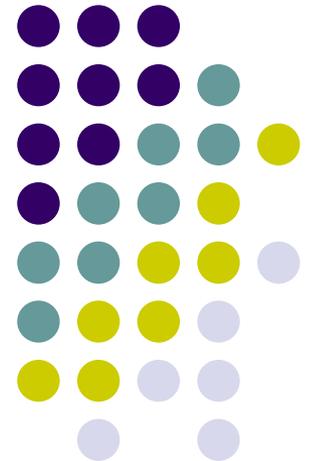


Tegangan Gerak Listrik dan Kaidah Kirchhoff

Kuliah Fisika Dasar II
TIP, TP, UGM 2009

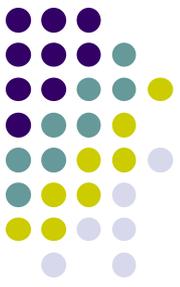
Ikhsan Setiawan, M.Si.
Jurusan Fisika FMIPA UGM
ikhsan_s@ugm.ac.id



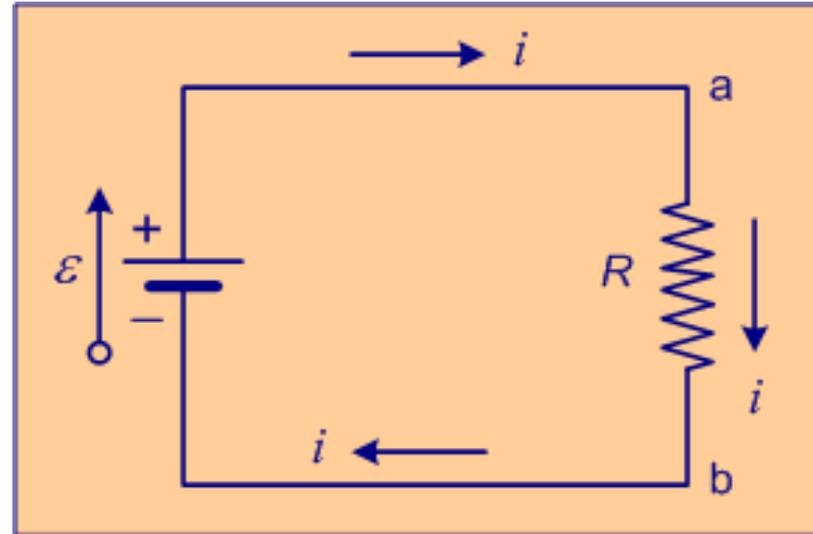


Tegangan Gerak Listrik (TGL)

- TGL secara tradisional disebut *electromotive force* (emf).
- TGL merupakan tegangan, bukan gaya.
- TGL adalah tegangan yang dibangkitkan oleh suatu alat yang dapat mempertahankan beda potensial (antara ujung-ujungnya).
- Alat penghasil TGL, seperti baterai dan generator listrik, disebut juga: tempat kedudukan TGL. Lambang yang biasa digunakan : \mathcal{E} .



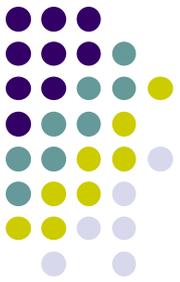
- Gambar: sebuah baterai dengan TGL ε dihubungkan dengan sebuah resistor dengan resistansi R , arus i mengalir dalam rangkaian.



- Baterai melakukan kerja dW untuk mengangkut muatan positif dq dari potensial rendah (-) ke potensial tinggi (+) di dalam baterai tersebut.

- TGL ε baterai ini didefinisikan sebagai :
Satuannya: joule/coulomb (J/C)
= volt (V)

$$\varepsilon = \frac{dW}{dq}$$

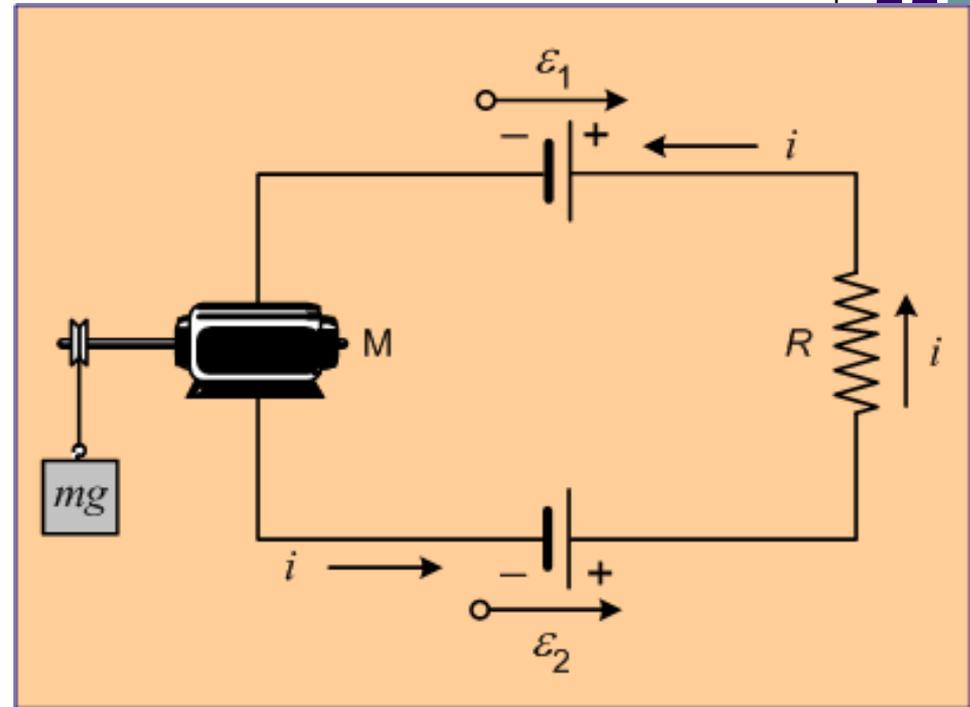


Transfer Energi oleh TGL

- Saat tempat kedudukan TGL melakukan kerja, maka energi dipindahkan darinya, menjadi energi listrik (Batere: energi kimia → energi listrik)
- Saat kerja dilakukan kepada tempat kedudukan TGL, maka energi dipindahkan kepadanya (disimpan), seperti pada saat pengisian aki.
- Energi yang dipindahkan dari batere dapat muncul sebagai energi termal (Joule) dalam resistor R .

- Rangkaian pada gambar di samping terdiri dari:

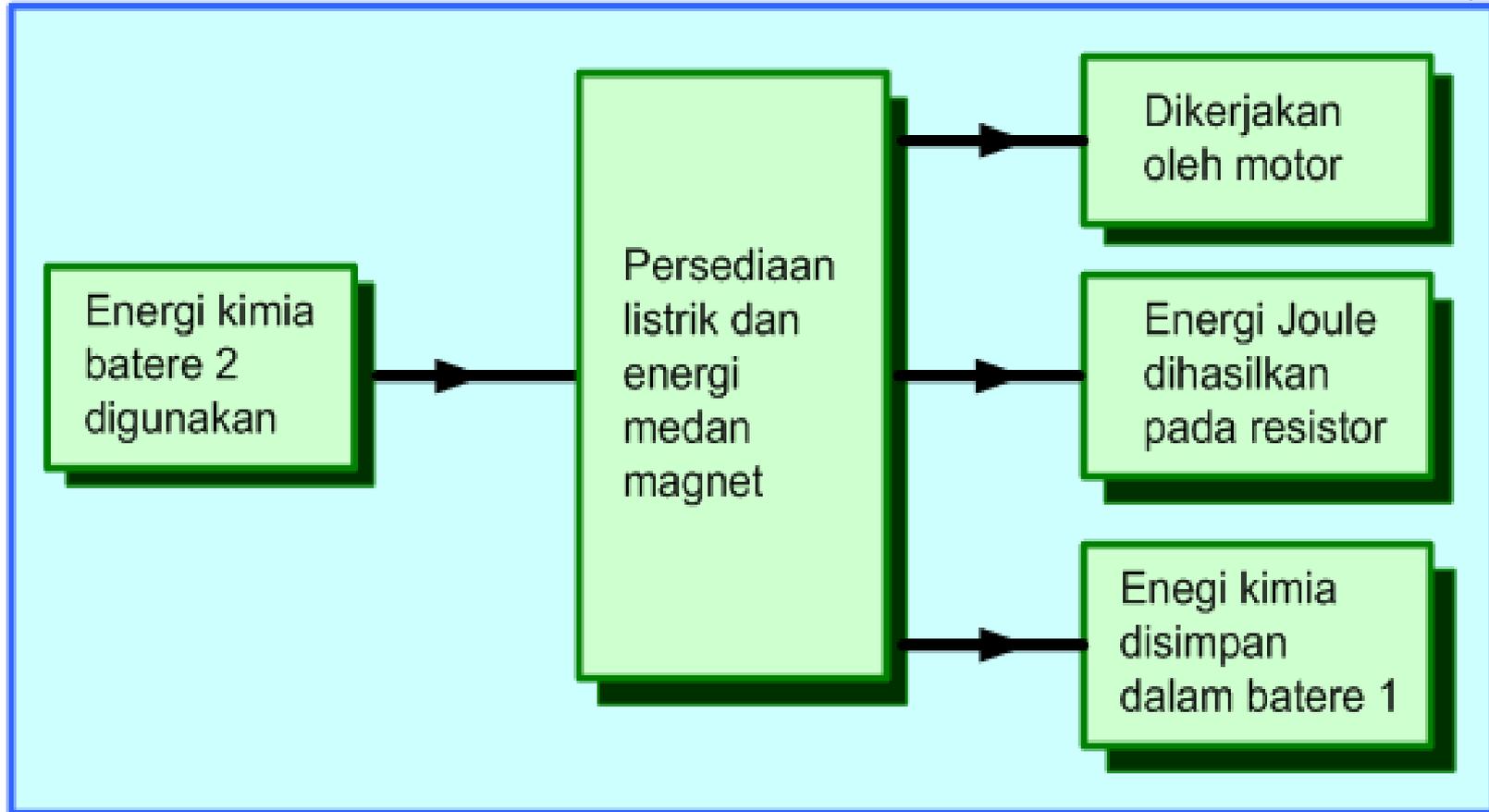
- Baterai 1 dengan TGL \mathcal{E}_1
- Baterai 2 dengan TGL $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$
- Resistor dengan resistansi R
- Motor M (mengangkat mg)



- Karena $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ maka arus mengalir dalam arah seperti pada gambar.
- Transfer energi dari baterai 2 terjadi ke dalam 3 macam bentuk (lihat bagan berikut).

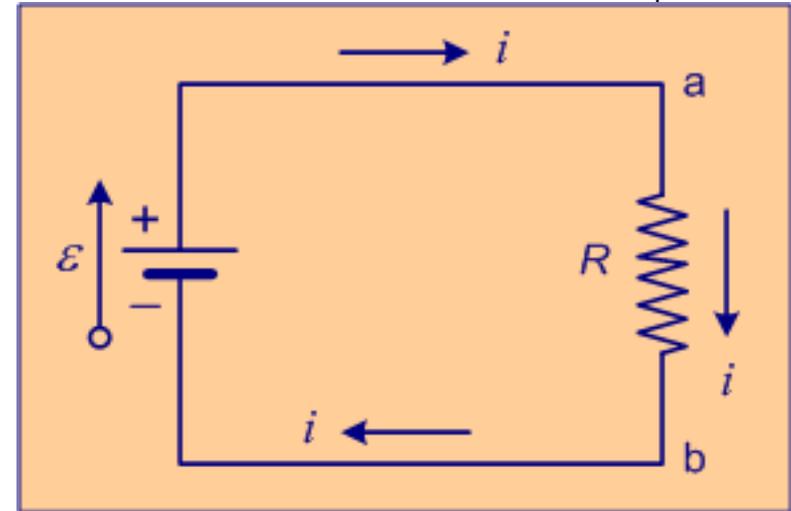


Transfer energinya:



Menghitung Arus Listrik

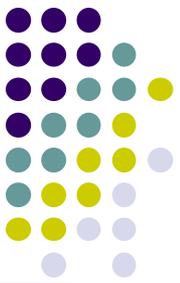
- Dalam selang waktu dt , energi sebesar $dW = i^2 R dt$ muncul di dalam resistor dengan resistansi R sebagai energi termal (panas).
- Dalam selang waktu dt ini, muatan sebesar dq bergerak melalui TGL \mathcal{E}
 \Rightarrow TGL melakukan kerja sebesar $dW = \mathcal{E} dq = \mathcal{E} i dt$.



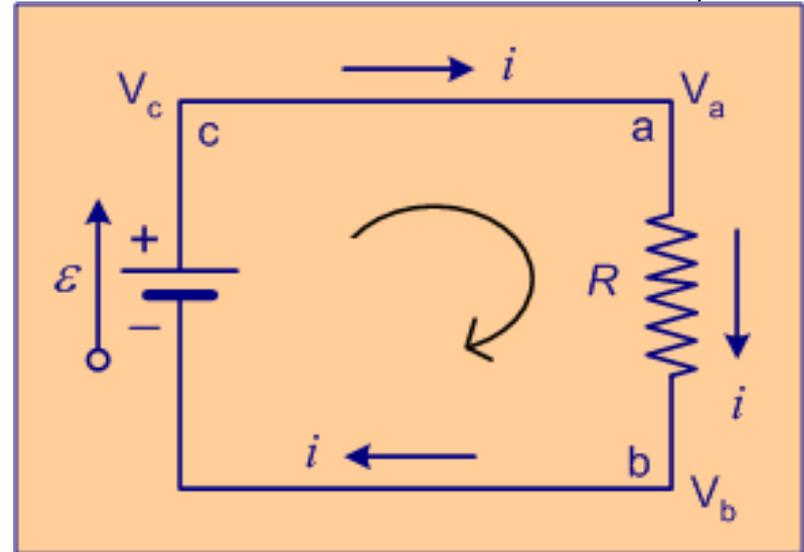
Dari kedua persamaan ini, dapat diperoleh besar arus listrik:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Teorema Simpal (*Loop Theorem*) = Kaidah Kedua Kirchhoff



- “Jumlahan aljabar dari perubahan-perubahan potensial yang ditemukan dalam sebuah lintasan tertutup dari suatu titik ke titik itu lagi dalam suatu rangkaian listrik haruslah sama dengan nol”.
- Ingat: arus mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah



Dimulai dari titik a dengan potensial V_a (searah putaran jarum jam kembali ke titik a) :

$$V_a - iR + \varepsilon = V_a$$

atau

$$-iR + \varepsilon = 0$$



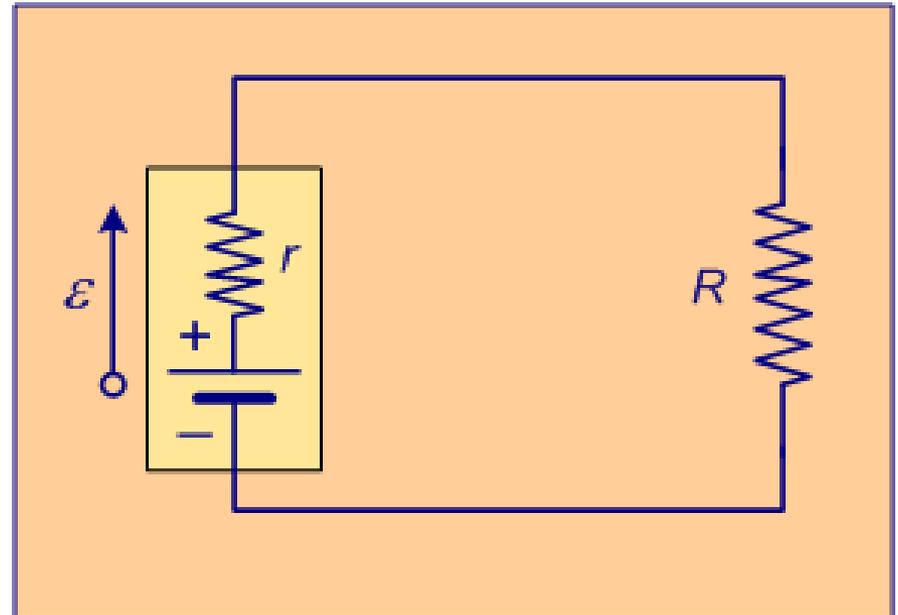
- Jika arah arus belum diketahui, maka kita boleh menentukan arah arus sementara dalam rangkaian. Jika nantinya melalui perhitungan diperoleh arus yang negatif, maka arah arus yang benar adalah arah yang berlawanan dengan arah arus yang telah kita tentukan tadi.
- Arah putaran simpal juga boleh dipilih sembarang.
- Jika resistor dilintasi simpal dalam arah arus, maka perubahan potensial bernilai negatif ($-iR$) — karena mengalami penurunan potensial; dan sebaliknya.
- Jika tempat kedudukan TGE dilintasi dalam arah TGE, maka perubahan potensial bernilai positif ($+\mathcal{E}$) — karena mengalami kenaikan potensial; dan sebaliknya.



Contoh Soal 1

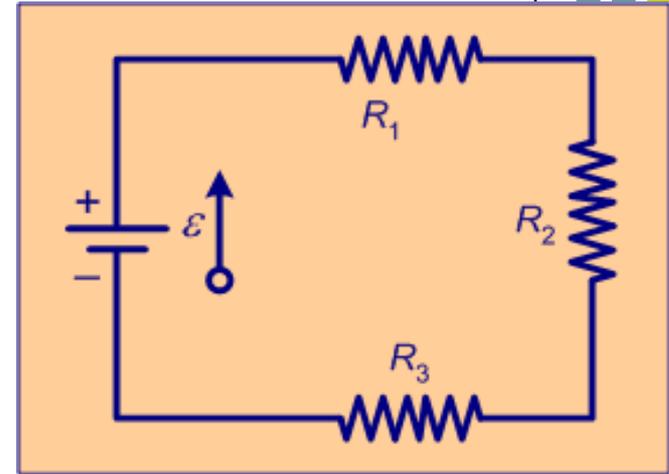
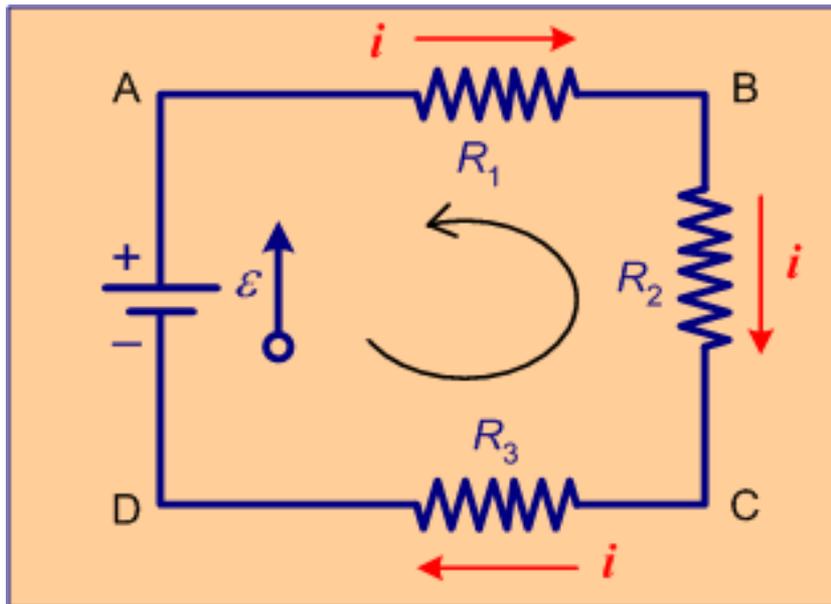
- Sebuah sumber tegangan dengan TGL sebesar ε dan resistansi internal (hambatan dalam) r dihubungkan dengan sebuah resistor dengan resistansi R seperti pada gambar di bawah.

Dengan menggunakan kaidah kedua Kirchhoff, tentukanlah arus listrik i yang mengalir dalam rangkaian ini.



Hambatan disusun Seri

- Rangkaian pada gambar di samping dianalisis dengan teorema simpal (kaidah kedua Kirchhoff).
- Anggap arah putaran simpal seperti pada gambar berikut (arah arus sudah jelas), dan dimulai dari titik D.



- Dengan demikian:

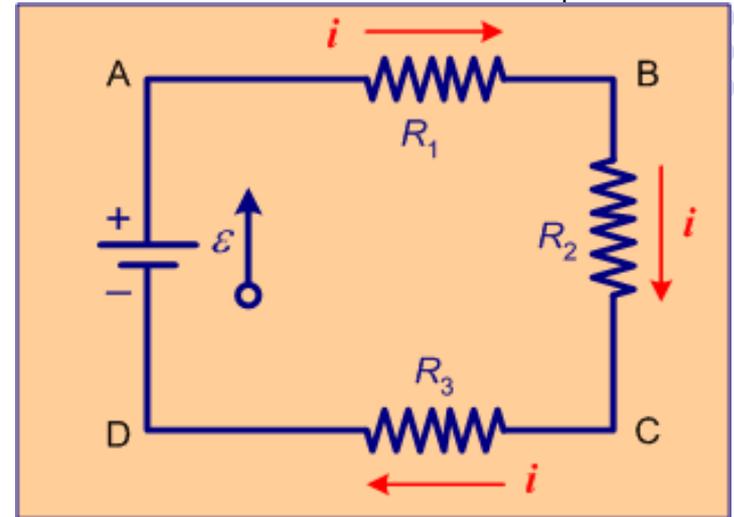
$$i R_3 + i R_2 + i R_1 - \varepsilon = 0$$
$$\Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\varepsilon}{R_s}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Menghitung Beda Potensial



- Pada rangkaian di samping, berapakah beda potensial V_{AB} antara titik-titik A dan B? Berapa beda potensial V_{AC} antara titik-titik A dan C?
($V_{AB} = V_A - V_B$; $V_{AC} = V_A - V_C$)



- Menghitung V_{AB} :
Kita bergerak dari A ke B
(sebaliknya juga boleh):

$$V_A - i R_1 = V_B$$

$$\Rightarrow V_{AB} = V_A - V_B = i R_1$$

- Menghitung V_{AC} :
Kita bergerak dari A ke C:

$$V_A - i R_1 - i R_2 = V_C$$

$$\Rightarrow V_{AC} = V_A - V_C = i R_1 + i R_2$$

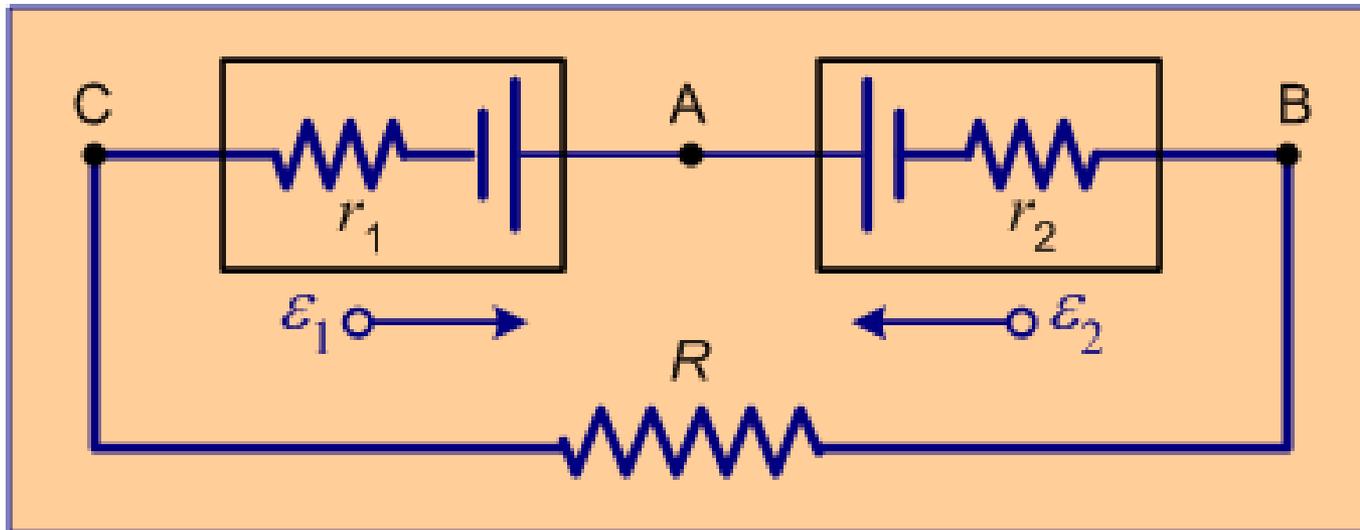
$$\Rightarrow V_{AC} = i (R_1 + R_2)$$

Contoh Soal 2

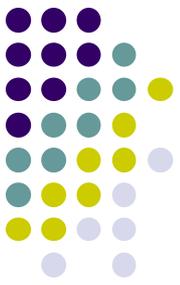
Pada rangkaian seperti pada gambar di bawah ini, $\varepsilon_1 = 2 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 4 \text{ V}$, $r_1 = 1 \Omega$, $r_2 = 2 \Omega$, dan $R = 5 \Omega$.

Tentukan:

- Besar dan arah arus listrik dalam rangkaian.
- Beda potensial antara titik A dan titik B.
- Beda potensial antara titik A dan titik C.
- Apakah $V_B > V_C$ atau $V_B < V_C$? Tunjukkan.



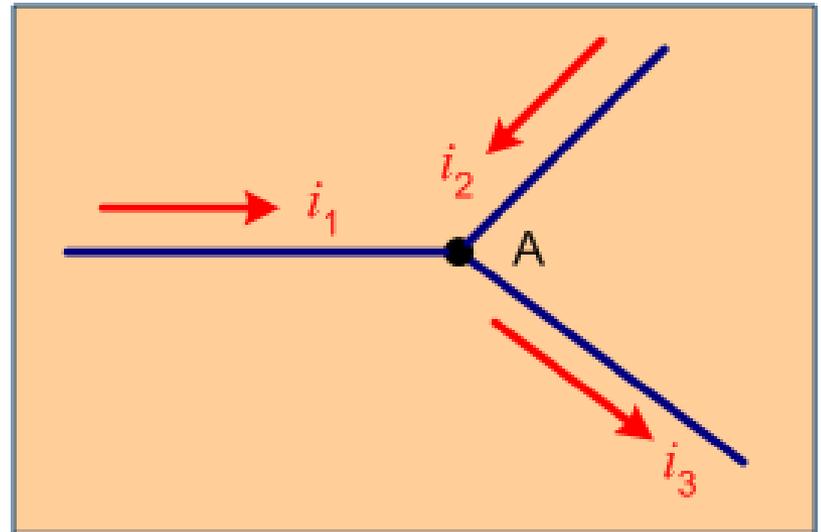
Teorema Sambungan (*Junction Theorem*) = Kaidah Pertama Kirchhoff



“Pada setiap sambungan dalam rangkaian listrik, jumlah aljabar dari arus-arus listrik haruslah sama dengan nol”.

Pada gambar bagian rangkaian di samping, pada sambungan di titik A berlaku:

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$



Arus yang menuju sambungan diberi nilai positif (+), sedangkan arus yang meninggalkan sambungan diberi nilai negatif (-) .

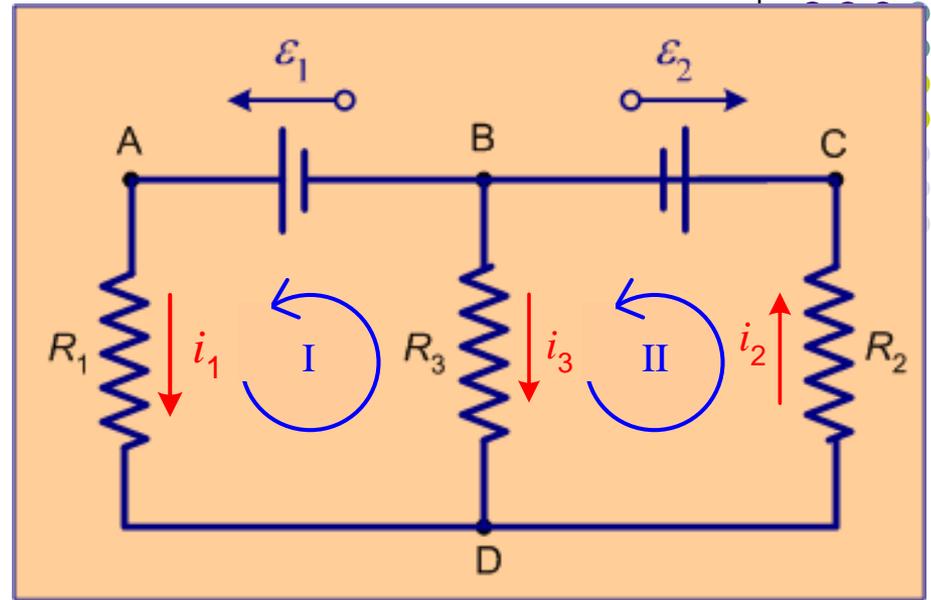
- Rangkaian pada gambar di samping akan dianalisis.

- Langkah 1: Tentukan arah arus i_1 , i_2 , dan i_3 secara sembarang.

- Langkah 2: Gunakan teorema sambungan pada titik D misalnya, maka:

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0 \dots\dots\dots (1)$$

- Langkah 3: Pilih simpal I dan simpal II serta arah putarannya secara sembarang.



- Langkah 4: Gunakan Teorema simpal pada simpal I:

$$\varepsilon_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

- Langkah 5: Gunakan Teorema simpal pada simpal II:

$$- \varepsilon_2 - i_3 R_3 - i_2 R_2 = 0 \dots\dots\dots (3)$$



- Langkah 6: Mengolah ketiga persamaan tadi, sehingga dapat diperoleh hasil-hasil sbb:

$$i_1 = \frac{\varepsilon_1(R_2 + R_3) - \varepsilon_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$i_2 = \frac{-\varepsilon_2(R_1 + R_3) + \varepsilon_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$i_3 = \frac{-\varepsilon_1 R_2 - \varepsilon_2 R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

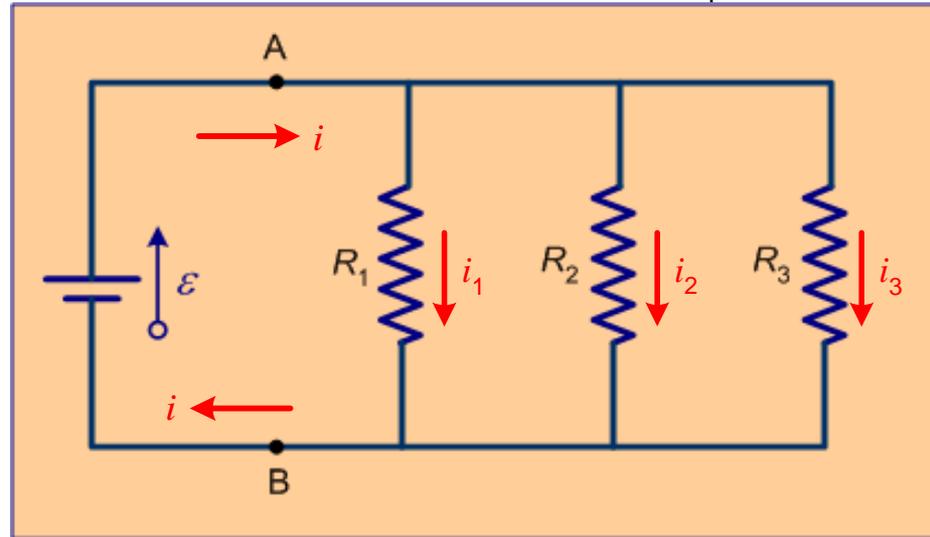
Silahkan dibuktikan... 😊

Catatan: Bila diperoleh arus yang bernilai negatif, maka berarti arah arus yang benar adalah berlawanan dengan arah arus yang telah ditentukan sebelumnya.



Hambatan disusun Paralel

- Rangkaian pada gambar di samping akan dianalisis. Berapakah arus i yang melewati titik A?
- Beda potensial antara A dan B adalah \mathcal{E} , yang juga merupakan beda potensial antara ujung-ujung masing-masing resistor.
- Arus listrik yang melalui masing-masing cabang adalah



Jadi, arus i , yaitu $i = i_1 + i_2 + i_3$ adalah

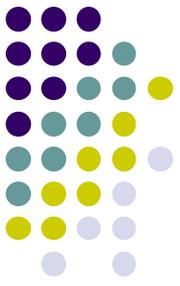
$$i = \mathcal{E} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{\mathcal{E}}{R_p}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$i_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{\mathcal{E}}{R_3}$$



Contoh Soal 3

Pada rangkaian seperti dalam gambar di bawah ini:

$\mathcal{E}_1 = 3 \text{ V}$, $\mathcal{E}_2 = 1 \text{ V}$, $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, dan $R_3 = 4 \Omega$.

Hitunglah:

(a) Daya termal dalam masing-masing resistor R_1 , R_2 , dan R_3 .

(a) Daya yang diberikan oleh masing-masing TGL \mathcal{E}_1 dan \mathcal{E}_2 .

