

MATA KULIAH : FISIKA DASAR II
KODE MK : EL-122
Dosen : Dr. Budi Mulyanti, MSi

Pertemuan ke-5

CAKUPAN MATERI

1. RESISTANSI DAN HUKUM OHM
2. RANGKAIAN LISTRIK SEDERHANA
3. DAYA LISTRIK DAN EFISIENSI JARINGAN

SUMBER-SUMBER:

1. Frederick Bueche & David L. Wallach, Technical Physics, 1994, New York, John Wiley & Sons, Inc
2. Tipler, Fisika Untuk sains dan Teknik (terjemah oleh Bambang Soegijono), Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991
3. Gancoli Douglas C, Fisika 2 (terjemah), 2001, Penerbit Erlangga, Edisi 5.
4. Sears & Zemansky, Fisika Untuk Universitas 3 (Optika & Fisika Modern), 1991, Jakarta-New York, Yayasan Dana Buku Indonesia
5. Frederick J. Bueche, Seri Buku Schaum Fisika, 1989, Jakarta, Penerbit Erlangga
6. Halliday & Resnick, Fisika 2, 1990, Jakarta, Penerbit Erlangga
7. Sutrisno, Seri Fisika Dasar (Fisika Modern), 1989, Bandung, Penerbit ITB

ELEMEN RANGKAIAN LISTRIK

2.3. HAMBATAN DAN HUKUM OHM

Kita telah mengenal $\vec{E} = \rho \vec{J}$

Namun karena tidak ada alat yang dapat mengukur \vec{E} dan \vec{J} , maka kedua ruas dikalikan dengan unsur panjang konduktor $d\vec{\ell}$ dan kemudian diintegrasikan :

$$\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int_a^b \rho \vec{J} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\int_{a=0}^{b=L} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int_{a=0}^{b=L} \rho \vec{J} \cdot d\vec{\ell}, \text{ karena } \vec{J} \parallel d\vec{\ell}, \text{ maka: } \vec{J} \cdot d\vec{\ell} = J dl = \frac{I}{A} dl$$

Sehingga:
$$\int_{a=0}^{b=L} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = I \int_{a=0}^{b=L} \frac{\rho}{A} dl$$

Untuk kawat homogen sepanjang L, maka persamaan di atas menjadi : $V = I R$

Dengan demikian resistansi/hambatan didefinisikan sebagai:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\text{beda - potensial}}{\text{arus}}$$

Hambatan suatu kawat atau benda lain, menentukan besarnya beda potensial yang harus ada di antara kedua ujungnya agar arus mengalir dalam kawat.

satuan $V/A = \Omega$

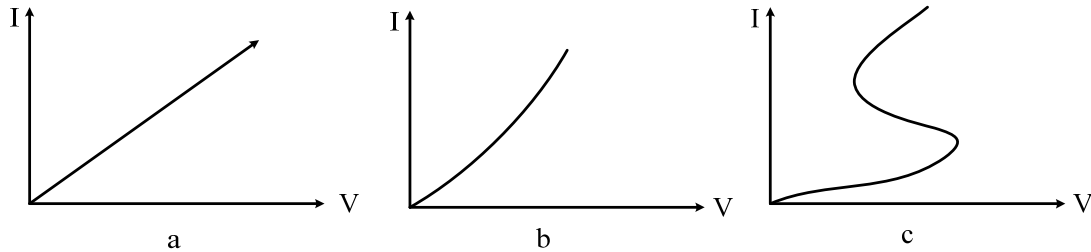
Hukum OHM

Hubungan $V=IR$ dikatakan memenuhi hukum Ohm, jika besar R tidak bergantung V atau I (R konstan). Hambatan suatu resistor dapat diketahui, jika beda potensial telah diukur dengan voltmeter (berhambatan tinggi) yang diletakkan paralel dan arus listrik diukur dengan amperemeter (bertahanan rendah) yang diletakkan seri.

Jadi sebenarnya hubungan $V = IR$ bukanlah pernyataan hukum ohm. Ini merupakan pernyataan umum. Sebuah konduktor dikatakan memenuhi hukum ohm jika $R = \frac{V}{I}$ berharga konstan, artinya tidak bergantung V dan I .

Atau $\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{J}}$ konstan, ρ tidak bergantung \vec{E} dan \vec{J} .

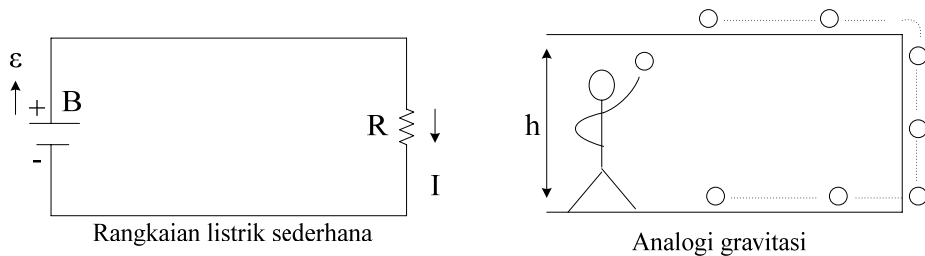
Kurva I – V linier :



Gambar. Hubungan I-V, (a) memenuhi hukum Ohm sementara (b) dan (c) tidak memenuhi hukum Ohm

Gaya gerak listrik (ggl) = *electromotive force (emf)*

Suatu alat (misalkan baterai atau generator listrik) yang dapat mempertahankan beda potensial di antara 2 titik disebut *electromotive force (emf)* = gaya gerak listrik. Istilah gaya (*force*) sebenarnya tidak tepat, yang benar adalah tegangan gerak listrik.



Gambar: Analogi rangkaian listrik sederhana dan analogi gravitasi

Keterangan :

- Ggl baterai dihubungkan ke sebuah hambatan R. GGL tersebut mempertahankan terminal atas pos dan terminal bawah (-)
Di luar B, arus yang searah jarum jam dihasilkan

- Sebuah ggl harus mampu melakukan usaha yaitu menggerakkan muatan-muatan positif dari titik dengan potensial rendah (negatif) ke potensial yang lebih tinggi (positif).
- Usaha yang dilakukan oleh ggl tersebut adalah dW
- Definisi ggl $\rightarrow \varepsilon = \frac{dW}{dq}$, ε adalah usaha persatuan muatan, satuan $\frac{J}{C} = \text{volt}$
- Jadi jika ggl melakukan usaha pada pembawa muatan, maka energi harus dipindahkan ke ggl tersebut, dimana kemudian energi diubah menjadi usaha oleh ggl. Misalnya dalam baterai, energi kimia diubah menjadi energi listrik dan menjadi energi thermal dalam tahanan R. Jika baterai B tidak dimuati maka aliran arus akan berhenti.

Analogi Gravitasi :

Energi kimia pada orang diubah menjadi energi potensial gravitasi, yaitu dengan mengangkat bola-bola berguling-guling dan masuk silinder yang berisi fluida, menyebabkan energi thermal di dalam fluida sehingga temponya naik. Jika orang tersebut tidak makan atau tidak ada tambahan energi, maka aliran bola-bola tersebut akan berhenti.

Usaha yang Dilakukan ggl

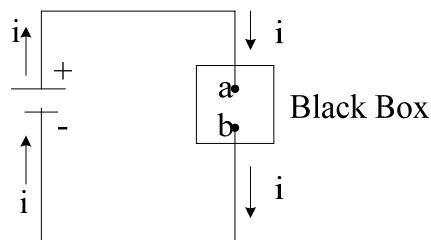
Di dalam waktu dt , jumlah energi yang diberikan adalah $I^2 R dt \dots (i)$, dimana energi tersebut muncul dalam hambatan R sebagai energi thermal. Dalam waktu yang sama sebuah muatan dq bergerak, sehingga dikatakan ggl melakukan usaha $dW = \varepsilon dq = \varepsilon I dt \dots (ii)$

Dari persamaan (i) dan (ii)

$$I^2 R dt = \varepsilon I dt$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \leftarrow \text{hubungan antara arus dengan ggl.}$$

Perpindahan Energi Dalam Rangkaian Listrik



Gambar: Aliran energi dalam rangkaian listrik

Sebuah baterai B menimbulkan arus di dalam rangkaian yang mengandung ‘black box’ yang tidak diketahui isinya (misalnya: hambatan, baterai, dan lain-lain). (Beda potensial dibuat tetap diantara terminal a dan b). Terminal a dihubungkan dengan terminal baterai pos. jika muatan dq bergerak dari a ke b melalui kotak, maka muatan ini akan mengurangi energi potensial listrik sebesar $V_{ab} dq$. Dalam waktu dt maka energi dU yang dipindahkan di dalam kotak adalah:

$$dU = dqV_{ab} = IdtV_{ab}$$

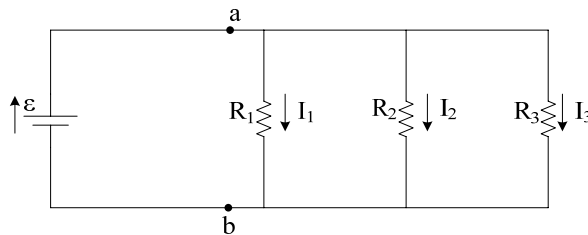
Daya: kecepatan / laju perpindahan energi :

$$P = \frac{dU}{dt} = IV_{ab}$$

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

2.4 RANGKAIAN LISTRIK SEDERHANA

Hambatan yang Disusun Paralel



Tiga hambatan R_1 . R_2 . R_3 disusun // di antara terminal a dan b

Arus-arus di ketiga cabang : $I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1}$; $I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$ dan $I_3 =$

Arus total $I = I_1 + I_2 + I_3$

$$= V_{ab} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Jadi $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

Hambatan equivalent < setiap hambatan yang menyusunnya.

Contoh Penyelesaian soal (Sears Bab 29)

1. Buktikan bahwa bila resistor R_1 dan R_2 dihubungkan secara paralel, maka resistor ekivalennya $R//$ selalu lebih kecil dari R_1 atau R_2

Jawab :

$$R_{//} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots \text{pers } *$$

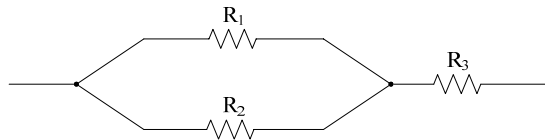
sedang $R_1 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2}\right) R_1 = \frac{R_1 R_2 + R_1^2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots \text{pers } **$

pers ** > pers * karena R_1 & R_2 positif

sedang $R_2 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2}\right) R_2 = \frac{R_1 R_2 + R_2^2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots \text{pers } ***$

pers *** > pers *

2. Perhatikan rangkaian di bawah ini:



Berapa R_3 agar $(R_1 // R_2) + R_3 = R_1$

Jawab :

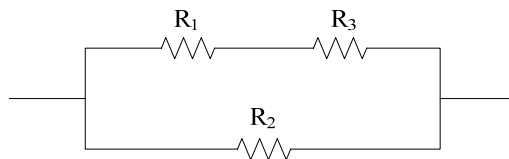
$$(R_1 // R_2) + R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = R_1$$

$$R_3 = R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

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

$$R_3 = \frac{R_1^2}{R_1 + R_2}$$

3. Dari rangkaian di bawah ini:



Hitung R_3 sehingga $R_{ek} = R_1$

Jawab :

$$R_{ek} = (R_1 + R_2) // R_3$$

$$R_{ek} = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{R_1 + R_2 + R_3}{(R_1 + R_2)R_3}}$$

$$R_{ek} = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{ek} = R_1$$

Maka :

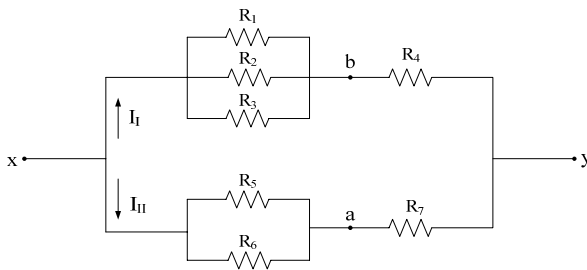
$$\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3)R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_2R_3 = R_1^2 + R_1R_2$$

$$R_3 = \frac{R_1^2 + R_1R_2}{R_2}$$

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2}(R_1 + R_2)$$

4. Dari rangkaian berikut ini, carilah harga: a) R_{ek} b) V_{ay}



Jika diketahui:

$$R_1 = 8 \Omega$$

$$R_5 = 9 \Omega$$

$$R_2 = 6 \Omega$$

$$R_6 = 18 \Omega$$

$$R_3 = 16 \Omega$$

$$R_7 = 6 \Omega$$

$$R_4 = 20 \Omega$$

$$I_1 = 0,5 \text{ A}$$

Jawab :

(a) Menghitung R_{ek}

$$R_{ek}(\text{atas}) = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} + R_4 = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16}} + 20$$

$$R_{ek}(\text{atas}) = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{16}} + 20$$

$$R_{ek}(\text{atas}) = \mathbf{24 \Omega}$$

$$R_{ek}(\text{bawah}) = \frac{1}{\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}} + R_7$$

$$R_{ek}(\text{bawah}) = \frac{1}{\frac{1}{9} + \frac{1}{18}} + 6$$

$$R_{ek}(\text{bawah}) = \frac{1}{\frac{1}{18}} + 6$$

$$R_{ek}(\text{bawah}) = \mathbf{12 \Omega}$$

$$R_{ek} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ekl}} + \frac{1}{R_{ekll}}} = \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{1}{12}} = \frac{1}{\frac{3}{24}} = 8 \Omega$$

b) Menghitung V_{ay}

$$V_{xy} = V_{xa} + V_{ay}$$

$$V_{xy} = V_{xb} + V_{by}$$

$$V_{xb} = I_1 R_1 = V_1 = (0,5)(8) = 4 V$$

$$R_{ek}(xb) = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16}} = 4 \Omega$$

Sehingga arus I_4 yang melewati $R_4 \rightarrow I_4 = 1 A$

$$\diamond V_{by} = (I_4)(R_4) = 20 \Omega$$

$$\rightarrow V_{xy} = V_{xb} + V_{by}$$

$$V_{xy} = 4 + 20$$

$$V_{xy} = 24 V$$

sedangkan $V_{xy} = R_{ek}(\text{bawah}) \cdot I_1$

$$I_1 = \frac{24}{12} = 2 A$$

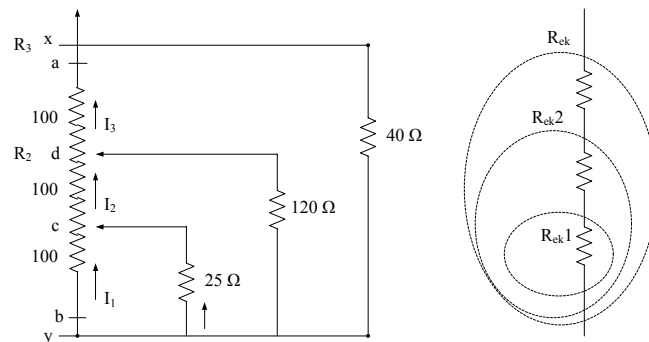
$I_1 = I_7 \rightarrow$ arus yang melewati R_7

$$V_{ay} = (I_7)(R_7)$$

$$V_{ay} = (2)(6)$$

$$V_{ay} = 12 V$$

5. Dari rangkaian di bawah ini diketahui $V_{xy} = 320 V$. Berapakah nilai R_{ek} dan V_{cb} ?



Jawab:

$$R_{ek1} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{25}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{4}{100}} = 20 \Omega$$

$$R_{ek1} + 100 = R_2$$

$$R_2 = 20 + 100 = 120 \Omega$$

$$R_{ek2} = \frac{1}{\frac{1}{120} + \frac{1}{120}} = \frac{1}{\frac{2}{120}} = 60 \Omega$$

$$R_{ek2} + 100 = R_3$$

$$R_3 = 100 + 60 = 160 \Omega$$

$$R_{ek} = \frac{1}{\frac{1}{40} + \frac{1}{160}} = \frac{1}{\frac{4}{160} + \frac{1}{160}} = \frac{160}{5} = 32 \Omega$$

Diketahui $V_{xy} = 320 V$

$$I_3 = \frac{V_{xy}}{R_{ek}} = \frac{320}{160} = 2 A$$

$$V_3 = I_3 R_3 = (2)(100) = 200 V$$

Sedang $V_{dy} = V_{xy} - V_3$

$$V_{dy} = 320 - 200 = 120 V$$

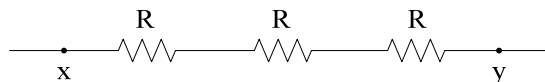
$$I_2 = \frac{V_{dy}}{R_2} = \frac{120}{120} = 1 A$$

$$V_2 = (1)(100) = 100 V$$

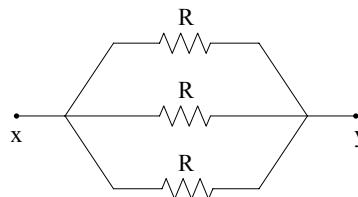
$$V_{cb} = V_{dy} - V_2$$

$$V_{cb} = 120 - 100 = 20 V$$

6. Jika diketahui : $P_{total} = 10 W$ untuk rangkaian seri berikut ini



Maka berapakah nilai P_{total} untuk rangkaian parallel berikut ini?



Jawab :

$$R_{seri} = R + R + R$$

$$R_{seri} = 3R$$

$$P_{tot} = \frac{V_{xy}^2}{3R}$$

$$V_{xy} = \sqrt{30R}$$

$$R_{//} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{R}{3}$$

$$P_{tot} = \frac{V_{xy}^2}{1/3R}$$

$$P_{tot} = \frac{30R}{1/3R}$$

$$P_{tot} = 90 W$$

7. Jika diketahui : $P_{maks} = 2 W$ untuk $R = 10^4 \Omega$, berapakah harga V ?

Jawab :

$$P_{maks} = \frac{V^2}{R}$$

$$V^2 = (P)(R)$$

$$V^2 = 2 \times 10^4$$

$$V = \sqrt{2} \times 10^2 V$$

8. Jika diketahui $R = 2 \times 10^4 \Omega$ dan $V = 300 V$, tentukan harga P maximum.

Jawab :

$$P_{maks} = \frac{V^2}{R} = \frac{(300)^2}{2 \times 10^4}$$

$$P_{maks} = 4,5 W$$

9. Jika kita memiliki 4 buah hambatan yang masing-masing besarnya $R = 10^3 \Omega$ dengan daya sebesar $P = 10 W$. Bagaimana merangkai R agar $V = 200 V$?

Jawab :

$$P_{maks} = \frac{V^2}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(200)^2}{10} = 4000 \Omega$$

Maka harus dirangkai 4 buah R sebesar $10^3 \Omega$ dalam hubungan seri.

2.4 DAYA LISTRIK DAN EFISIENSI JARINGAN (η)

- Energi listrik (dalam J) adalah usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan q (dalam C) melintasi beda potensial V (dalam volt)
- Untuk memindahkan muatan positif melintasi beda potensial $+$, kita harus melakukan usaha (usaha gaya luar) pada muatan tersebut.
- Misalkan potensial $V_B > V_A \rightarrow$ maka untuk memindahkan muatan positif $+q$ dari A ke B diperlukan usaha $W = qV_{BA}$.

- Daya Listrik (dalam watt) yang dihasilkan sumber energi dalam membawa muatan q melintasi potensial naik, dalam waktu t adalah:

$$P = \frac{\text{usaha}}{\text{waktu}} = \frac{qV}{t} = IV \text{ (daya yang hilang dalam hambatan R)}$$

$$\text{atau } P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Tabel Konversi

1 watt	1 joule/s
1 watt	0.239 kal/s
1 kW	1.341 hp
1 hp	746 W
1 kWh	3.6×10^6 J

- Definisi Efisiensi Jaringan : $\eta = \frac{\text{daya yang dihasilkan jaringan}}{\text{daya yang dihantar jaringan}} \times 100\%$

Daya yang dihantar = daya yang dihasilkan + daya yang hilang

- Contoh:

Sebuah jaringan dengan hambatan total 0.2Ω dapat memberi daya 10 kW pada sebuah pabrik kecil dengan tegangan 250 V, hitung efisiensi jaringan!

Jawab: Daya yang hilang $P = I^2 R = \left(\frac{P}{V}\right)^2 R = 320 \text{ W}$

Jadi : $\eta = \frac{10^4}{10^4 + 320} \times 100\% = 97\%$.