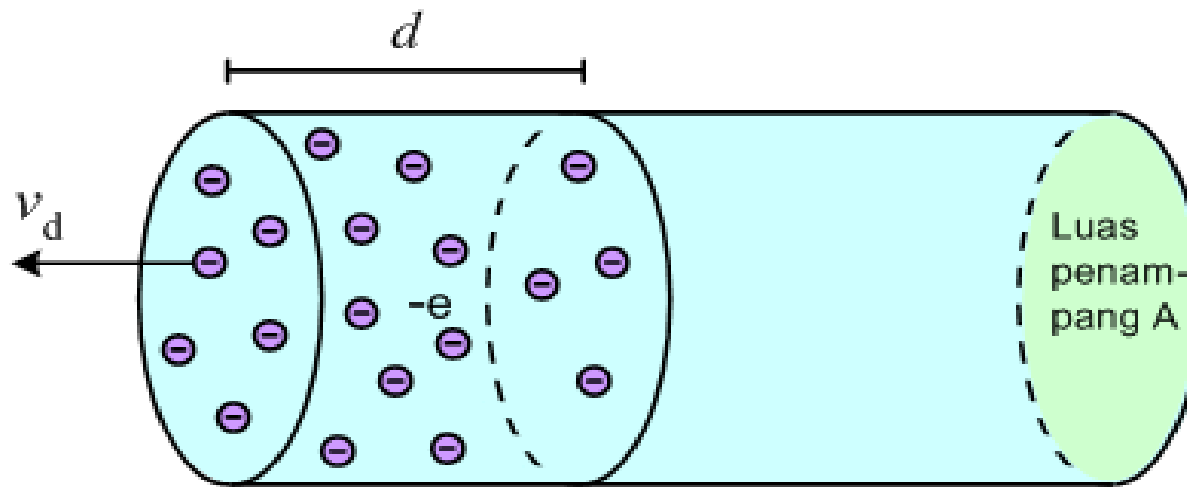
$$i = \frac{dq}{dt}$$

Satuan: coulomb/sekon (C/s) = ampere (A)



# Tinjauan Mikroskopik

- Arus listrik sebagai gerakan pembawa muatan (*charge carriers*) dengan kecepatan hanyut (*drift velocity*) tertentu.
- Pembawa muatan:
  - Elektron (seperti dalam konduktor)
  - Elektron dan “Hole” (dalam semikonduktor)



Di sini:

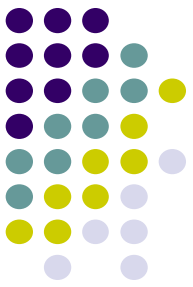
$n$  = rapat muatan (cacah muatan  $e$  per satuan volume)

$Q = nedA$  (muatan total yang bergerak dalam konduktor sejauh  $d$  dan luas penampang  $A$ )

$v_d$  = kecepatan hanyut pembawa muatan

Arus listrik : 
$$i = \frac{Q}{t} = \frac{nedA}{d/v_d} \Rightarrow$$

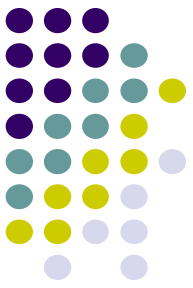
$$i = nev_d A$$



# Kesepakatan Arah Arus Listrik

- Elektron sebagai pembawa muatan yang menimbulkan arus dalam konduktor (seperti kawat)
- Disepakati: arah arus listrik seperti jika pembawa muatannya adalah muatan positif (berlawanan dengan arah hanyut elektron)
  - Arah ini : dari potensial tinggi ke potensial rendah
  - Arah ini : dari energi tinggi ke energi rendah
  - Seperti aliran fluida dari tekanan tinggi ke tekanan rendah

# Rapat Arus (*Current Density*)



- Arus Listrik

- Sifat konduktor (penghantar)
- Kuantitas makroskopik konduktor
- Besaran skalar

- Rapat Arus Listrik (lambang:  $j$  )

- Arus listrik per satuan luas penampang konduktor
- Sifat/ciri suatu titik di dalam konduktor
- Kuantitas mikroskopik konduktor
- Besaran vektor

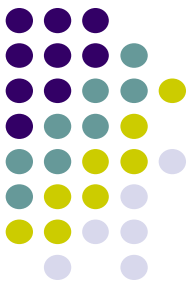
$$j = \frac{i}{A}$$

$$j = nev_d$$

atau

$$i = \int \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

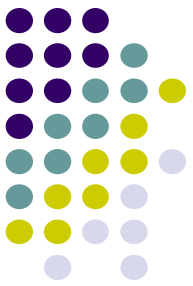
# Rapat Pembawa Muatan (*Density of Charge Carriers*)



- Rapat pembawa muatan ( $n$ ) = rapat muatan  
= cacah muatan per satuan volume
- Perhitungan rapat muatan (rapat elektron bebas) suatu logam unsur tertentu memerlukan informasi tentang:
  - Massa molar unsur ( $M$ )
  - Massa jenis (densitas) unsur ( $\rho$ )
  - Cacah atom per mol  
= bilangan Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  / mol.  
(seringkali diasumsikan: 1 elektron bebas / atom)

$$n = \frac{\rho N_A}{M}$$

# Contoh Soal



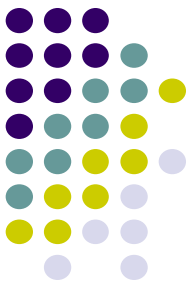
1. Sebuah kawat aluminium dengan diameter 0,25 cm dilas dari ujung ke ujung dengan sebuah kawat tembaga yang berdiameter 0,16 cm. Kawat gabungan ini mengalirkan arus tetap sebesar 10 A. Hitunglah rapat arus dalam:
  - a. Kawat aluminium.
  - b. Kawat tembaga.
2. Hitunglah kecepatan hanyut dalam kawat tembaga pada soal no.1.

Diketahui: massa jenis tembaga =  $8,9 \text{ gr/cm}^3$

massa molar tembaga =  $63,5 \text{ gr/mol}$

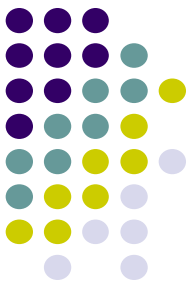


# Apa yang menyebabkan elektron bebas di dalam konduktor mengalir?

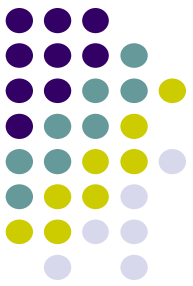


- Antara ujung-ujung konduktor diberi beda potensial atau tegangan  $V$  tertentu; misal: dihubungkan dengan baterai (Analogi aliran air: tekanan fluida diberikan oleh pompa.)
- Akibatnya terdapat medan listrik  $E$  di dalam konduktor, dan elektron bebas mengalami gaya  $F = -eE$  sehingga ia bergerak dan mengalir.
- Jika panjang kawat adalah  $d$ , maka kuat medan listrik di setiap titik di dalam konduktor adalah  $E = V/d$ .

# Resistansi (Hambatan)



- Anggap terdapat tongkat besi dan tongkat tembaga dengan geometri yang sama.
- Jika pada kedua ujung dari masing-masing tongkat ini diberi beda potensial  $V$  yang sama, maka arus listrik  $i$  yang muncul akan berbeda.
- Karakteristik konduktor yang menyebabkan hal ini disebut resistansi (hambatan) listrik.

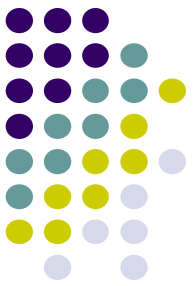


- Resistansi ( $R$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan  $V$  yang digunakan dan arus listrik  $i$  yang muncul:

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

- Satuan: volt/ampere (V/A)  
= ohm ( $\Omega$ ).
- Komponen elektroniknya disebut resistor, dan lambang dalam rangkaian listrik:



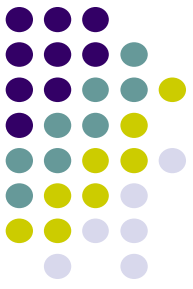


# Resistivitas dan Konduktivitas

- Dua konduktor dari bahan yang berbeda dapat memiliki resistansi yang sama, bergantung pada geometrinya.
- Resistivitas adalah hambatan yang merupakan karakteristik bahan konduktor. Resistivitas disebut pula hambatan jenis.  
→ bahan yang berbeda memiliki resistivitas yang berbeda
- **Resistivitas** (lambang  $\rho$ ) didefinisikan sebagai:

$$\rho = \frac{E}{j}$$

Satuan: ohm · meter =  $\Omega \cdot m$ .



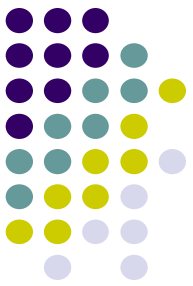
- Jika konduktor bergeometri silinder dengan panjang  $l$  dan luas penampang  $A$  diberi beda potensial  $V$ , sehingga muncul arus  $i$ , maka

$$E = \frac{V}{l} \quad \text{dan} \quad j = \frac{i}{A}$$

dan resistivitas konduktor ini adalah  $\rho = \frac{E}{j} = \frac{V/l}{i/A}$

- Karena  $V/i = R$ , maka diperoleh hubungan resistansi dan resistivitas sebagai:

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



- Konduktivitas listrik ( $\sigma$ ):

→ ukuran kemampuan konduktor menghantarkan arus listrik.

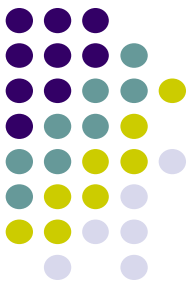
→ merupakan kebalikan dari resistivitas:

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

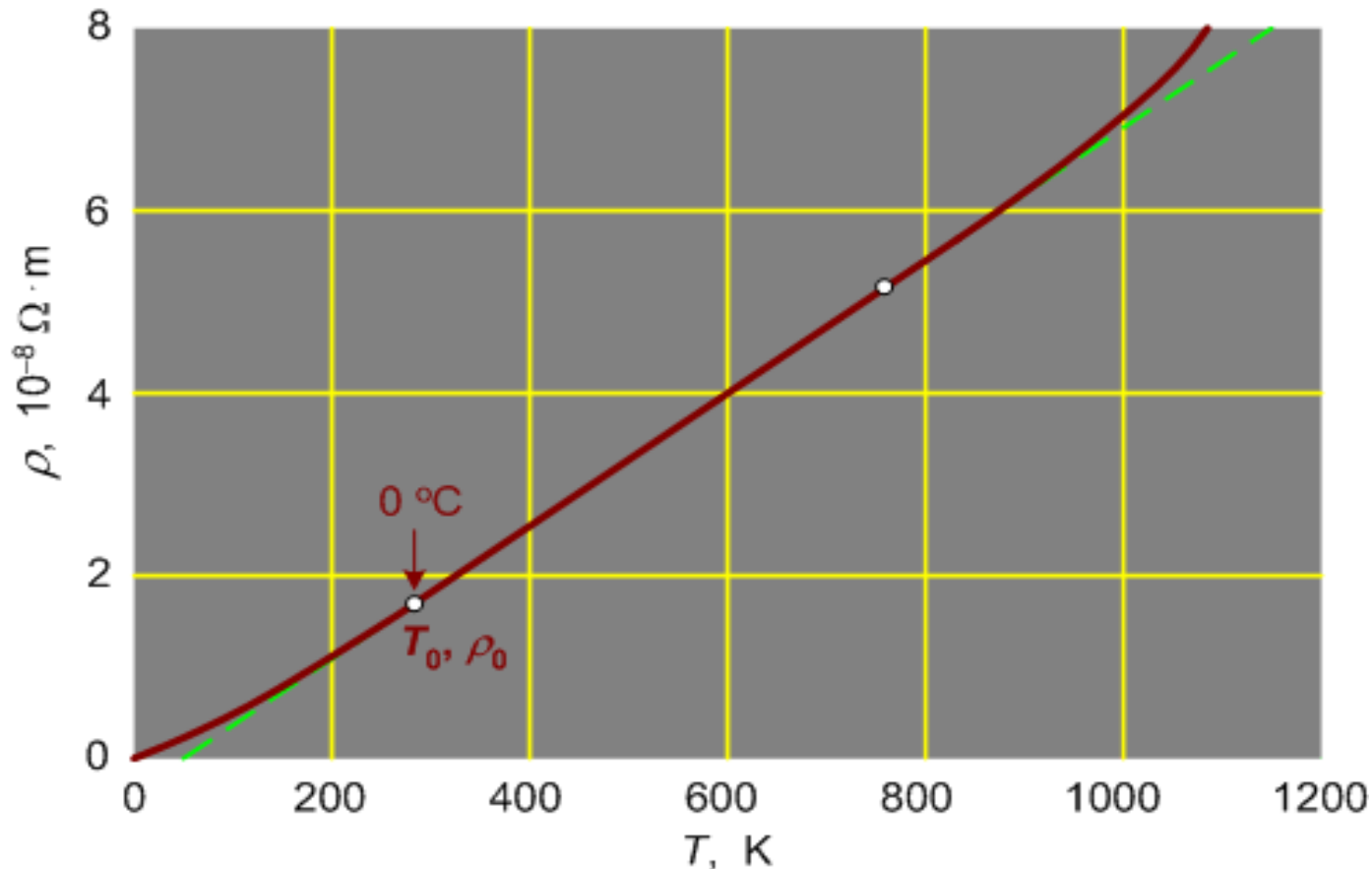
Satuan :  $(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$

- Logam yang memiliki konduktivitas tinggi di antaranya adalah **perak**, **tembaga**, dan **aluminium**.

# Ketergantungan Resistivitas terhadap Suhu

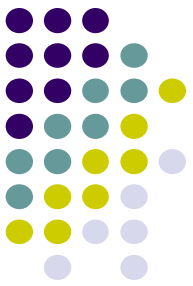


$$\rho = \rho_0 [1 + \bar{\alpha}(T - T_0)]$$



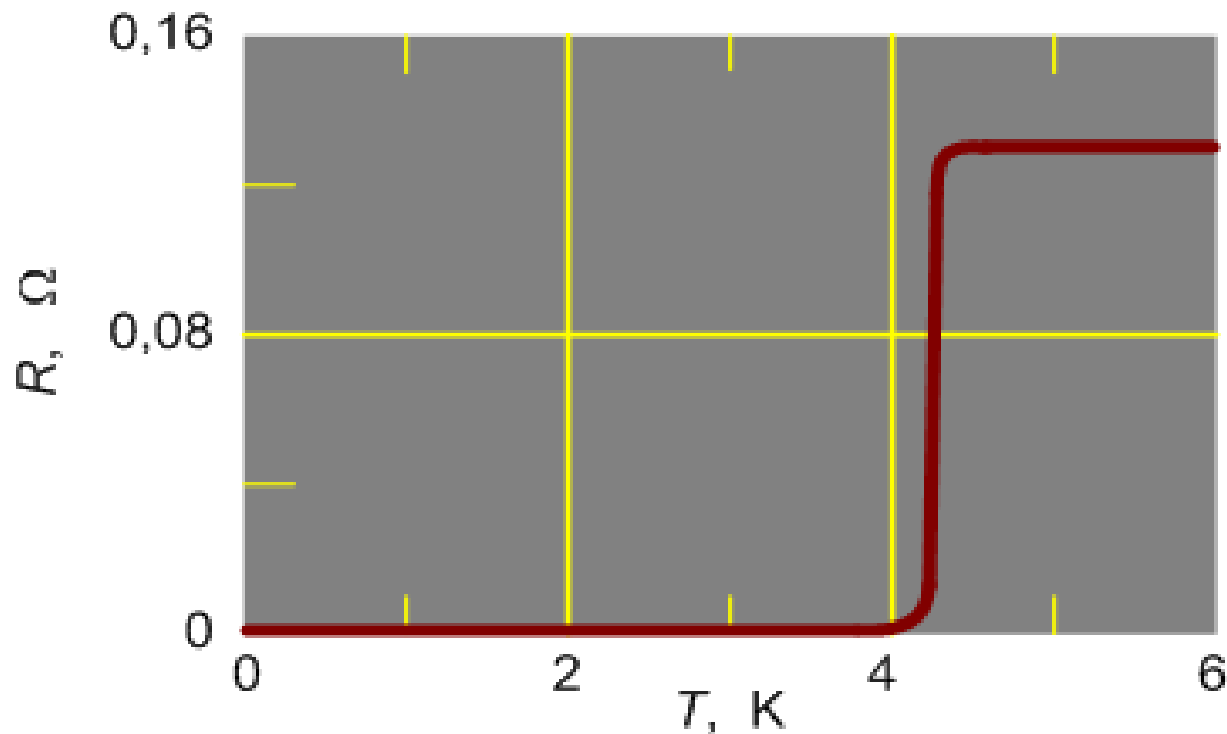
Di sini:

$\bar{\alpha}$  adalah koefisien suhu resistivitas per  $^{\circ}\text{C}$ .



## Pada Suhu yang Sangat Rendah ( $\rightarrow 0$ K)

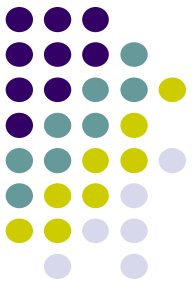
Grafik resistivitas air raksa (Hg) :



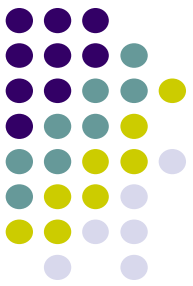
Pada suhu di bawah sekitar 4 K, resistivitas air raksa bernilai nol. Inilah yang dikenal sebagai **superkonduktivitas**.



# Tabel 1. Resistivitas dan Koefisien Suhu Resistivitas beberapa Bahan

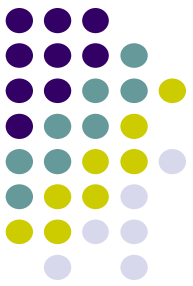


Bahan	Resistivitas pada 20 °C (x 10 <sup>-8</sup> Ω·m)	Koefisien Suhu Resistivitas per °C (x 10 <sup>-5</sup> )
Perak	1,6	380
Tembaga	1,7	390
Aluminium	2,8	390
Tungsten	5,6	450
Besi	10	500
Baja	18	300
Karbon	3500	-50



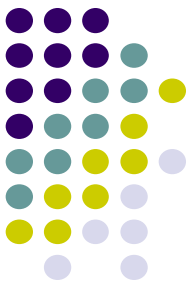
## Contoh Soal

3. Sebuah balok karbon persegi memiliki dimensi 1 cm x 1 cm x 50 cm. Diketahui resistivitas karbon adalah  $3500 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ . Hitunglah resistansi yang diukur antara:
- (a) dua sisi yang berbentuk bujur sangkar yang saling berhadapan,
  - (b) dua sisi yang berbentuk persegi panjang yang saling berhadapan.

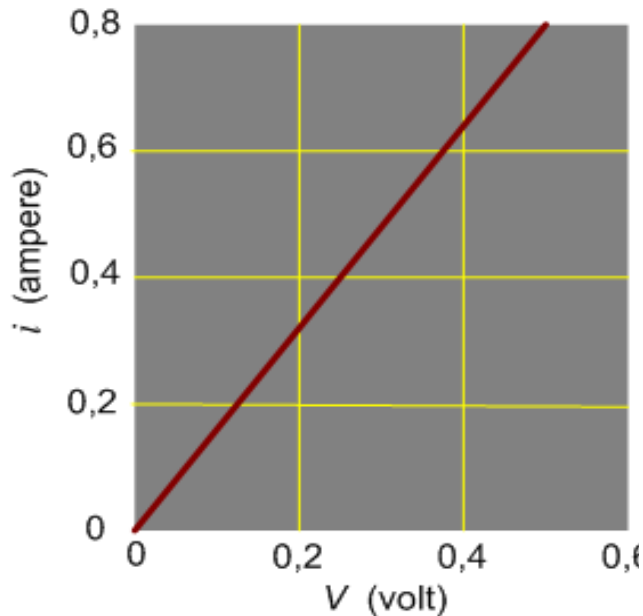


# Hukum Ohm

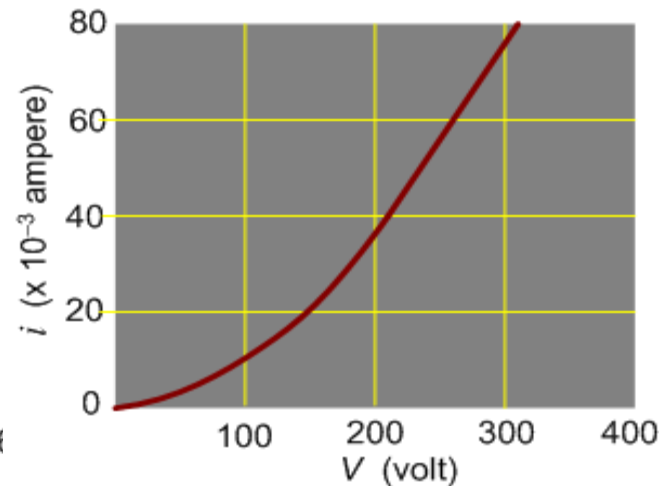
- Resistansi konduktor bernilai konstan, tidak bergantung pada tegangan yang diberikan untuk menghasilkan arus listrik pada konduktor tersebut.
- Hubungan  $V = iR$  bersifat linear, yaitu grafik  $V - i$  berupa garis lurus.
- Banyak konduktor yang tidak mematuhi hukum Ohm, seperti kawat (koil) pada lampu pijar.



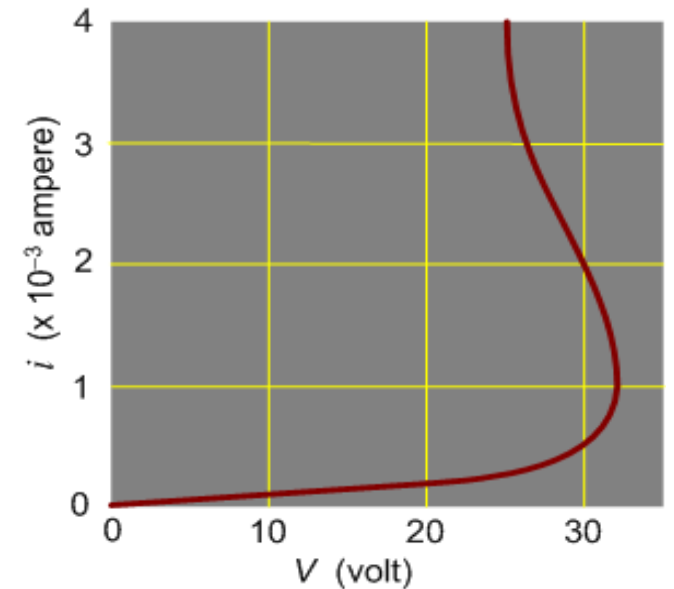
## Beberapa Grafik $V-i$



Hubungan  $V-i$  untuk konduktor tembaga tertentu yang mematuhi hukum Ohm



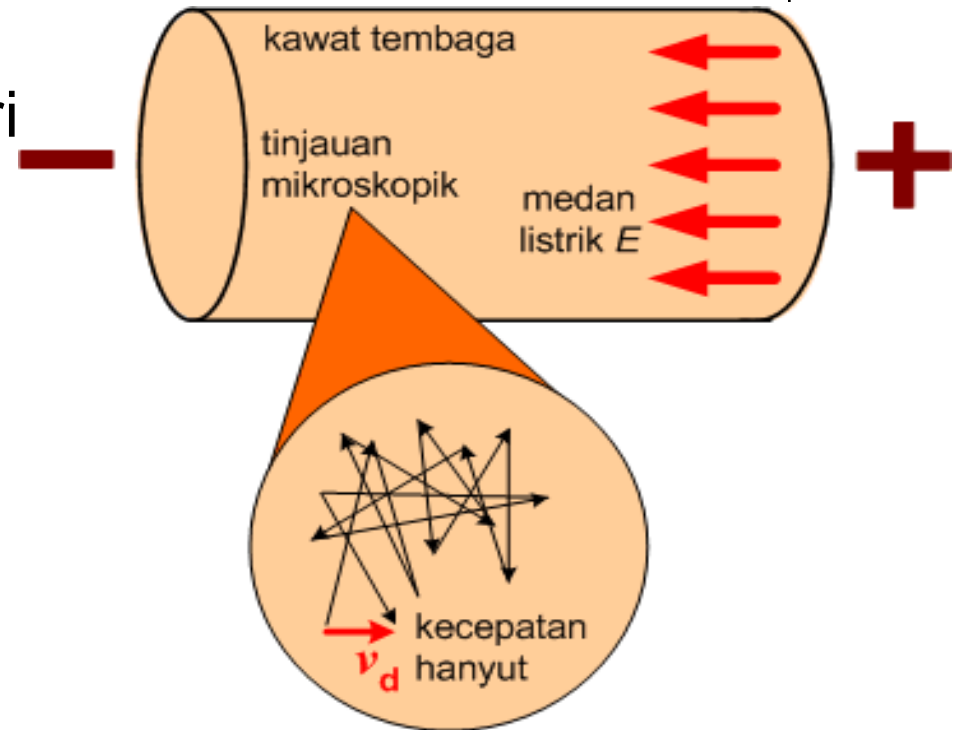
Hubungan  $V-i$  untuk suatu tabung vakum tertentu yang tidak mematuhi hukum Ohm



Hubungan  $V-i$  untuk sebuah termistor tertentu : tidak mematuhi hukum Ohm

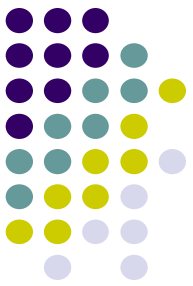
# Tinjauan Mikroskopik Hukum Ohm

- Kecepatan gerak elektron berorde 1 juta m/s.
- Kecepatan transmisi sinyal listrik berorde kecepatan cahaya  $\sim 300$  juga m/s
- Untuk arus biasa, kecepatan hanyut  $v_d$  berorde 1 mm/s.
- $v_d$  ini kecil karena elektron banyak mengalami benturan.
- Dengan  $\tau$  sebagai waktu rerata antara benturan, maka



$$v_d = \frac{j}{ne} = \frac{eE\tau}{m}$$

dengan  $m$  adalah massa elektron.



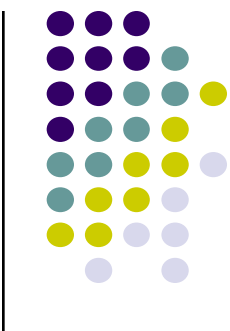
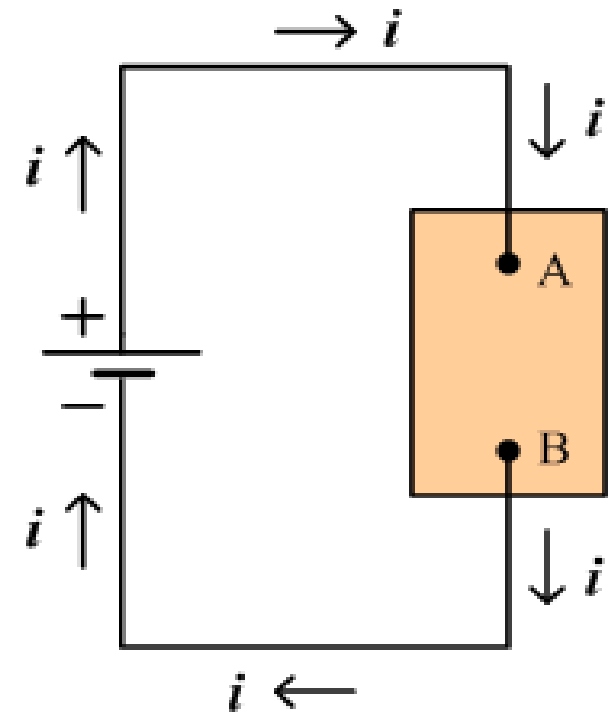
- Dengan demikian, dapat diperoleh:

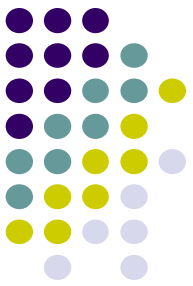
$$\rho = \frac{m}{ne^2} \frac{1}{\tau}$$

- Hukum Ohm berlaku bila  $\tau$  tidak berubah meskipun konduktor dikenai oleh medan  $E$ . Hal ini adalah mungkin bila dilihat bahwa  $v_d \ll \ll$  kecepatan gerak elektron.
- Jadi,  $\rho$  tidak bergantung pada  $E$ , dan berarti bahan mematuhi hukum Ohm.

# Transfer Energi pada Rangkaian Listrik

- Pada rangkaian di samping, sebuah batere dihubungkan dengan “kotak hitam”, dengan  $V_{AB}$  adalah beda potensial antara A dan B.
- Kotak hitam dapat berisi beban seperti resistor (hambatan), motor, atau aki.
- Jika muatan  $dq$  mengalir dari A ke B, maka energi potensial muatan ini berkurang sebesar  $dq \cdot V_{AB}$ .





- “Kehilangan” energi ini ditransfer ke dalam kotak menjadi energi dalam wujud lain.
  - Kotak  $\equiv$  resistor  $\Rightarrow$  muncul energi panas (kalor).
  - Kotak  $\equiv$  motor  $\Rightarrow$  muncul energi kinetik.
  - Kotak  $\equiv$  aki  $\Rightarrow$  muncul energi potensial (tersimpan).

- Dalam waktu  $dt$ , banyaknya energi yang ditransfer:

$$dU = dq \cdot V_{AB} = i dt V_{AB}$$

- Daya (laju transfer energi):

$$P = \frac{dU}{dt} = i V_{AB}$$

- Karena  $V = iR$ , maka

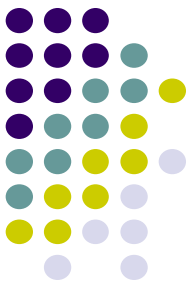
$$P = i^2 R$$

atau

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Satuan: volt.ampere  
= joule/sekon = watt (W)





## Contoh Soal

4. Sebuah pemanas dengan daya 1250 W dibuat untuk beroperasi pada tegangan 115 V.
- (a) Berapakah arus yang akan mengalir dalam pemanas tersebut?
  - (b) Berapakah resistansi koil pemanas?
  - (c) Berapa kilokalori (kcal) energi yang dihasilkan oleh pemanas tersebut selama 1 jam?