

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

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



Oleh
Ahmad Saroji
2123022009

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

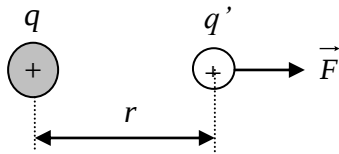
PEMBAHASAN

Rangkaian 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.

Konsep dasar mengenai arus/tegangan listrik harus dikembalikan kepada konsep mengenai hukum Coulomb atau medan listrik ($\vec{E}$). Apabila muatan uji q' ditempatkan sejauh r dari muatan lain q , maka dapat dirumuskan hal-hal berikut :

1. Kedua muatan tersebut akan saling mengerjakan gaya $\vec{F}$ (saling menarik jika kedua muatan itu tak sejenis dan saling menolak bila kedua muatan itu sejenis, mengapa ?) yang besarnya dirumuskan dalam hukum Coulomb sebagai :



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} \quad (1)$$

dengan $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Coulomb/N.m².

2. Medan listrik $\vec{E}$ pada titik yang berjarak r dari pusat muatan q adalah sebesar :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

3. Dari persamaan (1) dan (2) tersebut di atas dapat dituliskan bahwa :

$$F = q'E \quad (3)$$

Selanjutnya ditinjau muatan q' yang dipindahkan dari A ke B sepanjang lintasan yang berada di dalam medan listrik $\vec{E}$, maka usaha (W) yang terlibat (diperoleh atau diberikan) sepanjang lintasan (dari A ke B) yang ditempuh dapat dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} W &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_A^B F \cos \theta dS \\ &= \int_A^B q' E \cos \theta dS = q' E \int_A^B \cos \theta dS \end{aligned} \quad (4)$$

Ternyata $\int_A^B \cos \theta dS = d$ menyatakan jarak dari A ke B, dan untuk medan listrik $\vec{E}$ yang homogen berlaku bahwa :

$$W = q'E d. \quad (5)$$

Berdasarkan hukum kesetaraan usaha dan energi, dapat pula dinyatakan bahwa besar usaha W setara dengan beda energi potensial q' di titik A dan energi potensial q' di titik B, maka dapat dinyatakan bahwa :

$$W = (E_P)_A - (E_P)_B \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (4) dan (6), agar berlaku secara umum (lintasan tidak lurus, medan listrik $\vec{E}$ tidak homogen), maka dapat dituliskan bahwa :

$$(E_P)_A - (E_P)_B = q' \int_A^B E \cos \theta dS \quad (7)$$

Dengan mengingat bahwa potensial pada suatu titik $V_P = \frac{E_P}{q'}$, maka dapat diperoleh beda potensial antara titik A dan B sebagai :

$$V_A - V_B = \int_A^B E \cos \theta dS.$$

Untuk medan yang homogen, beda potensial itu dapat dituliskan sebagai :

$$V_{AB} = V_A - V_B = E.d \quad (8)$$

atau yang sering dijumpai

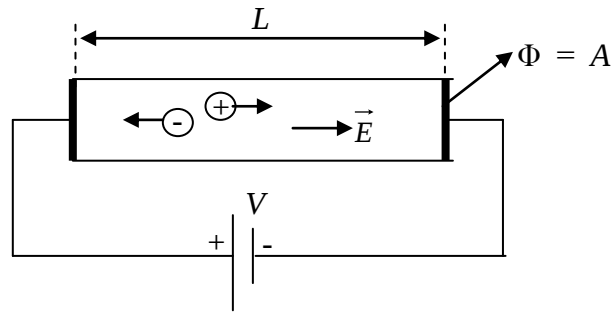
$$E = \frac{V}{d} \quad (9)$$

Beda potensial (tegangan) dikaitkan dengan usaha (W) dapat dinyatakan sebagai :

$$W = q' V_{AB} \quad (10)$$

Selanjutnya ditinjau sebuah konduktor sepanjang L yang pada ujung-ujungnya dikenai beda potensial V . Misalkan konsentrasi elektron bebas dalam konduktor tersebut adalah n , besar muatan elektron e , dan elektron-elektron tersebut bergerak dengan kecepatan rerata v . Jika I menyatakan jumlah muatan yang setiap detik melewati suatu penampang konduktor seluas A , maka selama selang waktu yang singkat dt detik, muatan total dq yang melewati penampang tersebut adalah :

$$dq = n e v A dt . \quad (11)$$



Berdasarkan definisi bahwa kuat arus merupakan jumlah muatan yang melewati suatu penampang penghantar setiap satu satuan waktu, maka dapat dituliskan :

$$I = \frac{dq}{dt} = n e v A . \quad (12)$$

Jika J menyatakan nilai rapat arus tiap satuan luas, maka

$$J = \frac{I}{A} = n e v . \quad (13)$$

Mudah dimengerti bahwa semakin besar medan listrik $\vec{E}$ semakin besar pula kecepatan elektron (v) yang mengalir di dalam konduktor, sehingga secara rasional dapat dikatakan bahwa v sebanding dengan $\vec{E}$ atau dapat dituliskan bahwa :

$$v \propto E \quad (14)$$

Dengan memberikan konstanta μ pada persamaan (14) akan diperoleh :

$$v = \mu E \quad (15)$$

selanjutnya konstanta pembanding μ dikenal sebagai koefisien **mobilitas**. Dari persamaan (13) dan (15) akhirnya diperoleh bahwa :

$$J = \mu n e E . \quad (16)$$

Hukum Ohm dan Hukum Joule

Didefinisikan suatu besaran konduktivitas (σ) sebagai :

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad \text{atau} \quad J = \sigma E. \quad (17)$$
$$\sigma = \mu n e$$

Sedangkan kebalikan dari konduktivitas adalah resistivitas (ρ), yaitu bahwa

$$\rho = \frac{1}{\sigma}. \quad (18)$$

Berdasarkan persamaan (18), (17), (16) dan (9) yang dalam persoalan ini $d = L$, maka dapat diperoleh :

$$J = \frac{E}{\rho} = \frac{V}{\rho L}. \quad (19)$$

Dengan mengingat bahwa $I = JA$ dan persamaan (19), maka dapat diperoleh :

$$I = \frac{V}{\rho L} A \quad \text{atau} \quad I = \left(\frac{A}{\rho L} \right) V \quad (20)$$

Selanjutnya didefinisikan bahwa

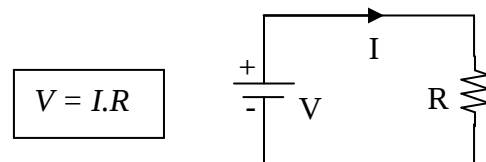
$$\frac{1}{R} = \frac{A}{\rho L} \quad \text{atau} \quad R = \frac{\rho L}{A}. \quad (21)$$

Dari persamaan (20) dan (21) di atas diperoleh suatu perumusan bahwa :

$$V = R \cdot I. \quad (22)$$

Persamaan (22) tersebut dikenal sebagai **Hukum Ohm**.

Jika R merupakan resistansi dari suatu resistor (murni) yang pada kedua ujungnya dipasang beda tegangan sebesar V , maka di dalam resistor tersebut mengalir arus sebesar I . Hubungan ketiga besaran itu adalah :



Selama elektron-elektron mengalir dalam konduktor (bukan super konduktor), maka terjadi proses tumbukan muatan di dalamnya yang akan menimbulkan panas. Sedangkan diketahui dengan sangat meyakinkan bahwa panas merupakan salah satu dari bentuk energi. Dengan demikian ada hubungan antara muatan q yang bergerak karena beda potensial V dengan energi yang dalam hal ini adalah usaha W . Hubungan ketiga besaran tersebut adalah :

$$W = q V. \quad (23)$$

Untuk beda potensial V tetap, sejumlah muatan dq akan menimbulkan panas sebesar dW , sehingga dapat diformulasikan bahwa :

$$dW = V dq \quad (24)$$

Berdasarkan definisi besaran daya (P), yakni usaha atau energi yang dilakukan tiap satuan waktu, maka dapat dituliskan bahwa :

$$P = \frac{dW}{dt} = V \cdot \frac{dq}{dt} = V \cdot I$$

Atau :

$$P = V \cdot I \quad (25)$$

Persamaan (25) itulah yang dikenal sebagai **Hukum Joule**.

Dengan mengingat persamaan (22) dan (25) akan dapat diperoleh formulasi lain untuk daya listrik sebagai berikut :

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (26)$$

Rangkaian Resistor

Nilai resistansi suatu resistor yang tersedia di pasaran tidak mencakup sembarang nilai yang diperlukan orang. Apabila seseorang ingin mendapatkan resistor dengan resistansi tertentu yang tidak tersedia di pasaran, maka ia harus merangkai sendiri dari resistor-resistor yang tersedia di pasaran. Atau sebaliknya, orang dapat menggantikan serangkaian resistor dengan satu resistor pengganti. Pada dasarnya rangkaian resistor dapat dikelompokkan menjadi rangkaian-rangkaian seri, paralel atau delta-bintang.

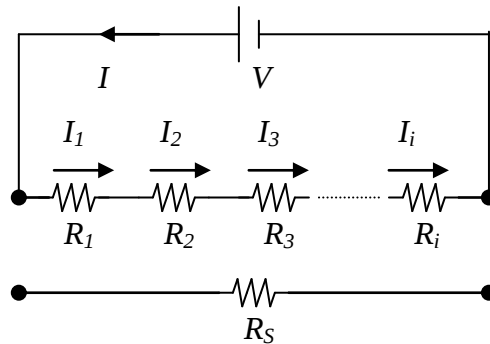
Dua atau lebih resistor masing-masing dengan resistansi $R_1, R_2, R_3 \dots R_i$ dirangkai secara seri. Hubungan seri terjadi bila beberapa resistor (atau komponen rangkaian pada umumnya) dihubungkan secara berurutan satu di belakang yang lain dan tidak pernah bercabang. Pada hubungan tersebut berlaku bahwa arus yang mengalir pada setiap komponen dalam satu serial adalah sama. Rangkaian seri beberapa resistor dapat digantikan dengan sebuah resistor pengganti yang nilainya R_S apabila terpenuhi keadaan berikut :

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_i.$$

dan

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_i$$

Gambar konfigurasi seri adalah sebagai berikut :



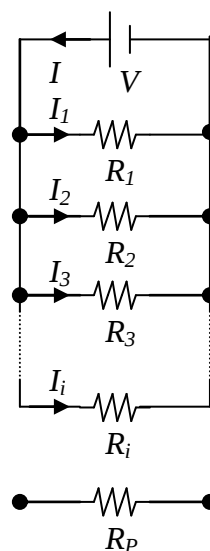
Dua atau lebih resistor (atau komponen pada umumnya) masing-masing dengan resistansi $R_1, R_2, R_3 \dots R_i$ dirangkai secara paralel. Hubungan paralel terjadi bila ujung-ujung komponen terhubung langsung. Pada hubungan paralel berlaku bahwa tegangan yang menyilang pada setiap komponen adalah sama. Rangkaian paralel beberapa resistor dapat digantikan dengan sebuah resistor pengganti yang nilainya R_P apabila terpenuhi keadaan berikut :

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_i}.$$

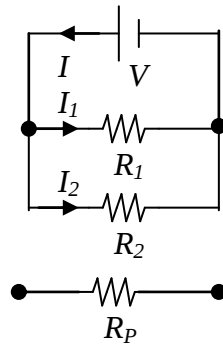
dan

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_i$$

Gambar konfigurasi paralel adalah sebagai berikut :



Jika dua buah resistor R_1 dan R_2 dirangkai secara paralel, maka besar tahanan penggantinya R_p dapat dinyatakan sebagai

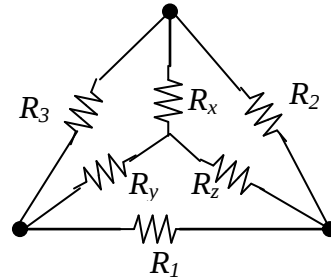
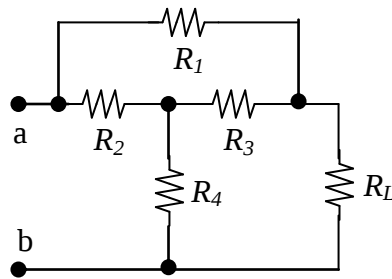


$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

Dijumpai banyak rangkaian yang tidak dapat diselesaikan sebagai kombinasi seri-paralel. Rangkaian tersebut tidak dapat digolongkan ke dalam rangkaian seri ataupun rangkaian paralel. Ilustrasi rangkaian tersebut memiliki tiga simpul atau ujung, seperti dapat dilihat pada gambar berikut :



Pada gambar di atas R_1 , R_2 dan R_3 membentuk konfigurasi delta atau segitiga, sedangkan R_x , R_y dan R_z membentuk konfigurasi bintang atau Y. Kedua konfigurasi tersebut dapat saling menggantikan, artinya konfigurasi delta dapat digantikan dengan konfigurasi bintang atau sebaliknya. Hubungan nilai resistansi antara kedua konfigurasi tadi adalah sebagai berikut :

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_1 = \frac{R_x R_y + R_y R_z + R_z R_x}{R_x}$$

$$R_y = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

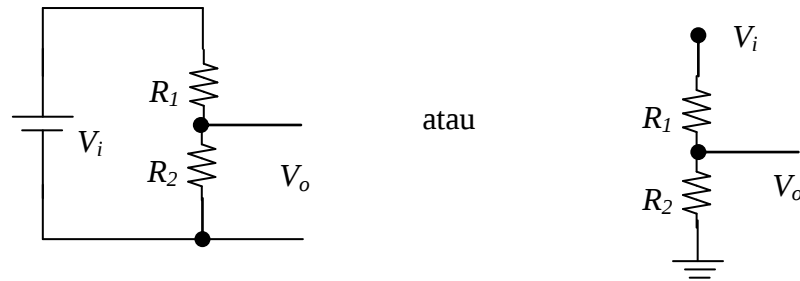
$$R_2 = \frac{R_x R_y + R_y R_z + R_z R_x}{R_y}$$

$$R_z = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_3 = \frac{R_x R_y + R_y R_z + R_z R_x}{R_z}$$

Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan rangkaian attenuator yang berfungsi untuk memperkecil tegangan atau sinyal. Pembagi tegangan sering dijumpai pada masukan alat-alat ukur untuk mencegah terjadinya kelebihan arus yang mengalir pada μ -ampere. Rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



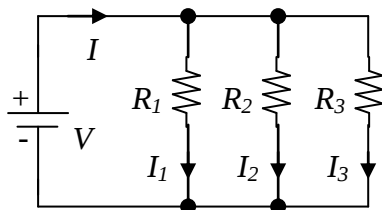
Dari rangkaian tersebut dapat dibuktikan bahwa

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i.$$

Hukum I dan II Kirchhoff

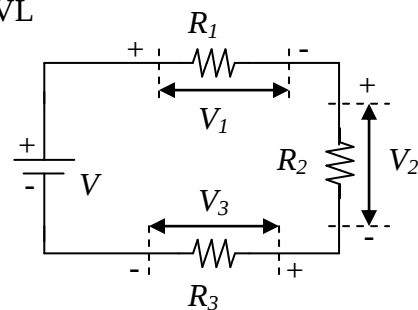
Komponen-komponen elektronik biasanya terhubung dalam rangkaian yang dikenai sumber tegangan/arus dan sinyal/isyarat, sehingga diperlukan cara untuk menganalisis rangkaian tersebut. Hukum Kirchhoff untuk arus dan tegangan merupakan alat yang sangat handal untuk menganalisis suatu rangkaian, khususnya rangkaian dengan dua atau lebih sumber. Hukum tersebut hanya untuk rangkaian yang linier dan bilateral. Suatu rangkaian dikatakan linier jika mengikuti hukum Ohm. Rangkaian disebut bilateral jika arus dapat mengalir sama mudahnya dalam arah yang berlawanan. Karena tidak ada komponen penguat yang linier ataupun bilateral, maka hukum Kirchhoff dapat diterapkan dengan sangat terbatas. Dua ilustrasi berikut lebih dikenal sebagai hukum Kirchhoff.

KCL



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

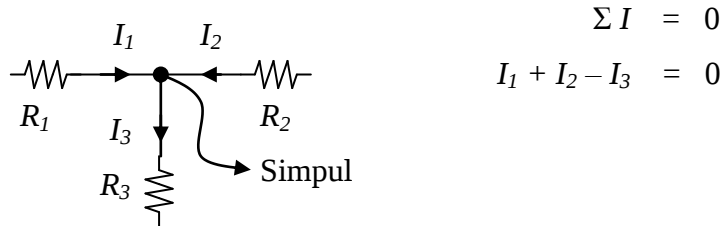
KVL



$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

KCL (Kirchhoff Current Law) :

Jumlah aljabar semua arus pada suatu simpul (titik temu) sama dengan nol (Jumlah arus yang memasuki suatu simpul sama dengan jumlah arus yang meninggalkan simpul itu). Secara matematis dituliskan sebagai :



Simpul (titik temu) adalah titik tempat bertemunya tiga atau lebih cabang arus ke atau dari suatu komponen rangkaian. Perjanjian yang lazim digunakan dalam menerapkan KCL adalah bahwa arus yang menuju simpul diberi tanda positif, sebaliknya arus yang meninggalkan simpul itu diberi tanda negatif. Konsekuensi dari perjanjian tersebut adalah arah arus yang melewati setiap komponen (misalkan resistor) dalam rangkaian dapat ditentukan sekehendak, tetapi bila dalam perhitungan diperoleh nilai negatif maka arah yang benar adalah kebalikan dari arah yang ditetapkan mula-mula.

KVL (Kirchhoff Voltage Law) :

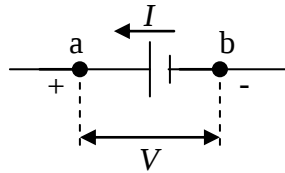
Jumlah aljabar tegangan pada suatu jalur rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol (Jumlah tegangan-timbul dalam suatu loop rangkaian tertutup sama dengan jumlah tegangan-jatuh dalam loop itu). Secara matematis dituliskan sebagai :



Jatuh tegangan pada komponen resistor digambarkan sebagai berikut, jika tegangan V dibaca dari a ke b ($\overline{ab}$ searah dengan arus I), maka tegangan $V = IR$ adalah suatu jatuh (penurunan) tegangan dan selanjutnya diberi tanda positif. Sebaliknya bila arah baca dari b ke a (melawan arah arus), maka V bukan penurunan tegangan dan diberikan tanda negatif, $-V$ atau $-IR$.

Jatuh tegangan pada sumber tegangan adalah bila arah baca dari a ke b , maka V merupakan jatuh tegangan dan diberikan tanda positif pada V , atau dengan mengikuti arah baca bila dijumpai kutub positif sumber tegangan maka V bertanda positif. Sebaliknya bila dibaca dari b ke a (dijumpai kutub negatif), maka V bukan jatuh

tegangan dan diberikan tanda negatif. Arah arus yang melalui sumber tegangan tidak berpengaruh dalam menentukan tanda dari sumber tegangan V .

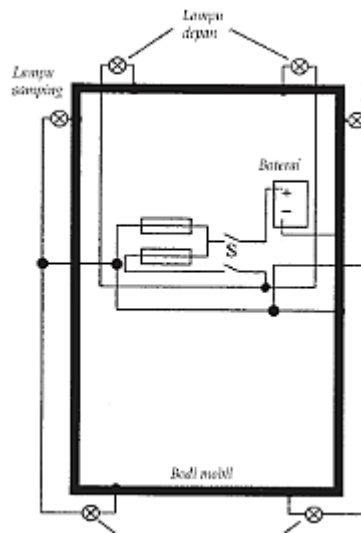


Pada umumnya rangkaian listrik terdiri dari lebih dari satu simpul, lebih dari satu loop, dan lebih dari satu sumber tegangan, sehingga untuk menganalisis suatu rangkaian akan dihadapkan pada banyak persamaan. Dengan demikian perlu dikemukakan rambu-rambu sebagai berikut :

- a. Cacah persamaan KCL yang dapat disajikan sama dengan cacah simpul minus satu. Jika m menyatakan cacah simpul, maka ada $(m - 1)$ buah persamaan simpul yang bebas.
- b. Cacah persamaan KVL sama dengan cacah loop yang independen. Loop dikatakan independen bila sekurang-kurangnya ada satu komponen loop yang tidak termasuk dalam persamaan KVL loop yang lain. Jika n menyatakan cacah arus yang tidak diketahui, maka terdapat $(n - m + 1)$ buah persamaan loop.

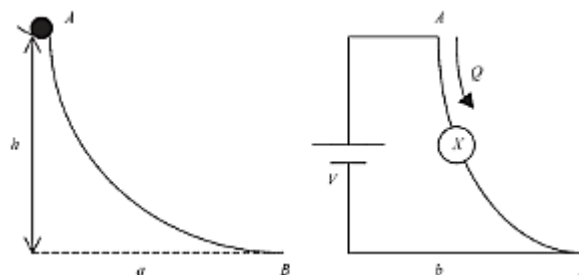
Penerapan Arus Searah dalam Kehidupan Sehari-hari

Arus searah (Direct Current) adalah suatu arus listrik yang aliran muatan netto hanya dalam satu arah. Dalam kehidupan sehari-hari, arus searah banyak digunakan pada kendaraan bermotor (baik roda empat maupun roda dua), lampu penerangan di rumah, misalnya lampu senter. Berikut penggunaan sumber arus searah (sumber tegangan searah) pada sebuah mobil.



Sumber arus searah suatu alat untuk menghasilkan beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian. Misalnya: batu baterai, aki (accumulator), sel surya (solar cell), dan sebagainya. Beda potensial pada sumber arus listrik searah ada yang 1,5 V, 6 V, 12 V, 24 V dan sebagainya.

Penggunaan sumber energi listrik akan terkait dengan adanya perubahan energi yaitu dari energi listrik ke energi bentuk lain, misalnya energi panas. Gambar berikut menunjukkan kemiripan antara bola yang meluncur karena adanya energi potensial gravitasi dan aliran muatan listrik yang bergerak karena adanya sumber tegangan searah.



Energi listrik adalah besar muatan (dalam coulomb) dikalikan beda potensial yang dialaminya. Satuan energi listrik dalam sistem SI adalah joule (J). Energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W = QV = VIt = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t \quad (27)$$

dengan:

W = energi listrik (joule, J),

V = beda potensial listrik (volt, V),

Q = muatan listrik (coulomb, C),

I = arus listrik (ampere, A),

R = hambatan (ohm),

t = waktu arus mengalir (sekon, s).

Daya listrik adalah energi listrik yang dihasilkan atau diperlukan per satuan waktu. Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (27), yaitu:

$$\text{Daya listrik } P = \frac{\text{energi listrik yang dibebaskan (W)}}{\text{selang waktu (t)}}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VIt}{t} = VI$$

dengan:

P = daya listrik (watt),

W = energi yang dibebaskan (joule),

t = selang waktu (sekon)

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering menggunakan sumber arus searah, tetapi juga menggunakan tegangan bolak-balik, misalnya sumber listrik dari Pusat Listrik Negara (PLN). Pada sumber arus bolak balik pada umumnya mempunyai tegangan efektifnya adalah 220 V. Tegangan efektif artinya besar tegangan arus listrik bolak-balik yang memberi akibat sama dengan arus searah, khususnya dalam hal energi dan daya listrik. Jika tegangan listrik mengalami penurunan, maka daya yang terjadi juga mengalami penurunan yaitu sesuai dengan persamaan berikut.

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2$$

DAFTAR PUSTAKA

Karyono, P., Satya, D., Suharyanto, P., & Sampul, D. (2009). *FISIKA untuk Kelas X SMA dan MA*.

Sumarna. Diakses dari <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/drs-sumarna-msi-meng/bahan-kuliah-listrik-arus-searah.pdf>