

DIRECT CURRENT CIRCUITS (RANGKAIAN ARUS SEARAH)
(Tugas Akhir Elektrodinamika)

Dosen Pengampu:
Dr. Doni Andra, S.Pd., M.Sc.
Dr. I Wayan Distrik, M.Si.



Oleh
Septina Sri Haryanti
2123022010

**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

PEMBAHASAN

A. Rangkaian Listrik Arus Searah

Rangkaian arus searah (DC, direct current) merupakan rangkaian listrik dengan arus stasioner (dalam arti polaritas tetap) yang tidak berubah terhadap waktu. Besaran-besaran utama yang menjadi perhatian dalam listrik arus searah adalah kuat arus (I) dan beda tegangan (V) yang bekerja pada komponen resistif dengan sumber arus/tegangan konstan. Pembahasan dalam rangkaian arus DC berupa analisis rangkaian, yaitu mencari hubungan antar variabel komponen rangkaian dengan menggunakan hukum-hukum dasar tertentu.

Rangkaian listrik arus searah mempelajari tentang muatan yang bergerak sehingga menyebabkan munculnya arus listrik (Giancoli, 2014: 501). Meskipun arus listrik adalah aliran muatan yang bergerak, tetapi tidak semua muatan yang bergerak mengandung arus listrik (Halliday *et al.*, 2010: 139). Arus listrik dapat mengalir dalam suatu rangkaian hanya jika ada jalur penghantar yang berkelanjutan (Giancoli, 2014: 504).



Gambar 1. Rangkaian Listrik Sederhana
(Sumber: Giancoli, 2014: 504)

Rangkaian listrik sederhana dapat berupa sebuah rangkaian yang terdiri dari baterai dengan bola lampu. Baterai bertujuan untuk menghasilkan beda potensial, yang kemudian dapat membuat muatan dapat listrik bergerak. Ketika

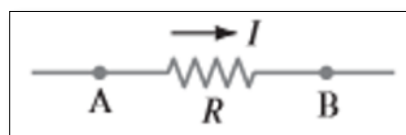
rangkaian terbentuk, muatan listrik dapat mengalir melalui kabel rangkaian, dari satu terminal baterai ke terminal lainnya, selama jalur penghantarnya berkelanjutan, hal ini disebut dengan arus listrik. Secara matematis, persamaan arus listrik dituliskan sebagai berikut (Giancoli, 2014: 504).

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

Berdasarkan persamaan diatas, ΔQ adalah jumlah muatan yang melewati konduktor di setiap posisi selama interval waktu Δt . Besar kuat arus yang mengalir dalam kawat tidak hanya bergantung pada tegangan di antara ujung kawat, tetapi juga bergantung pada hambatan yang ditawarkan pada kawat terhadap aliran elektron. Aliran elektron terhambat karena adanya tumbukan yang terjadi dengan atom-atom kawat. Hambatan listrik (R) didefinisikan sebagai faktor proporsionalitas antara tegangan V (yang terdapat di antara ujung kawat) dan kuat arus I (yang melewati kawat). Hubungan antara hambatan listrik (R), tegangan (V), dan kuat arus (I) dikenal sebagai hukum Ohm dan secara matematis persamaan hukum Ohm dapat dituliskan sebagai berikut (Giancoli, 2014: 504 - 506).

$$V = I \cdot R$$

Berdasarkan Gambar 1, kuat arus (I) memasuki resistor (R) sehingga menghasilkan muatan positif yang selalu mengalir dari kutub (+) ke kutub (–) dan dari potensial tinggi ke potensial rendah. Jika kuat arus (I) adalah arus konvensional (positif), titik A berada pada potensial yang lebih tinggi daripada titik B dan kekekalan muatan mensyaratkan bahwa muatan apa pun yang mengalir ke resistor yang berada di titik A, maka jumlah muatan yang sama keluar di titik B. Jadi arus yang mengalir di titik A dan B sama (Giancoli, 2014: 507).



Gambar 2. Kuat Arus (I) memasuki Resistor (R)
(Sumber: Giancoli, 2014: 507)

Hubungan resistansi (R) dari kawat seragam berbanding lurus dengan panjang penghantar (l) dan berbanding terbalik dengan luas penampang (A). Konstanta proporsionalitas (ρ) disebut dengan resistivitas dan nilai dari resistivitas tergantung pada bahan yang digunakan. Secara matematis, hubungan antara resistansi, panjang penghantar, luas penampang dan resistivitas dituliskan sebagai berikut (Giancoli, 2014: 508).

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

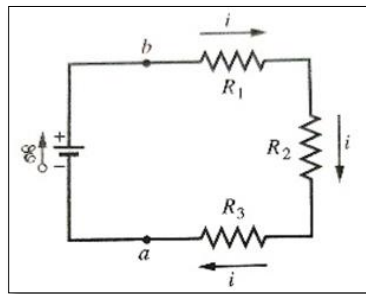
Resistivitas memiliki kebalikan yang disebut dengan konduktivitas listrik yaitu $\sigma = \frac{1}{\rho}$ dan memiliki satuan $(\Omega \cdot m)^{-1}$. Resistivitas suhu suatu bahan tergantung kepada perubahan suhu. Jika perubahan suhu tidak terlalu besar, resistivitas logam biasanya meningkat hampir *linier* dengan suhu. Persamaan resistivitas sebagai fungsi suhu secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Giancoli, 2014: 508-509).

$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

ρ_0 adalah resistivitas pada beberapa referensi suhu T_0 (seperti 0°C atau 20°C), ρ_T adalah resistivitas pada suhu T , dan α adalah koefisien suhu dari resistivitas. Berdasarkan persamaan $R = \rho \frac{l}{A}$, jika mengalikan persamaan $\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ dengan persamaan $\frac{l}{A}$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut (Giancoli, 2014: 509 - 510).

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

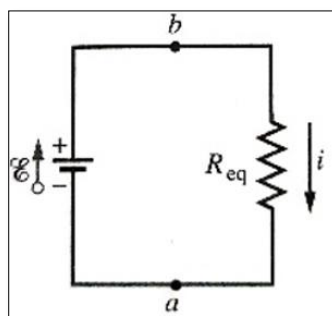
Resistansi seri merupakan resistansi-resistansi yang dihubungkan satu per satu secara berurutan, kemudian suatu potensial (V) diberikan diantara kedua ujung resistansi seri. Beda potensial yang terdapat pada resistansi seri menghasilkan arus-arus (i) yang identik (Halliday *et al.*, 2010: 169).



Gambar 3. Tiga Resistansi yang Terhubung secara Seri ke sebuah Baterai Ideal dengan GGL ε .

(Sumber: Halliday *et al.*, 2010: 169)

Berdasarkan Gambar 3, beda potensial yang terdapat pada ketiga resistansi ini menghasilkan arus listrik yang identik dalam ketiganya. Secara umum ketika suatu beda potensial diberikan pada resistansi-resistansi yang terhubung secara seri, maka semua resistansi tersebut memiliki arus listrik (i) yang identik. Jumlah dari beda potensial pada setiap resistansi ini sama dengan beda potensial yang diberikan. Resistansi-resistansi yang terhubung seri dapat digantikan oleh sebuah resistansi ekuivalen R_{ek} yang memiliki arus yang sama dengan (i) dan beda potensial total yang sama dengan V sebagai resistansi sebenarnya (Halliday *et al.*, 2010: 169).



Gambar 4. Resistansi Ekuivalen R_{ek} yang Menggantikan Ketiga Resistansi Seri dari Gambar 3.

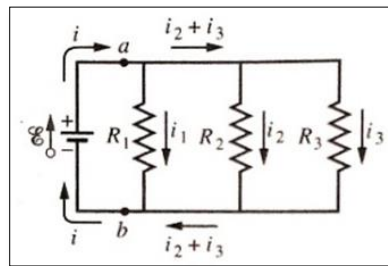
(Sumber: Halliday *et al.*, 2010: 169)

Persamaan untuk R_{ek} pada Gambar 4, dapat diperoleh menggunakan aturan loop pada kedua rangkaian. Resistansi seri yang terdapat pada Gambar 3, dengan titik awal di a dan bergerak searah jarum jam mengelilingi rangkaian, diperoleh persamaan $\varepsilon - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0$ atau $i = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + R_3}$. Resistansi

seri pada Gambar 3, dengan ketiga resistansi diganti oleh resistansi ekuivalen tunggal R_{ek} , diperoleh persamaan $\varepsilon - iR_{ek} = 0$ atau $i = \frac{\varepsilon}{R_{ek}}$, kemudian menyamakan persamaan pada $i = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + R_3}$ dan $i = \frac{\varepsilon}{R_{ek}}$, sehingga diperoleh persamaan R_{ek} sebagai berikut (Halliday *et al.*, 2010: 169 - 170).

$$R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3$$

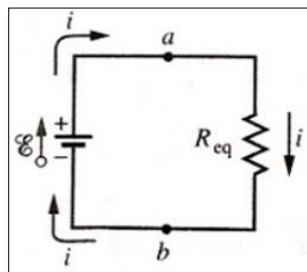
Resistansi paralel merupakan resistansi yang terhubung langsung pada sisi yang satu dan sisi yang lainnya. Jika diberikan beda potensial yang sama (V), maka akan menghasilkan arus yang melewati rangkaian tersebut (Halliday *et al.*, 2010: 174).



Gambar 5. Tiga Resistansi yang Terhubung secara Paralel ke sebuah Baterai Ideal dengan GGL ε .

(Sumber: Halliday *et al.*, 2010: 174)

Resistansi yang terdapat pada Gambar 5 memiliki beda potensial yang sama (V) pada ketiganya yang bersumber dari baterai dan menghasilkan arus listrik yang melewati resistansi tersebut. (Halliday *et al.*, 2010: 174).



Gambar 6. Resistansi Ekuivalen R_{ek} yang Menggantikan Ketiga Resistansi Paralel dari Gambar 5.

(Sumber: Halliday *et al.*, 2010: 174)

Setiap resistansi yang terhubung paralel dapat diganti dengan sebuah resistansi ekuivalen R_{ek} yang memiliki potensial yang sama (V) dan arus total yang sama (i) sebagai resistansi sebenarnya. Persamaan untuk R_{ek} pada Gambar 6 dapat diperoleh terlebih dahulu dengan menulis arus pada setiap resistansi aktual pada Gambar 5 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Halliday *et al.*, 2010: 174).

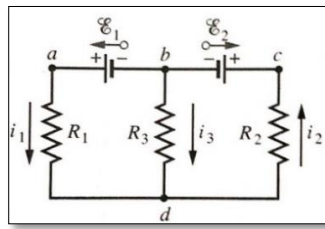
$$i_1 = \frac{V}{R_1}, i_2 = \frac{V}{R_2}, \text{ dan } i_3 = \frac{V}{R_3}$$

Jika menerapkan aturan titik cabang pada titik a di Gambar 5 dan mensubstitusikan nilai-nilai $i_1 = \frac{V}{R_1}$, $i_2 = \frac{V}{R_2}$, dan $i_3 = \frac{V}{R_3}$, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Kombinasi resistansi paralel apabila diganti dengan resistansi ekuivalen R_{ek} pada Gambar 6 diperoleh persamaan $i = \frac{V}{R_{ek}}$, kemudian menyamakan persamaan $\varepsilon = \frac{dW}{dq}$ dengan persamaan $i = \frac{V}{R_{ek}}$, maka diperoleh persamaan $\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ (Halliday *et al.*, 2010: 174).

Rangkaian multiloop merupakan rangkaian yang memiliki jumlah loop lebih dari satu (Halliday *et al.*, 2010: 173). Rangkaian pada Gambar 7 memiliki dua titik percabangan (*junction*) pada rangkaian di titik b dan d, serta terdapat tiga cabang yang menghubungkan disetiap titik percabangan, yaitu cabang kiri (bad), cabang kanan (bcd), dan cabang pusat (bd). Rangkaian multiloop pada Gambar 7 memiliki tiga loop, yaitu loop sebelah kiri (badb), loop sebelah kanan (bcd b), dan loop besar (badcb), kemudian dengan memberikan nama pada arus-arus secara sembarang, dengan *subscrip* yang berbeda untuk setiap cabang (Halliday *et al.*, 2010: 173).



Gambar 7. Rangkaian Multiloop yang terdiri dari Tiga Cabang
(Sumber: Halliday *et al.*, 2010: 173)

Arus yang memasuki titik cabang d adalah i_1 dan i_3 , sedangkan arus yang meninggalkan titik d adalah i_2 , karena tidak terdapat perubahan terhadap muatan di titik cabang d, maka arus masuk total harus sama dengan arus keluar total, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Halliday *et al.*, 2010: 173).

$$i_1 + i_3 = i_2$$

Penerapan syarat ini pada titik cabang b akan menghasilkan persamaan yang sama. Jadi, berdasarkan persamaan $i_1 + i_3 = i_2$ diperoleh satu prinsip umum. Aturan titik cabang menjelaskan bahwa jumlah dari arus-arus yang memasuki satu titik cabang harus sama dengan jumlah dari arus-arus yang meninggalkan titik cabang. Aturan ini disebut dengan aturan cabang *Kirchhoff* (hukum arus *Kirchhoff*). Aturan untuk menyelesaikan rangkaian yang kompleks adalah aturan *loop* (berdasarkan konservasi energi) dan aturan titik cabang (berdasarkan konservasi muatan. Persamaan $i_1 + i_3 = i_2$ adalah persamaan tunggal dengan tiga arus yang tidak diketahui. Rangkaian yang terdapat pada Gambar 5, jika melintasi loop sisi sebelah kiri melawan arah jarum jam dari titik b, aturan loop akan menghasilkan persamaan $\varepsilon_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0$. Jika melintasi loop sisi sebelah kanan melawan arah jarum jam dari titik b, aturan loop akan menghasilkan persamaan $-i_3 R_3 - i_2 R_2 - \varepsilon_2 = 0$ (Halliday *et al.*, 2010: 173).

Daya listrik merupakan laju transfer energi dari baterai ke peranti (resistor, baterai isi ulang, motor, atau peranti listrik lainnya). Energi yang ditransformasikan ketika muatan (Q) bergerak melalui beda potensial (V)

adalah QV , maka daya listrik (P) merupakan laju energi yang ditransformasikan dan dapat diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut (Halliday *et al.*, 2010: 152).

$$P = \frac{QV}{t}$$

Muatan yang mengalir per sekon adalah arus listrik (I), sehingga diperoleh persamaan yaitu $P = I.V$. Laju transformasi energi dalam resistansi R dapat ditulis dengan dua cara yaitu dengan menggunakan hubungan umum $P = I.V$ dan mensubstitusikan dalam persamaan hukum Ohm $V = I.R$ sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Halliday *et al.*, 2010: 152).

$$P = IV = I(IR) = I^2R$$

$$P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}$$

Persamaan $P = IV = I(IR) = I^2R$ dan $P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}$ hanya berlaku untuk resistor, sedangkan $P = I.V$ lebih umum dan berlaku untuk perangkat apa pun (Halliday *et al.*, 2010: 152).

DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, S. C. 2014. *Physics Principles with Application Seventh Edition*.
Published by Pearson Education. Inc. USA. 983 hal.

Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. 2010. *Fisika Dasar Edisi Ketujuh
Jilid 2*. Erlangga. Jakarta. 528 hal.