

BAB - 17

A R U S (C U R R E N T)

Sebuah arus merupakan sebuah muatan mengalir. Seabagai muatan positif dari tempat berpotensi tinggi ke tempat berpotensi rendah, energi potensialnya berubah ke dalam bentuk energi lainnya. Contohnya, dalam sebuah pemanasan gulungan energi potensial muatan berpindah diubah ke dalam panas, pada bohlam diubah ke dalam terang (dan panas), dan pada motor diubah ke dalam energi mekanik (energi kinetic baling-baling). Dengan menggetar dan mengatur arus, dapat digunakan untuk komunikasi, seperti pada telegraf dan TV, dan untuk kendali, seperti pada computer. Buktinya, semua perangkat listrik dan elektronik menggunakan arus sebagai satu cara atau lainnya.

Arus juga digunakan oleh system biologi. Sidat listrik menciptakan arus besar untuk bertahan, dan ikan-ikan tertentu lainnya diarahkan dengan cara arus kecil yang diciptakan di air sekelilingnya. Lebih penting lagi, arus termasuk ke dalam transportasi impuls gangguan urat syaraf di sepanjang urat syaraf.

17.1. Hukum Ohm

Gambar 17.1 menunjukkan 2 buah bola logam dengan muatan sama dan berlawanan disokong pada dudukan terpisah. Ketika bola-bola itu dihubungkan oleh sebuah kawat penginduksi, electron-elektron mengalir dari bola bermuatan negative melalui kawat menuju bola bermuatan positif. Berdasarkan proses ini, ada sebuah muatan mengalir, atau *arus*, pada kawat. Khususnya, arus I pada kawat adalah muatan per sekon yang melintas lewat kawat. Satuan arus adalah coulomb per sekon (C/s), disebut ampere (A):

$$1A = 1C/s$$

Arus ada di kawat sampai bola-bola tersebut benar-benar kosong muatan, perioda khususnya a mikrosekond ($1\mu s = 10^{-6} s$). Lalu, bila muatan

pada bola adalah $q = 10^{-8} C$ dan arus berlangsung dalam waktu $t = 10^{-6} s$, arus rata-rata berdasarkan waktu ini adalah

$$I = \frac{q}{t} = \frac{10^{-8} C}{10^{-6} s} \\ = 10^{-2} C/s = 10^{-2} A$$

Kawat tersebut dengan sendirinya tetap takbermuatan, tetap dengan arus padanya, karena sebagaimana banyaknya electron yang mengalir ke dalamnya dari bola negative sebagaimana mengalir keluar darinya menuju bola positif. Tidak ada penumpukan muatan pada kawat.

Arus pada gambar 17.1 diarahkan dari bola positif (berpotensial tinggi) ke bola negative (berpotensial rendah) dan berlangsung sampai beda potensial antara dua bola habis sam sekali. Bagaimanapun, arus tetap dapat dipertahankan antara bola-bola tersebut bila bila terdapat mekanisme untuk menstransport kembali muatan positif ke bola negative dengan cepat mengalir ke bola negative. Banyak alat-alat yang melakukan ini disebut *kedudukan emf*. Contohnya, mesin induksi yang ditunjukkan pada gambar 16.9 (bagian 16.2) adalah kedudukan emf yang menggunakan energi mekanik untuk memisahkan muatan negative dan positif. Energi mekanik ini disuplai oleh usaha yang dilakukan pada roda berputar dan diubah ke dalam bentuk energi potensial muatan pada bola logam. Ketika bola-bola itu dihubungkan oleh sebuah kawat, muatan mengalir melalui kawat energi potensial diubah menjadi kalor dan bentuk energi lainnya. Sebuah arus tetap dapat dipertahankan pada kawat perputaran tetap pada roda.

Sebuah baterai merupakan sebuah kedudukan emf yang menggunakan energi kimia untuk mempertahankan beda potensial antara dua buah sambungannya. Ketika sambungan-sambungan itu tidak terhubung, beda potensial ϵ , disebut emf baterai, dipertahankan diantara keduanya. Emf pada baterai lampu senter adalah 1,5 V. Itulah, sambungan positif 1,5 V di atas sambungan negative. Tidak ada energi yang dihabiskan ketika tidak ada arus, namun ketika sambungan-sambungan itu dihubungkan oleh sebuah kawat konduksi, muatan mengalir melalui kawat untuk menyamakan beda potensial. Lalu baterai menghabiskan energi kimia untuk memisahkan

muatan-muatan dengan cepat bergabung. Hal ini dapat dilihat dari gambar 17.2, yang menunjukkan bahwa di dalam muatan positif baterai berpindah menghadap sambungan positif. Energi kimia diperlukan untuk memindahkan muatan melawan gaya tolak listrik. (bila arusnya besar, beda potensial diantara sambungan-sambungan kemungkinan lebih kecil daripada ϵ . Bagaimanapun, kita akan mengabaikan kemungkinan ini disini).

Energi yang dihabiskan oleh baterai dilepas pada rangkaian luar. Kemudian anggap sebuah arus I dipertahankan pada rangkaian di gambar 17.2. Pada saat t , jumlah muatan positif yang ditransfer dari sambungan positif ke sambungan negative adalah

$$Q = It \quad 17.1$$

Usaha yang dilakukan pada muatana ini untuk memindahkannya melewati kawat adalah sama dengan perubahan energi potensialnya. Dari persamaan 16.6 dan 16.10 kita mendapati

$$W = U_+ - U_- = qV_+ - qV_- = q(V_+ - V_-) = qV$$

Demana $V = V_+ - V_-$ adalah beda potensial antara sambungan-sambungan. Usaha yang dilakukan per sekon, atau daya P , adalah

$$P = \frac{W}{t} = \frac{qV}{t} = IV \quad 17.2$$

Contohnya, bila $I = 0,2$ A dan V sama dengan emf baterai, daya keluarannya adalah

$$P = I\epsilon = 0,2 \text{ A} \cdot 1,5 \text{ V} = 0,3 \text{ A} \cdot \text{V}$$

Namun $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ dan $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$, maka

$$1 \text{ A} \cdot \text{V} = (1 \text{ C/s})(1 \text{ J/C}) = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$$

Itulah, hasilnya beda potensial dalam volt dan arus dalam ampere sama dengan daya dalam watt. Oleh karena itu, daya yang diberikan ke rangkaian luar adalah

$$P = 0,3 \text{ A} \cdot V = 0,3 \text{ W}$$

Daya ini disuplai pada pengeluaran energi kimia eksternal baterai.

Arus I pada kawat bergantung pada beda potensial V antara ujung-ujungnya. Untuk kebanyakan logam, I sebanding dengan V , dan hubungan antara I dan V dapat ditulis

$$I = \frac{V}{R} \quad 17.3$$

atau

$$V = IR \quad 17.4$$

Ini adalah *hukum Ohm*. Konstanta menurut perbandingan R disebut *hambatan*, dan satuannya adalah volt per ampere (V/A), disebut *ohm* (Ω):

$$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$$

Hukum Ohm benar hanya untuk materi tertentu, khususnya logam. Hal tersebut sangat penting, meskipun begitu, karena hal itu berguna bagi materi lazimnya yang digunakan pada rangkaian listrik.

Hambatan konduktor untuk mengalirkan muatan disebabkan frekuensi tumbuk yang dimana electron berpindah membuat dengan atom yang seimbang. Ketika beda potensial digunakan di sepanjang kawat, sebuah medan listrik yang dimunculkan dengan menggunakan gaya pada tiap-tiap electron pada kawat. Gaya ini mempercepat sebuah electron bebas dan meningkatkan energi kinetic sampai menumbuk dengan sebuah atom yang seimbang. Pada tumbukan, kelebihan energi kinetic pada electron diubah ke dalam energi vibrasi atom. Setelah bertumbukkan, electron dipercepat lagi oleh medan sampai bertumbukkan lagi dengan atom. Pada tiap tumbukkan, electron kehilangan energi kinetic yang diperoleh semenjak tumbukkan sebelumnya. Kemudian, sebuah electron yang bergerak melalui kawat pada

permulaan dan pemberhentian, energi listriknya diubah ke dalam energi termal.

Hambatan listrik pada kawat yang dihubungkan dengan panjang kawat L dan jari-jari r pada kawat oleh

$$R = \frac{\rho L}{\pi r^2} \quad 17.5a$$

Gambar 17.3 menunjukkan baterai yang dihubungkan ke lampu bohlam. Hambatan kawat yang membuat hubungan adalah sangat kecil dan dapat diabaikan. Hambatan seluruh R pada rangkaian datang dari filament yang teramat tipis pada bohlam. Rangkaian ini digambarkan secara skematik pada gambar 17.4. Simbol ...melambangkan baterai, garis vertical panjang merupakan sambungan positif (potensial tinggi). Simbol....melambangkan resistor, yakni, sebuah unsure rangkaian, seperti pada bohlam, yang memiliki hambatan terbatas R . Garis tebal melambangkan kawat bebas hambatan. Arus I diarahkan dari sambungan positif menuju sambungan negative. Pada rangkaian luar karena ini merupakan pengarah yang muatan positif akan mengalir.

Persamaan 17.4 dapat digunakan untuk menghitung beda potensial antara ragam titik pada rangkaian. Beda potensial antara titik a dan b adalah

$$V_b - V_a = 0$$

Karena hambatan antara a dan b adalah nol. Demikian juga, beda potensial antara c dan d adalah

$$V_d - V_c = 0$$

Beda potensial antara b dan c, bagaimanapun, adalah

$$V_c - V_b = RI$$

Bila kita jumlahkan persamaan-persamaan ini secara bersamaan, kita mendapati

$$(V_b - V_a) + (V_d - V_c) + (V_c - V_b) = RI$$

Atau

$$V_d - V_c = RI$$

Namun $V_d - V_c$, beda potensial antara d dan a, adalah emf ε baterai. Oleh karena itu, kita memiliki

$$\varepsilon = RI \quad 17.5b$$

Dengan kata lain, beda potensial yang melintas resistor sam dengan emf baterai.

Menurut persamaan 17.2, energi disipasi pada resistor berharga

$$P = VI \quad 17.6a$$

Bila V ditempatkan kembali oleh RI (persamaan 17.4), ini dapat dituliskan

$$P = RI^2 \quad 17.6b$$

Di lain pihak, bila I ditempatkan kembali oleh V/R (persamaan 17.3), daya dapat juga ditulis

$$P = \frac{V^2}{R} \quad 17.6c$$

Keitga ungkapan itu semuanya bagi daya berguna. Hal itu yang perlu untuk diingat hanya satu ungkapan, bagaimanapun, karena dua yang lainnya dengan mudah diberi darinya menggunakan hokum Ohm.

Sebagai contoh, anggap sebuah baterai 1,5 V dihubungkan ke sebuah lampu bohlam. Terang bohlam berdasarkan pada daya disipasinya. Mana yang akan lebih terang, bohlam 2- \square atau bohlam 5- \square . \square Gunakan persamaan

17.6b, anda mungkin mengatakan bahwa banyak daya disipasi pada bohlam dengan hambatan besar. Hal ini tidak benar, bagaimanapun, karena arus lebih kecil daripada hambatan. Dari persamaan 17.3 kita melihat bahwa arus pada bohlam 5- Ω adalah

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5V}{5\Omega} = 0,3A$$

Dan juga, dari persamaan 17.6b, dayanya adalah

$$P = RI^2 = 5\Omega.(0,3A)^2 = 0,45W$$

Arus pada bohlam 2- Ω adalah

$$I = \frac{1,5V}{2\Omega} = 0,75A$$

Dan dayanya adalah

$$P = RI^2 = 2\Omega.(0,75A)^2 = 1,125W$$

Semenjak potensialnya sam dengan kedua kasus itu, hasil yang sama diperoleh secara langsung menggunakan persamaan 17.6c. Untuk bohlam 5- Ω kita memiliki

$$P = \frac{(1,5V)^2}{5\Omega} = 1,125W$$

17.2 Jaringan Kerja Rangkaian

Seringkali rangkaian terdiri dari sebuah jaringan kerja antarpenghubung resistor, seperti salahsatunya ditunjukkan pada gambar 17.5. Masalah mendasar teori rangkaian adalah menemukan arus di tiap-tiap cabang jaringan kerja, harga yang diberikan resistor. Analisis ini atau jaringan kerja

yang lainnya hanya menggunakan 2 prinsip, yang diketahui sebagai *hukum Kirchgoff*.

Hukum pertama Kirchhoff. *Total arus yang memasuki banyak titik pada rangkaian adalah sama dengan total arus yang meninggalkan titik.* Hal ini merupakan akibat dari bukti bahwa tidak ada hambatan yang terkumpul pada sebuah titik di rangkaian, maka sebagai banyaknya muatan yang harus mengalir keluar dari sebuah titik sebagaimana mengalir masuk ke dalamnya.

Hukum kedua Kirchhoff. *Beda potensial antara dua titik pada rangkaian adalah sama sepanjang jalan penghubung titik-titik itu.* Maksudnya, sebagai umpama, bahwa beda potensial antara titik a dan e pada gambar 17.6 adalah sam sepanjang jalan abcde sebagaimana jalannya sepanjang jalan melalui baterai.

Prinsip-prinsip ini dapat digunakan untuk menemukan arus pada rangkaian di gambar 17.6, yang memiliki 2 resistor yang dihubungkan *seri*. Dari hokum pertama Kirchhoff, arus I yang memasuki titik c dari R_1 sama dengan arus yang meninggalkan titik c dan lewat melalui R_2 . Buktinya arus I yang dimana-mana sama pada rangkaian karena di san hanya ada satu jalan yang melalui setiap titik. Beda potensial antara titik a dan e sepanjang jalan abcde dapat dihitung dari hokum Ohm (persamaan 17.4). Beda potensial antara titik a dan b adalah

$$V_b - V_a = 0$$

Karena hambatan antara a dan b adalah nol. Demikian juga, beda potensial d dan e adalah

$$V_e - V_d = 0$$

Potensial yang melintasi hambatan R_2 adalah

$$V_c - V_b = R_2 I$$

Dan potensial yang melintasi R_1 adalah

$$V_d - V_c = R_1 I$$

Bila kita jumlahkan keempat persamaan ini bersamaan, kita memperoleh

$$(V_b - V_a) + (V_d - V_c) + (V_c - V_b) + (V_e - V_d) = R_1 I + R_2 I$$

Atau

$$V_e - V_a = (R_1 + R_2) I$$

Yang mana beda potensial antara e dan a sepanjang jalan abcde. Dari hukum Kirchhoff 2, ini sama dengan beda potensial e dan a sepanjang jalan lewat baterai, yang mana merupakan emf baterai. Oleh karena itu, kita memiliki

$$\varepsilon = (R_1 + R_2) I$$

Dan juga arus pada rangkaian adalah

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

Bandingkan ini dengan persamaan 17.5, kita melihat bahwa 2 resistor R_1 dan R_2 dihubungkan seri sebagai sebuah resistor tunggal yang besarnya

$$R = R_1 + R_2 \text{ seri} \quad 17.7$$

Contohnya, anggap sebuah baterai dengan $\varepsilon = 1,5 \text{ V}$ dihubungkan seri ke dua buah bohlam dengan hambatan $R_1 = 2 \ \Omega$ dan $R_2 = 5 \ \Omega$. Berapakah

arus pada rangkaian dan daya disipasi pada tiap bohlam? Dari persamaan 17.7 hambatan total pada rangkaian adalah

$$R = R_1 + R_2 = 2 \square \square \square \square \square$$

Dari persamaan 17.5 arusnya adalah

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1,5V}{7\Omega} = 0,214A$$

Potensial yang melintasi R_1 adalah

$$V_1 = R_1 I = (2\Omega).(0,214A) = 0,43V$$

Dan potensial yang melintasi R_2 adalah

$$V_2 = R_2 I = (5\Omega).(0,214A) = 1,07V$$

Jumlah potensial yang melintasi dua buah resistor adalah sama dengan emf baterai. Daya disipasi pada resistor ditemukan dengan menggunakan persamaan 17.6b:

$$P_1 = R_1 I^2 = (2\Omega).(0,214A)^2 = 0,092W$$

$$P_2 = R_2 I^2 = (5\Omega).(0,214A)^2 = 0,229W$$

Pada contoh ini, banyak daya disipasi pada resistor besar karena arusnya sama pada kedua resistor. Pada contoh di bagian 17.1, banyak daya disipasi pada resistor kecil karena potensial yang melintasi resistor adalah sama.

Gambar 17.7 menunjukkan 2 buah resistor yang dihubungkan sejajar dengan baterai. Bandingkan ini dengan rangkaian seri pada gambar 17.6. Pada rangkaian seri semua arus lewat melalui kedua R_1 dan R_2 , sementara pada rangkaian paralel arusnya memisah, beberapa diantaranya lewat

melalui R_1 dan R_2 . Semenjak hubungan sejajar memberikan dua jalan antara titik a dan b, hambatan total antara titik-titik itu lebih kecil daripadanya bila hanya satu resistor yang ada di rangkaian. Biarkan I menjadi arus yang melalui baterai, dan biarkan I_1 dan I_2 menjadi arus di R_1 dan R_2 , berturut-turut. Arus yang memasuki titik b adalah I , dan arus yang meninggalkan titik b adalah I_1 dan I_2 . Oleh karena itu, dari hokum 1 Kirchhoff kita memiliki

$$I = I_1 + I_2 \quad 17.8$$

Potensial yang melintasi R_1 dan R_2 adalah sama karena setiap resistor merupakan sebuah jalan antara a dan b. Beda potensial ini juga sama dengan emf baterai karena baterai merupakan jalan lain antara titik-titik itu. Sebagai akibat kita memiliki

$$V_b - V_a = R_1 I_1 = R_2 I_2 = \mathcal{E}$$

Dan juga arus pada resistor adalah

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1} \quad \text{dan} \quad I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2}$$

Dari persamaan 17.8, arus yang melalui baterai adalah

$$\begin{aligned} I = I_1 + I_2 &= \frac{\mathcal{E}}{R_1} + \frac{\mathcal{E}}{R_2} \\ &= \mathcal{E} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \\ &= \frac{\mathcal{E}}{R} \end{aligned}$$

Itulah, dua buah resistor yang dihubungkan sejajar sebagai sebuah resistor tunggal R , diberikan oleh

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ paralel} \quad 17.9$$

Jumlah R selalu lebih kecil daripada R_1 maupun R_2 .

Contohnya, seandainya dua buah bohlam dengan hambatan $R_1 = 2\Omega$ dan $R_2 = 5\Omega$ dihubungkan sejajar dengan baterai 1,5 V. Hambatan total rangkaian diberikan oleh

atau

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{5\Omega} = 0,7\Omega^{-1}$$

$$R = \frac{1}{0,7\Omega^{-1}} = 1,43\Omega$$

dan juga arus yang melalui baterai adalah

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1,5V}{1,43\Omega} = 1,05A$$

Hal ini jadi dibandingkan dengan harga 0,214 A yang diperoleh ketika resistor dihubungkan seri. Arus pada masing-masing resistor adalah

dan

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1} = \frac{1,5V}{2\Omega} = 0,75A$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2} = \frac{1,5V}{5\Omega} = 0,30A$$

Arus totalnya,05 A dibagi antara dua buah resistor, resistor yang lebih kecil memiliki arus yang besar.

Aturan untuk menjumlahkan resistor dalam seri dan sejajar juga menggunakan hambatan fluida. Fluida yang mengalirkan Q melalui 2 buah vas diberikan oleh persamaan 7.17,

$$Q = \frac{p}{R}$$

Dimana

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

Lalu kita dapat tuliskan

$$Q = p \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \quad 17.10a$$

Anggap vas kedua menjadi mampat, maka tidak ada darah yang mengalir melaluinya. (hal ini dimaksud bahwa R_2 takterbatas besarnya atau bahwa R_1 itu nol). Semua darah kemudian akan mengalir melalui vas 1, maka

$$Q' = \frac{p'}{R_1} \quad 17.10b$$

Arus di semua bagian jaringan kerja yang kompleks didapat dengan berulang kali menggunakan persamaan 17.7 dan 17.9. Contohnya, misal hambatan pada gambar 17.5 menjadi $R_1 = 15\Omega$ $R_2 = 8\Omega$ $R_3 = 3\Omega$ $R_4 = 6\Omega$. Hambatan R_3 dan R_4 dihubungkan sejajar, maka hambatan itu sepadan dengan sebuah hambatan tunggal R' yang diberikan oleh

atau

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$$
$$R' = 2\Omega$$

Hambatan R' diserikan dengan R_2 , maka hambatan efektif R'' dan R_2 bersam-sam adalah

$$R'' = R_2 + R' = 8\Omega + 2\Omega = 10\Omega$$

Rangkaian digambarkan kembali di gambar 17.9, dengan R_2 , R_3 , dan R_4 yang digantikan oleh R'' . Hal ini menunjukkan bahwa R_1 dan R'' sejajar, dan juga hambatan total R seluruhnya pada rangkaian adalah

$$\begin{aligned} \text{atau} \quad \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R''} = \frac{1}{15\Omega} + \frac{1}{10\Omega} \\ R &= 6\Omega \end{aligned}$$

Bila emf baterai adalah 3,0 V, arus I adalah

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = 0,5 A$$

Potensial yang melintasi R_1 dan R'' juga 3,0 V, maka arus I_1 dan I_2 adalah

$$\begin{aligned} \text{dan} \quad I_1 &= \frac{3,0V}{R_1} = \frac{3,0V}{15\Omega} = 0,2 A \\ I_2 &= \frac{3,0V}{R''} = \frac{3,0V}{10\Omega} = 0,3 A \end{aligned}$$

Catat bahwa $I_1 + I_2 = I$, sesuai dengan hukum 1 Kirchoff. Beda potensial antara titik a dan b dapat ditulis (lihat gambar 17.5)

$$\begin{aligned} V_b - V_a &= 3,0V = R_2 I_2 + R_1 I_1 \\ &= 0,3 A \cdot 8\Omega + I_3 \cdot 3\Omega \end{aligned}$$

Pemecahan ini untuk I_3 , kita memperoleh

$$\begin{aligned} I_3 \cdot 3\Omega &= 3,0V - 2,4V = 0,6V \\ I_3 &= \frac{0,6V}{3\Omega} = 0,2 A \end{aligned}$$

Akhirnya, dari keadaan bahwa $I_2 = I_3 + I_4$, arus di R_4 didapat menjadi

$$I_4 = I_2 - I_3 = 0,3A - 0,2A = 0,1A$$

Hal ini menunjukkan bagaimana arus di semua resistor pada rangkaian dapat ditemukan oleh analisis skematik rangkaian.

17.3 ARUS BOLAK-BALIK

Sebuah baterai mempertahankan beda potensial antara sambungan-sambungannya. Ketika sambungan-sambungan itu dihubungkan ke resistor, sebuah arus tetap dihasilkan, diarahkan dari sambungan berpotensi tinggi melalui resistor menuju ke sambungan berpotensi rendah. Karena arah arusnya konstan, arus tersebut disebut *arus langsung* (dc).

Daya generator menghasilkan potensial osilasi yang melewati sambungan-sambungannya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 17.10. Potensial berpindah melalui salah satu osilasi putaran sempurna pada saat \square , disebut periode. Liku potensial memiliki bentuk sebuah gelombang sinus (bagian 12.4) dan dilambangkan oleh persamaan

$$V = V_p \sin(360^\circ \frac{t}{\tau}) \quad 17.11$$

Dimana V_p adalah potensial puncak. Arus I pada resistor ditempatkan melintasi sambungan-sambungan generator yang diberikan oleh hukum Ohm

$$I = \frac{V}{R} = I_p \sin(360^\circ \frac{t}{\tau}) \quad 17.12$$

Dimana

$$I_p = \frac{V_p}{R} \quad 17.13$$

Karena arus berosilasi dengan waktu, disebut *arus bolak-balik* (ac).

Di USA dan Kanada, periode semua arus bolak-balik adalah $\tau = \frac{1}{60} s$.

Frekuensi f, yang didefinisikan sebagai

$$f = \frac{1}{\tau} = 60s^{-1}$$

Satuan frekuensi adalah Hertz, maka

$$f = 60s^{-1} = 60Hz$$

Di Eropa frekuensi arus bolak-balik adalah 50 Hz.

Bila 63- Ω resistor ditempatkan melintasi sambungan –sambungan pada sebuah generator ac yang memiliki potensial puncak 170 V , arus pada resistor yang diberikan oleh persamaan 17.12 dan 17.13, dengan

$$I_p = \frac{V_p}{R} = \frac{170V}{63\Omega} = 2,7A$$

Arus ini diplot pada gambar 17.11, dengan mengasumsi $f = 60$ Hz. Arus berbolak-balik pada jejak, sebagai potensial. Ketika arusnya positif, muatan mengalir pada sstu arah, dan ketika arusnya negative, muatan mengalir pada arah lainnya. Lalu, Di sana tidak ada jaringan alir muatan di sekeliling rangkaian; malahan muatan-muatan itu bergelombang kembali dan seterusnya pada resistor.

Daya disipasi pada resistor masih diberikan oleh persamaan 17.6. Dengan menggunakan persamaan 17.6b dan 17.12, kita mendapati

$$\begin{aligned} P &= RI^2 = R[I_p \sin(360^\circ ft)]^2 \\ &= RI_p^2 \sin^2(360^\circ ft) \end{aligned}$$

Ini diplot pada gambar 17.12. Lalu, walaupun arus berosilasi pada jejak, daya, yang sebanding dengan kuadrat arus, selalu positif. Ragam daya antara nol dan RI_p^2 dua kali setiap putaran, atau 120 kali satu seko, namun untuk banyak macam kegunaan hanya daya rata-rata P yang menarik. Hal itu dapat ditunjukkan bahwa

$$\bar{P} = R\bar{I}^2 = \frac{1}{2}RI_p^2$$

Dimana \bar{I}^2 adalah kuadrat arus rata-rata

Arus dan potensial rms

Hal itu berguna untuk mendefinisikan sebuah arus I_{rms} yang memberikan daya disipasi yang sama sebagai arus bolak-balik. Itulah, I_{rms} didefinisikan oleh keadaan

$$RI_{rms}^2 = \bar{P} = R\bar{I}^2 = \frac{1}{2}RI_p^2$$

Maka

$$I_{rms}^2 = \bar{I}^2 = \frac{1}{2}I_p^2$$

Dan

$$I_{rms} = \sqrt{\bar{I}^2} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = \frac{I_p}{1,41}$$

Arah atau potensial rms V_{rms} didefinisikan pada hubungan dengan I_{rms} oleh hukum Ohm:

$$V_{rms} = RI_{rms}$$

Namun $I_{rms} = I_p / \sqrt{2}$, maka

$$V_{rms} = \frac{RI_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Semenjak $RI_p = V_p$. Lalu sebuah arus bolak-balik dapat diperlakukan sebagai arus yang sebanding dengan potensial

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

17.14a

Dan arus

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

17.14b

Dan juga metoda bagian 17.2 dapat digunakan untuk menganalisis rangkaian ac. Arti penting I_{rms} dan V_{rms} adalah bahwa mereka dapat digunakan dalam persamaan 17.6 untuk mengetahui daya rata-rata.

Di USA dan Kanada, potensial rms yang melintasi sebuah stopkontak adalah $V_{rms} = 120 \text{ V}$. Potensial puncak yang melintasi stopkontak adalah

$$V_p = \sqrt{2} \cdot 120 \text{ V} = 170 \text{ V}$$

Di Eropa, potensial rmsnya adalah 240 V, yang berkesesuaian dengan potensial puncak 340 V.

Contohnya, anggap sebuah pemanggang roti Amerika ditaksir pada 1320 W. Bagaimana hambatan pada alat pemanasnya ? Harga daya memberikan daya disipasi rata-rata pada 120 V. Oleh karena itu, gunakan persamaan 17.6c, kita mendapati

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_{rms}^2}{I^2} \\ &= \frac{14.400 \text{ V}^2}{1320 \text{ W}} = 10,9 \Omega \end{aligned}$$

Bila pemanggang roti ini dicolok dengan stopkontak Inggris, daya disipasinya akan menjadi

$$\bar{P} = \frac{(240 \text{ V})^2}{10,9 \Omega} = 5280 \text{ W}$$

Pada daya ini, alat pemanas pada pemanggang roti akan meleleh. Pada umumnya, alat-alat rumah tangga yang didesain untuk beroperasi pada satu potensial tidak akan beroperasi sebagaimana mestinya pada beda potensial secara berarti.

Pengkabelan Rumah Tangga

Daya listrik didistribusikan dari generator ke masing-masing rumah oleh sepasang saluran daya. Setiap rumah dihubungkan sejajar ke saluran-saluran itu, dan PLN menjaga potensial rms konstan diantara saluran-saluran itu. Ini didiagramkan pada gambar 17.13, dimana symbol...., menandakan generator ac dan dan symbol...., menandakan hubungan ke tanah. Saluran daya yang ditanahkan dihubungkan ke bumi dengan cara kawat dipendam di dalam

tanah, yang menjaga saluran pada potensial nol. Potensial pada saluran lainnya ("yang hidup") beresilasi relative terhadap saluran tanah.

Sebuah sekering R_1 dan sebuah meteran M ditempatkan seri dengan saluran memasuki sebuah rumah, namun semua alat rumah tangga yang lainnya dihubungkan sejajar. Garis a menunjukkan hubungan ke sebuah stopkontak tembok. Potensial 120 V penuh dapat dipertahankan antara sambungan-sambungan stopkontak, namun ketika tidak ada alat rumah tangga yang dihubungkan dengan stopkontak, tidak ada arus di bagian rangkaian ini,. Garis b menunjukkan hubungan ke sebuah lampu plafon yang dikendalikan oleh saklar S tembok. Garis c menunjukkan stopkontak tembok lainnya dengan sebuah alat rumah tangga yang dihubungkannya.

Sebagaimana banyaknya alat-alat rumah tangga yang dihubungkan sejajar ke saluran rumah, hambatan total yang melintasi saluran menurun dan arus total I_{rms} yang memasuki rumah meningkat. Menurut persamaan 17.6a, daya total ke rumah adalah

$$\overline{P} = V_{rms} \overline{I_{rms}}$$

Misalnya, bila $I_{rms} = 35A$, dayanya adalah

$$\overline{P} = 120V \cdot 35A = 4200W = 4,2kW$$

Dimana $1kW = 10^3 W$. Bila daya 4,2 kW dipertahankan selama 5 jam, energi yang dikonsumsi adalah

$$E = 4,2kW \cdot 5h = 21kWh$$

Dimana kilowatthour (kWh) adalah satuan energi yang digunakan oleh industri daya. Ini berhubungan dengan Joule oleh

$$1kWh = 10^3 W \cdot 3600s = 3,6 \cdot 10^6 J$$

Pada tahun 1970 kapasitas penggerak total USA adalah $3 \cdot 10^5 MW$ (1 megawatt = $1 MW = 10^6 W$), dan total $1,5 \cdot 10^{12}$ kWh energi listrik dihasilkan. Itu

adalah energi yang bahwa industri dayanya menjualnya ke masyarakat; misalnya, industri daya untuk ongkosnya kilowattjam bkan kilowatt.

Meteran M di gambar 17.16 merupakan sebuah rotor yang berubah pada kecepatan yang sebanding dengan arus dan pencatatan, dengan maksud rekening, energi total yang dikonsumsi. Sekering R_f terdiri dari resistor logam khusus yang meleleh ketika arus melampaui harga tertentu, kemudian merusak hubungan antara rumah dan saluran daya. Terlalu banyak salah satu arus besar yang datang ketika terlalu banyak alat rumah tangga yang dihubungkan ke saluran (rangkaiannya yang bebannya terlalu berat) atau ketika hambatan yang sangat lemah secara tak sengaja ditempatkan melintasi sambungan-sambungan stopkontak (rangkaiannya pendek). Rangkaian pendek mengurangi

Hambatan total pada rangkaian rumah dengan mendekati nol, menghasilkan arus yang sangat besar. Bila sekering tidak dengan segera memutuskan rangkaian, kabel pada tembok akan menjadi panas cukup memulai kebakaran.

Keselamatan Alat-alat Listrik

Semenjak satu bagian pada stopkontak listrik ditanahkan, rangkaian itu sempurna ketika bagian yang lain (yang hidup) dihubungkan dengan langsung ke tanah. Kejadian ini, misalnya, bila bagian yang hidup dihubungkan ke sebuah pipa air atau pipa bawah tanah pada hubungan listrik yang baik dengan bumi. Kemudian seseorang dapat terbunuh oleh arus listrik dengan secara serentak menyentuh pipa air dan bagian yang hidup pada stopkontak listrik. Ia juga mungkin terkejut dengan menyentuh bagian yang hidup pada stopkontak, bila ia berdiri di luar atau tanah basah atau pada lantai dasar yang basah, Karena air agaknya merupakan penghantar yang baik.

Bila seseorang berda dalam hubungan yang baik dengan tanah ketika dia menyentuh stopkontak listrik, hanya hambatan pada rangkainlah yang merupakan tubuhnya. Ini bervariasi dari 500 Ω ketika tubuhnya basah dan

1500 Ω ketika tubuhnya kering. Ambil harga rata-rata 1000 Ω , kita melihat bahwa dengan hubungan yang baik ke stopkontak 120 V, arus pada tubuh adalah

$$I_{rms} = \frac{120V}{1000\Omega} = 0,12A = 120mA$$

Dimana 1 miliampere = 1 mA = $10^{-3} A$.

Sebuah arus 60 Hz dari 1 mA nampak terasa sedikit dari 75 persen populasi. Sebuah arus besar mulai mengganggu system listrik tubuhnya sendiri, turut campur dengan transmisi impuls syaraf. Sebuah arus 10 mA cukup besar untuk mengejutkan tangan yang memegang kawat, mencegah seseorang untuk melarika diri. Sebuah arus 120 mA (pada 60 Hz), bila itu berlangsung lebih dari beberapa sekon, cukup untuk menyebabkan kamar jantung berfibrilasi (misalnya, bagian tegang otot jantung yang mencegah kontraksi yang terkordinasi pada jantung).

Seseorang dapat mati kesetrum dengan menyentuh sebuah alat rumah tangga yang kabel menyalanya secara tak sengaja menjadi longgar karena sekarang ada rangkain sempurna dari bagian yang nyala pada stopkontak melewati alat rumah tangga dan tubuh seseorang kembali ke tanah. Untuk mencegah hal ini, semua alat-alat rumah tangga modern memiliki kabel ketiga yang menghubungkan tubuh alat rumah tangga ke pipa air di rumah. Bila kabelnya menjadi longgar, di sana ada rangkaian pendek dekat yang melalui kabel ketiga dan sekering akan memutus rangkaian.

17.4 Elektronik

Resistor hanya satu dari beberapa elemen, baik aktif ataupun pasif, yang digunakan dalam rangkaian listrik. Elemen aktif, seperti transistor dan rangkaian gabungan, merupakan hal khusus yang penting karena keadaan suatu rangkaian dikendalikan oleh rangkaian yang lain. Rangkaian listrik, terdiri dari elemen aktif dan pasif dengan berbagai macam kombinasi, yang memiliki berbagai macam fungsi. Seperti amplifier sinyal dan penampil operasi

logis. Rangkaian amplifier digunakan pada radio, tv, dan perangkat pengeras suara; rangkaian logic digunakan pada kalkulator , computer, dan alat pengontrol. Pada bagian ini diperkenalkan seberapa penting elemen rangkaian dan member gambaran rangkaian elektronik yang digunakan.

Kapasitor

Kapasitor adalah elemen pasif rangkaian yang terdiri dari dua permukaan brbahan konduktor yang terpisah oleh lembar penyekat yang tipis. Kabel dipasang pada permukaan kapasitor yang dihubungkan dengan rangkaian listrik. Gambar 17.5 adalah  penampang dari rangkaian kapasitor, yang disimbolkan dengan C , dipasang seri dengan R dan baterai ϵ . Karena ada sekat antar plat dalam kapasitor, muatan tidak dapat mengalir dalam kapasitor, maka tidak ada arus langsung pada kapasitor. Bagaimanapun, ketika S tertutup, akan terjadi arus transit seblum ke resistor, seperti elektron mengalir dari satu plat kapasitor ke plat lainnya. Konsekwensinya, muatan positif akan terakumulasi pada satu plat, sedangkan sejumlah muatan negative terakumulasi di sisi lainnya. Sampai potensialnya $V = V_c - V_R$ berpindah sepanjang kapasitorsama dengan besarnya beda potensial pada baterai. Arus transisi I bernilai besar langsung pada saat saklar ditutup, tapi langsung menurunmenjadi nol ketika kapasitor dimuati. Pada waktu yang sama medan dari muatan pada plat dari kapasitor akan meningkat dari nol sampai mencapai nilai q_0 seperti pada gambar.

Pada beberapa muatan q pada kapasitor sebanding dengan potensial V yang mengalir sepanjang rangkaian. Dapat dituliskan

$$q = CV$$

Dimana C konstan, disebut kapasitansi. Satuan kapasitansi adalah coloumb per volt (C/V), disebut juga faar (F)

Catatan penting Nilai C berhubungan dengan luasan A dari plate kapasitor dan jarak sebesar d antara kedua plat diberikan

$$C = \frac{\epsilon A}{4\pi K d}$$

Dimana $K = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ adalah konstanta elektrik dan ϵ adalah konstanta dielektrik, pada keadaan dengan dimensi kecil. Nilai ini untuk ϵ untuk udara bervariasi antara 2 sampai 6 pada materi yang terisolasi. Karena nilai K sangat besar, nilai kapasitansi (dalam farad) pada kapasitor ukuran normal sangat kecil. Kapasitor digunakan pada rangkaian bervariasi antara 0.1 F dan 1 pF (1 picofarad = 10^{-12} F)

Hasil dari RC dari hambatan dan kapasitansi memiliki dimensi dari waktu. Hal itu dapat dilihat dari dengan catatan RC memiliki satuan

$$\frac{V}{A} \cdot \frac{C}{V} = \frac{C}{A} = \frac{C}{C/s} = s$$

Pada waktu $T = RC$, arus transisi pada gambar 17.17a peluruhan mencapai 37 % dari nilai muatan dalam kapasitor dan mencapai 63% untuk nilai maksimumnya. Dari persamaan 17.15 potensial sepanjang kapasitor sebesar $V = q/C$, maka V dapat mencapai 63% dari nilai t maximum. Maka $\tau = RC$ merupakan karakteristik waktu yang ada pada rangkaian dengan kapasitor untuk merubah kondisi ini. Seperti pada rangkaian dapat digunakan untuk menghasilkan pulsa dengan frekuensi tertentu.

Sekali dari arus transisi meluruh sampai nol, tidak ada arus langsung pada rangkaian 17.16 karena kapasitor adalah bagian dari rangkaian dengan nilai hambatan tak hingga untuk potensial langsung. Di sisi lain terdapat potensial alternative yang diberikan pada kapasitor. Muatan pada plat alternative antara positif dan negative sebagai potensial pada kapasitor alternative, maka akan ada arus alternative pada rangkaian. Karena efek pada kapasitor adalah elemen yang menghasilkan hambatan kecil untuk potensial alternative dan hambatan tak terbatas untuk potensial langsung. Pada beberapa rangkaian dibuat gabungan antara kedua potensial tersebut digunakan untuk memilah komponen langsung dari arus alternative.

Diode

Diode adalah elemen rangkaian yang mengalirkan arus hanya pada satu arah saja. Karakteristik diode sangat baik ditampilkan oleh gambar, seperti pada gambar 17.19, yang menggambarkan arus I pada diode

berlawanan dengan potensial V yang mengalir sepanjang rangkaian. Lengkungan yang sama untuk resistor diperlihatkan sebagai pembandingan. Pada resistor arus berbanding lurus dengan V , maka kurva IV berupa garis lurus. Lagi pula, I negative ketika V negative, berarti arus akan berbalik ketika potensial pada resistor dibalik. Kurva IV pada diode tidak berbentuk garis lurus; hal tersebut sejalan dengan apa yang dikatakan bahwa hambatan efektif diode tergantung pada V . Hal yang lebih penting, tidak ada (sangat kecil) arus yang melalui diode saat potensial dibalik; dapat dikatakan bahwa hambatan diode tak hingga ketika V negative. Untuk tujuan selanjutnya penting sekali untuk mengingat bahwa hambatan efektif sangat kecil (mendekati nol) ketika V positif dan sangat besar (menuju tak hingga) ketika V negative.

Diode dapat tabung vakum atau berupa padatan. Elemen berupa padatan seperti diode dan transistor, memiliki tabung yang ditempatkan pada sebagian besar rangkaian karena ukuran yang kecil, kenyataannya, menghabiskan daya yang kecil. Diode padatan merupakan elemen pasif, yang tidak memerlukan supply daya dari luar, sedangkan diode tabung vakum merupakan elemen aktif yang memerlukan daya dari luar. Namun fisik dari tabung vakum lebih mudah untuk dimengerti, maka hal tersebut akan digambarkan disini.

Diode tabung vacuum, diperlihatkan pada gambar 17.20, sama dengan berkas elektron yang telah dibahas pada pembahasan sebelumnya. Filament kecil memanaskan satu elektroda (katoda), terjadi pelepasan elektron dari elektroda itu. Elektroda yang kedua (anoda) dibangun dari potensial relative V terhadap katoda. Ketika V positif, pelepasan elektron mengalir ke anoda, menghasilkan arus I yang secara langsung dari anoda ke katoda. Jika V negative, anoda akan menolak elektron maka tidak akan mengalir arus pada diode.

Diode bentuk padatan sama dengan bentuk tabung vacuum kecuali tidak adanya filament yang menghubungkan dengan power supply. Symbol yang digunakan untuk mengisyaratkan diode tabung vacuum dan diode bentuk padatan diperlihatkan pada gambar. Rangkaian filament digambarkan untuk diode tabung vacuum. Diode tabung vacuum mengkonduksikan arus dari anoda ke katoda, dan diode padatan mengkonduksikan arus secara

langsung sesuai arah panah. Ketika generator AC dihubungkan ke diode, potensial yang mengalir ditandai terbalik dua kali selama terjadi osilasi dari potensial. Ketika anoda positif diode akan mengkonduksikan arus pada I pada R dan potensial RI mengalir sepanjang rangkaian. Jika anoda negative tidak ada arus yang mengalir . maka diode hanya mengkonduksikan hanya pada sisi positif, maka variasi dari potensial dapat digambarkan pada gambar. Dengan menempelkan pada sisi resistor, maka tidak akan ada potensial yang mengalir kembali pada rangkaian lain. Proses konversi arus alternative ke arus langsung disebut retifikasi. Yang digunakan pada semua penerima radio.

Computer merepresentasikan jumlah dari pulsa listrik yang dapat diolah dengan rangkaian logic. Nilai 1 direpresentasikan oleh pulsa 3V dan lebar 1μ dan nilai nol direpresentasikan oleh ketiadaan pulsa (0 V). Lalu urutan rangkaian pulsa menggambarkan nilai 1101, dalam bentuk nilai biner, dengan nilai

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 13$$

Rangkaian elektronik dapat dijumlahkan atau dikalikan dengan nilai biner dari pulsa. Sebagai contoh, gambar 17.25 memperlihatkan rangkaian logika and yang dapat mengalikan dua atau satu digit pada angka biner.

Table pada gambar 17.26a merupakan hasil penjumlahan dari potensial keluaran V_b untuk empat kemungkinan kombinasi. Pada table tersebut potensial diartikan dengan digit. Karena table ini hasil perkalian 0 dan 1, rangkaian diperlihatkan operasi dasar. Hal itu menggambarkan kasus yang sangat sederhana bagaimana rangkaian elektronik dalam pengoperasian aritmetika.

Transistor

Transistor adalah komponen aktif dengan 3 terminal. Merupakan elemen padat yang digunakan untuk peningkatan arus. Hal itu merupakan proses khusus pada sebatang germanium atau silicon dengan tiga kabel terminal. Pada operasi normal perbedaan potensial V_{CE} dibangun dari dua ujung terminal (emitter dan kolektor) diartikan dengan E_r . Ketika base di putuskan, transistor tidak terkonduksi, tidak ada arus yang mengalir antara emitter dan konduktor. Bagaimanapun jika arus kecil I_B dilukiskan dari base yang diartikan berasal

dari baterai kedua E_B , transistor berfungsi dan akan nada arus besar antara emitter dan kolektor. Maka arus antara emitter dan kolektor diatur oleh arus pada basis.

Amplifier adalah pembelajaran yang sangat penting dalam kelistrikan, sederhananya, syaraf terdiri dari berbagai variasi potensial sepanjang akson. Dengan menggunakan mikroelektroda yang dipasang pada sisi syaraf sangat memungkinkan untuk mempelajari pulsa yang terbentuk.

Rangkaian gabungan

Rangkaian gabungan adalah proses khusus chip silikon yang dioperasikan sebagai keseluruhan rangkaian listrik. Sebuah chip hanya beberapa millimeter dan sebanding dengan kapasitor, resistor dan transistor pada satu kabel. Peningkatan penyediaan atas bahan ini menghasilkan revolusi di bidang elektronik. Seiring dengan munculnya kalkulator saku dan beberapa alat sejenis untuk kebutuhan yang akan datang. Ada hal yang menarik seperti implantasi microchip pada tubuh pasien untuk mengontrol alat dengan fungsi vital. Atau untuk mengamati burung dan serangga sebagai pengamatan terhadap migrasi.

17.5 Bio elektrik

a. System syaraf

Sel saraf atau neuron berfungsi mengirimkan pesan (*impuls*) yang berupa rangsang atau tanggapan. Jutaan sel saraf ini membentuk suatu sistem saraf. Setiap neuron terdiri dari satu badan sel yang di dalamnya terdapat sitoplasma dan inti sel. Dari badan sel keluar dua macam serabut saraf, yaitu dendrit dan akson (neurit).

Dendrit berfungsi mengirimkan impuls ke badan sel saraf, sedangkan akson berfungsi mengirimkan impuls dari badan sel ke jaringan lain. Akson biasanya sangat panjang. Sebaliknya, dendrit pendek.

Setiap neuron hanya mempunyai satu akson dan minimal satu dendrit. Kedua serabut saraf ini berisi plasma sel. Pada bagian luar akson terdapat lapisan lemak disebut mielin yang merupakan

kumpulan sel Schwann yang menempel pada akson. Sel Schwann adalah sel glia yang membentuk selubung lemak di seluruh serabut saraf mielin. Membran plasma sel Schwann disebut neurilemma. Fungsi mielin adalah melindungi akson dan memberi nutrisi. Bagian dari akson yang tidak terbungkus mielin disebut nodus Ranvier, yang berfungsi mempercepat penghantaran impuls.

Berdasarkan struktur dan fungsinya, sel saraf dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu sel saraf sensoris, sel saraf motor, dan sel saraf intermediet (asosiasi).

Sel saraf sensoris

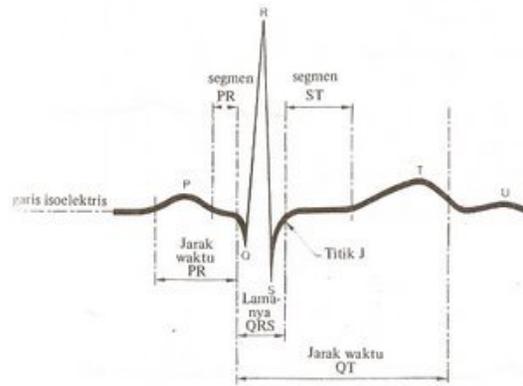
Fungsi sel saraf sensoris adalah menghantar impuls dari reseptor ke sistem saraf pusat, yaitu otak (ensefalon) dan sumsum belakang (medula spinalis). Ujung akson dari saraf sensoris berhubungan dengan saraf asosiasi (intermediet).

Sel saraf motor

Fungsi sel saraf motor adalah mengirim impuls dari sistem saraf pusat ke otot atau kelenjar yang hasilnya berupa tanggapan tubuh terhadap rangsangan. Badan sel saraf motor berada di sistem saraf pusat. Dendritnya sangat pendek berhubungan dengan akson saraf asosiasi, sedangkan aksonnya dapat sangat panjang.

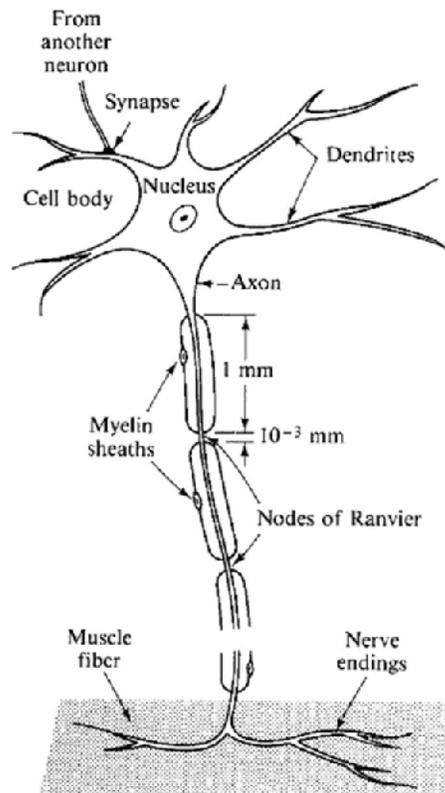
Sel saraf intermediet

Sel saraf intermediet disebut juga sel saraf asosiasi. Sel ini dapat ditemukan di dalam sistem saraf pusat dan berfungsi menghubungkan sel saraf motor dengan sel saraf sensoris atau berhubungan dengan sel saraf lainnya yang ada di dalam sistem saraf pusat. Sel saraf intermediet menerima impuls dari reseptor sensoris atau sel saraf asosiasi lainnya. Kelompok-kelompok serabut saraf, akson dan dendrit bergabung dalam satu selubung dan membentuk urat saraf. Sedangkan badan sel saraf berkumpul membentuk ganglion atau simpul saraf.



Sel-sel mampu menghasilkan potensial listrik yang merupakan lapisan tipis muatan positif pada permukaan luar dan lapisan tipis muatan negatif pada

permukaan dalam bidang batas/membran. Kemampuan sel syaraf (*neurons*) menghantarkan isyarat biolistrik sangat penting. Gambar dibawah ini adalah sebuah sel syaraf dengan ekor panjangnya yang disebut sebagai axon atau serat syaraf membawa isyarat biolistrik atau pulsa syaraf menjauhi sel menuju otot, kelenjar atau neuron lain .



b. Ikan listrik

Beberapa ratus species ikan memiliki organ penghasil listrik, namun hanya sedikit yang dapat menghasilkan daya listrik yang kuat. Organ penghasil listrik yang dimiliki oleh kebanyakan ikan tersusun dari sel saraf dan sel otot yang telah mengalami perubahan penting. Bentuk organ listrik seperti piringan kecil yang memproduksi lendir disebut elektrosit, tersusun dan menyatu di bagian atas dari susunan lain yang sejajar. Pada umumnya, semua piringan menghadap arah yang sama yang memuat 150 atau 200 piringan setiap susunannya. Misalnya, pada ikan torpedo terdapat 140 sampai 1000 piringan listrik pada setiap kolom. Pada ikan torpedo yang sangat besar, jumlah seluruh piringan sampai setengah juta. Prinsip kerja piringan listrik ini mirip dengan cara kerja baterai. Ketika ikan beristirahat, otot-otot yang tidak berhubungan belum aktif. Namun jika menerima pesan dari saraf, akan segera bekerja secara serentak untuk mengeluarkan daya listrik. Pada saat itu, voltase semua piringan listrik atau elektrosit menyatu, sehingga mampu menghasilkan daya listrik sampai 220 volt pada ikan torpedo atau sampai 650 volt pada belut listrik.

Pada umumnya semua spesies ikan tawar hanya bersifat listrik ringan, kecuali sembilang listrik dan belut listrik. Ikan listrik yang hidup di laut memiliki tenaga listrik yang lebih kuat dan berbahaya, karena air laut mengandung garam membuat dirinya lebih tahan terhadap arus listrik. Posisi dan bentuk organ listrik ini bervariasi tergantung pada speciesnya.

Ikan ini menghasilkan pancaran listrik dalam suatu alat khusus di ekornya. Listrik ini dipancarkan melalui ribuan pori-pori di



punggung makhluk ini dalam bentuk sinyal yang untuk sementara menciptakan medan listrik di sekitarnya. Benda apa pun dalam medan ini membiaskannya, sehingga ikan ini mengetahui ukuran,

daya alir dan gerak dari benda tersebut. Pada tubuh ikan ini, ada

pengindera listrik yang terus menentukan medan ini seperti halnya radar.

Pendeknya, ikan ini memiliki radar yang memancarkan sinyal listrik dan menerjemahkan perubahan pada medan yang disebabkan oleh benda yang menghambat sinyal-sinyal di sekitar tubuhnya. Ketika kerumitan radar yang digunakan oleh manusia kita renungkan, penciptaan mengagumkan dalam tubuh ikan akan menjadi jelas.