

Semoga Allah membalas kebaikanmu.....

LISTRIK DINAMIS (ARUS SEARAH)

Kelas 12 Semester 1

Rudi Sisyanto

Hak Mencipta hanya pada Allah Subhanahu Wa Ta'ala
Tidak dilarang keras mengkopi, memperbanyak, dan
mendedarkan. Asal bukan untuk kepentingan komersial
Dzulqo'idah 1441 H





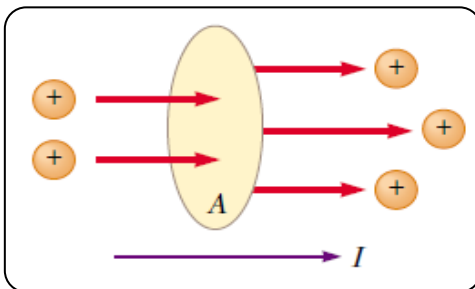
3.1 Arus Listrik

(electricity Current)

1. ARUS LISTRIK

Pada Modul Listrik Statis yang akan kita pelajari nanti, akan dijelaskan bahwa elektron-elektron bergerak atau berpindah dari rambut ke penggaris plastik sehingga penggaris tersebut bermuatan negatif. Dapatkah Anda menyalakan lampu pijar dengan menempelkan penggaris itu ke lampu pijar? Tentunya tidak dapat, karena lampu itu untuk dapat menyala memerlukan aliran elektron secara terus menerus. Untuk mengalir dari satu tempat ke tempat lain, elektron membutuhkan jalan yang tidak putus.

Arus listrik merupakan aliran partikel-partikel listrik bermuatan positif di dalam suatu penghantar, mengalir dari potensial tinggi ke potensial yang lebih rendah.



Gambar 1: Muatan yang mengalir melewati suatu luas penampang A.

Terjadinya arus listrik dari kutub positif ke kutub negatif dan aliran elektron dari kutub negatif ke kutub positif yang disebabkan oleh adanya beda potensial antara kutub positif dengan kutub negatif, dimana kutub positif mempunyai potensial yang lebih tinggi dibandingkan kutub negatif.



Beda potensial antara kutub positif dan kutub negatif dalam keadaan terbuka disebut gaya gerak listrik dan dalam keadaan tertutup disebut tegangan jepit.

Arah arus listrik ini berlawanan dengan arah gerak elektron yang mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi, artinya arah arus listrik sesuai dengan arah aliran muatan positif.

Jadi syarat terjadinya arus listrik adalah **karena adanya perbedaan potensial** yang ditimbulkan oleh sumber arus atau sumber tegangan.

Gambar 2: André-Marie Ampère (20 Januari 1775 – 10 Juni 1836) adalah fisikawan dan ilmuwan Perancis yang merupakan salah satu pelopor di bidang listrik dinamis (elektrodinamika). Lahir di Polémieux-au-Mont-d'Or dekat dengan kota Lyon. Ampère merupakan ilmuwan pertama yang mengembangkan alat untuk mengamati bahwa dua batang konduktor yang diletakkan berdampingan dan keduanya mengalirkan listrik searah akan saling tarik menarik dan jika berlawanan arah akan saling tolak menolak (elektromagnetisme).





Kuat Arus Listrik (I) didefinisikan **sebagai banyaknya muatan positif (Q) yang mengalir tiap detik pada pada suatu penghantar :**

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Besarnya muatan positif atau negatif yaitu sebesar $1,6 \times 10^{-19}$ C.

Satuan kuat arus listrik adalah Coulomb/detik yang lebih dikenal dengan Ampere (menghormati Andre Marie Ampere, Perancis, 1775 – 1836)

Rapat Arus Listrik (J) didefinisikan sebagai kuat arus (I) persatuan luas penampang penghantar (A).

$$J = \frac{I}{A} \quad (1.2)$$

Satuan Rapat arus listrik adalah A/m^2



contoh Soal 1.1.



Suatu kawat penghantar mempunyai penampang berbentuk lingkaran dengan diameternya 2 mm, dialiri arus sebesar 2 A selama 2 menit. Hitunglah jumlah muatan yang mengalir melewati suatu penampang tertentu , banyaknya muatan tersebut dan besar rapat arusnya.

Jawaban:

Jumlah muatan yang mengalir melewati suatu penampang tertentu dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.1).

Ingat; waktu yang digunakan harus dikonversikan kedalam detik.

Sehingga diperoleh **$q = 240$ C** (jawaban)

Karena 1 elektron atau 1 proton memiliki muatan sebesar $1,6 \times 10^{-19}$ C; maka banyaknya muatan yang mengalir adalah:

$$N = 240 / 1,6 \times 10^{-19} = 1,50 \times 10^{21} \text{ buah elektron}$$

Besar rapat arus yang melalui penghantar dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.2):

Ingat, luas penampang penghantar berbentuk lingkaran; sehingga luasnya adalah $3,14 \times 10^{-5} \text{ m}^2$; dan rapat arusnya adalah $J = 6,37 \times 10^4 \text{ Am}^{-2}$



2. HUKUM OHM

Seandainya dua buah konduktor memiliki beda potensial diantara keduanya, dan Anda menghubungkan konduktor-konduktor tersebut dengan batang tembaga, maka akan menimbulkan arus yang besar, namun jika Anda menghubungkannya dengan batang kaca, maka hampir tidak ada arus mengalir. Sifat-sifat yang menentukan berapa arus yang akan mengalir disebut **Resistansi**. Resistansi (hambatan) ditentukan dengan jalan memberikan beda potensial diantara dua titik pada konduktor dan mengukur arusnya.

Hukum Ω menerangkan hubungan antara tegangan (V) dengan kuat arus (I) dalam suatu penghantar, yaitu:

“Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar berbanding lurus dengan beda potensial atau tegangan antara kedua ujungnya, asalkan suhu penghantar tetap”

Secara matematis, hukum ini dituliskan dengan :

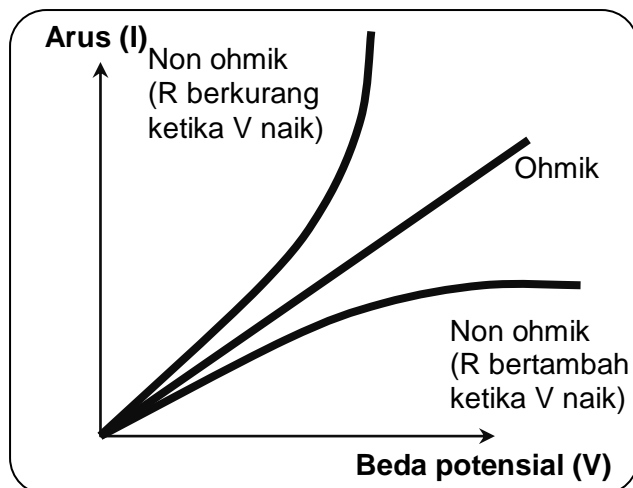
$$V_{ab} = I R \quad (1.3)$$

Satuan hambatan (R) adalah ohm yang biasanya ditulis dengan Ω . Nama Satuan ini untuk menghormati George Simon Ohm, Jerman, 1787 – 1854), sehingga dari persamaan diatas dapat didefinisikan bahwa **satu ohm** adalah **hambatan suatu penghantar apabila ujung-ujungnya diberi tegangan 1 volt dan mengalirkan arus 1 ampere**.

Hambatan dalam rangkaian listrik diberi simbol \sim atau \square

Berdasarkan persamaan hukum Ohm diatas, jika kita bikin grafik I-V, maka akan kita dapatkan grafik lurus linier ke kanan atas, dengan gradien kemiringan grafik itu adalah nilai R (resistansi bahan).

Penghantar-penghantar yang memenuhi hukum ini disebut dengan "penghantar Ohmik" dan penghantar yang tidak memenuhi hukum ini disebut dengan "penghantar non ohmik".



Gambar 3: Grafik I terhadap V untuk rangkaian Ohmic dan non ohmic.

Gambar 4: Georg Simon Ohm (16 Maret 1789 - 6 Juli 1854) adalah seorang fisikawan Jerman. Sebagai guru sekolah, Ohm memulai penelitian dengan pada sel elektrokimia, yang ditemukan oleh ilmuwan



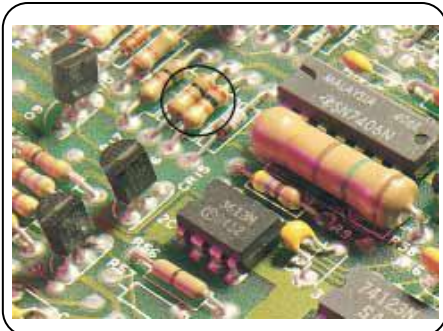
Italia Alessandro Volta. Menggunakan peralatan dari ciptaannya sendiri, Ohm menentukan bahwa ada perbandingan langsung antara beda potensial (tegangan) pada sebuah konduktor dan arus listrik.

Georg Simon Ohm dilahirkan di Erlangen, Bavaria, anak Johann Wolfgang Ohm, seorang tukang kunci dan Maria Elizabeth Beck, putri seorang penjahit di Erlangen.

Sayangnya, pada saat dia mengumumkan penemuan itu di tahun 1827, ide itu dicekal oleh para koleganya. Dengan tidak mengenal putus asa dan rasa malu George tetap mengajar di kelasnya dan hidup dalam tekanan ekonomi sampai akhirnya idenya diterima di Nuremberg pada tahun 1833 hingga mendapat gelar profesor



3. HAMBATAN LISTRIK



Hambatan atau resistansi berguna untuk mengatur besarnya kuat arus listrik yang mengalir melalui suatu rangkaian listrik. Dalam radio dan televisi, resistansi berguna untuk menjaga kuat arus dan tegangan pada nilai tertentu dengan tujuan agar komponen-komponen listrik lainnya dapat berfungsi dengan baik.

Besar hambatan suatu penghantar tergantung kepada Panjang (l), luas penampang (A) dan hambatan jenis penghantar (ρ). Secara matematis:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1.4)$$

Hambatan jenis (ρ) didefinisikan **sebagai perbandingan antara kuat medan listrik dengan rapat arusnya** :

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (1.5)$$

Tabel 1.1: Hambatan Jenis (ρ) pada beberapa bahan konduktor dan semikonduktor (pada suhu 20°C)

Bahan	ρ (Ω m)	Bahan	ρ (Ω m)
Perak (silver)	$1,59 \times 10^{-8}$	Grafit	$3,50 \times 10^{-5}$
Tembaga (Copper)	$1,72 \times 10^{-8}$	Germanium	$5,00 \times 10^{-1}$
Emas (Gold)	$2,44 \times 10^{-8}$	Silikon	$6,42 \times 10^2$
Aluminium	$2,82 \times 10^{-8}$	Sulfur	
Tungsten	$5,65 \times 10^{-8}$	Kuarsa	$7,5 \times 10^{17}$
Besi (Iron)	$9,71 \times 10^{-8}$	Kaca	$10^{10} - 10^{14}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$		
Nikrom	100×10^{-8}		





Umumnya hambatan jenis suatu penghantar ρ dipengaruhi oleh jenis penghantar dan suhu. Hambatan jenisnya umumnya akan naik jika suhunya bertambah, kecuali bahan PTC yang biasa disebut sebagai semikonduktor yaitu grafit, germanium dan silikon yang nilai hambatan jenisnya menurun jika mengalami kenaikan suhu.

$$\rho_t = \rho_o (1 + \alpha \Delta T) \quad (1.6)$$

Dimana α = tetapan suhu (per $^{\circ}\text{C}$),

Oleh karena hambatan R berbanding lurus dengan ρ , maka persamaan (1.6) diatas dapat dituliskan dengan:

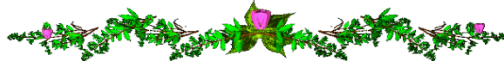
$$R_t = R_o (1 + \alpha \Delta T) \quad (1.7)$$

Tabel 1.2: Koefisien suhu (α) pada beberapa bahan konduktor dan semikonduktor (pada suhu 20°C)

Bahan	α (per $^{\circ}\text{C}$)	Bahan	α (per $^{\circ}\text{C}$)
Perak	0,0038	Grafit	- 0,0005
Tembaga	0,0039	Germanium	- 0,0480
Aluminium	0,0039	Silikon	- 0,0750
Besi	0,0050		
Tungsten	0,0045		
Besi	0,0050		



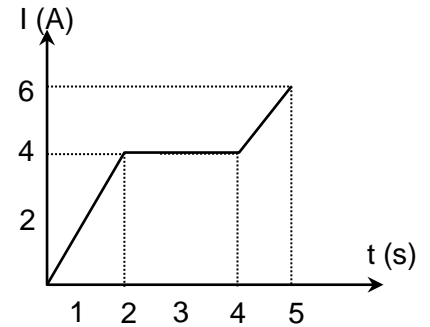
Soal Latihan 1.1.



- Kuat arus listrik yang mengalir pada suatu kabel yang luas penampangnya $0,2 \text{ mm}^2$ dalam suatu rangkaian listrik adalah $0,18 \text{ mA}$. Hitunglah:
 - Rapat arus listriknya
 - Dalam setengah jam, berapakah besar muatan yang melalui kabel tersebut
 - Bila muatan elektron $- 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, berapa banyak elektron yang mengalir dalam 1 jam
- Sebuah perangkat listrik mengalirkan arus $1,0 \mu\text{A}$. Berapakah jumlah elektron yang dialirkan oleh perangkat listrik tersebut setiap detik? Hitung juga jumlah elektron yang mengalir selama dua menit!



3. Grafik disamping menunjukkan kuat arus listrik yang mengalir dalam suatu hambatan R sebagai fungsi waktu.
- Berapakah banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam hambatan tersebut selama i) tiga detik pertama dan ii) lima detik pertama?
 - Tentukanlah banyaknya elektron yang mengalir selama waktu tersebut diatas!



4. Hitunglah hambatan sebuah kawat penghantar yang terbuat dari besi yang panjangnya 1 cm dan diameter 1,2 mm! (hambatan jenis besi $9,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$)
5. Dua buah kawat penghantar terbuat dari bahan yang sama. Jika panjang kawat kedua sama dengan dua kali kawat pertama, jari-jari kawat kedua sama dengan setengah kali jari-jari kawat pertama dan besarnya hambatan kawat pertama 20Ω . Hitunglah besar hambatan kawat kedua!
6. Sebuah solenoida mempunyai hambatan 50Ω pada suhu 25°C , sedangkan pada suhu 40°C hambatannya $50,5 \Omega$. Hitunglah koefisien hambatan jenisnya
7. Sebuah termometer hambatan logam memiliki hambatan 60Ω sewaktu dicelupkan ke dalam es yang sedang melebur, dan memiliki hambatan 80Ω sewaktu dicelupkan ke dalam air yang sedang mendidih. Tentukanlah:
- Hambatan jenis kawat
 - Suhu yang ditunjukkan termometer tersebut ketika hambatan logam bernilai 75Ω
 - Suhu yang ditunjukkan termometer tersebut ketika hambatan logam bernilai 45Ω





3. RANGKAIAN PADA RESISTOR

Secara Umum Rangkaian pada Resistor dapat dibedakan menjadi dua, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel; yang mempunyai perbedaan sebagai berikut:

Tabel 1.3: Perbedaan Rangkaian Seri dan Rangkaian Paralel.

KEADAAN RANGKAIAN SERI	RANGKAIAN PARALEL
Bentuk Rangkaian	
Kegunaan Digunakan <i>untuk memperbesar hambatan</i> dan berfungsi sebagai <i>pembagi tegangan</i>	Digunakan untuk <i>memperkecil hambatan</i> dan berfungsi sebagai <i>pembagi arus</i>
Hambatan Pengganti Hambatan pengganti rangkaian sama dengan jumlah aljabar hambatan masing-masing:	Hambatan Pengganti yaitu:
$R_{total} = \sum R_i$ $= R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Kuat Arus Kuat arus pada masing-masing resistor sama besar, yaitu sama dengan kuat arus resistor pengganti/ ekuivalen/ total	Kuat arus pada resistor pengganti sama dengan jumlah hambatan masing-masing kapasitor
$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$	$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$





KEADAAN RANGKAIAN SERI

RANGKAIAN PARALEL

Beda Potensial Beda potensial kapasitor pengganti sama dengan jumlah potensial masing resistor

$$V_t = \sum V_i \\ = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Tegangan pada tiap-tiap hambatan sebanding dengan hambatannya

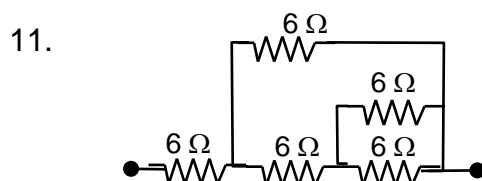
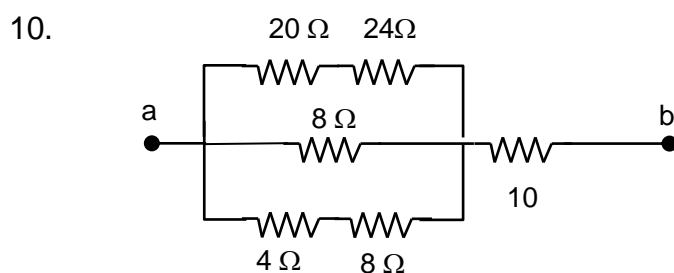
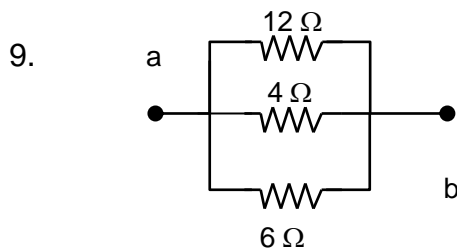
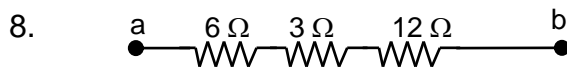
$$V_1 : V_2 : V_3 : V_n \\ = R_1 : R_2 : R_3 : R_n$$

Potensial pada masing-masing resistor sama besar, yaitu sama dengan potensial resistor pengganti/ekivalen/total

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

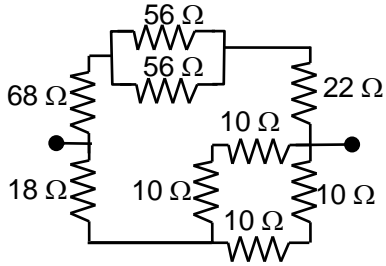
Soal Latihan 2.

Untuk soal-soal berikut ini, hitunglah besarnya hambatan total antara titik a dan b dari rangkaian berikut ini!

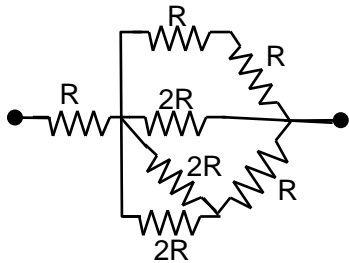




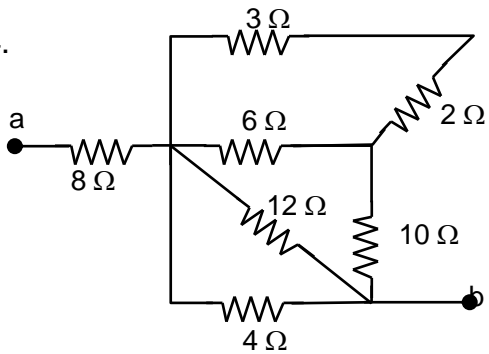
12.



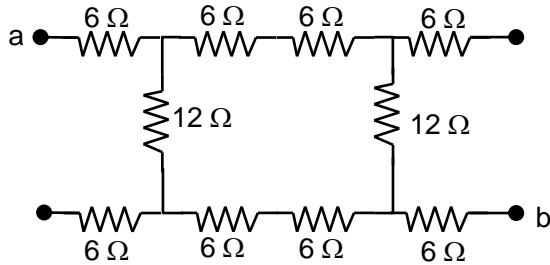
13.



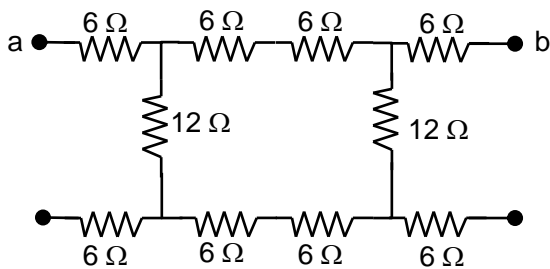
14.



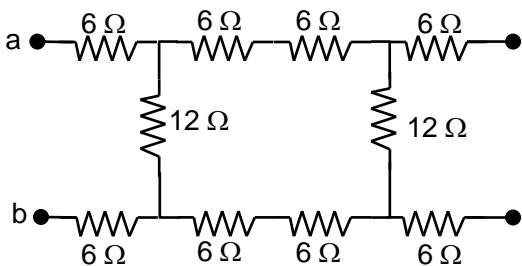
15.



16.



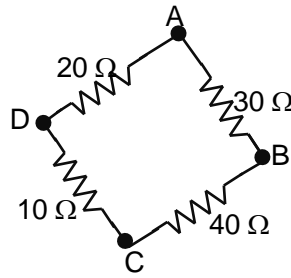
17.





18. Tentukan hambatan pengganti antara :

- Titik A dan B
- Titik C dan D
- Titik B dan C
- Titik A dan D



Semakin Dekat

Ada yang semakin dekat dalam kehidupan ini
 Semakin dekat dengan kematian
 Semakin dekat dengan keabadian
 Semakin dekat dengan kesejatan
 Semakin dekat dengan hari yang dinantikan
 Semakin dekat dengan janji yang ditunaikan
 Semakin dekat dengan...

Seharusnya semakin dekat dengan kebaikan!
 ----- (eR-Sis)

5. HUKUM 1 KIRCHHOFF

Dengan menggunakan hukum Ohm kita dapat menemukan besarnya arus yang mengalir pada suatu rangkaian gabungan seri-paralel. Meskipun demikian, kadang-kadang kita menjumpai rangkaian yang sulit untuk dianalisis. Sebagai suatu contoh, kita tidak dapat menemukan aliran arus pada setiap bagian rangkaian sederhana dengan kombinasi hambatan seri dan paralel.

Menghadapi rangkaian yang sulit seperti ini, kita menggunakan hukum-hukum yang ditemukan oleh G. R. Kirchhoff (1824-1887) pada pertengahan abad 19. Terdapat dua hukum Kirchooff, dan hukum-hukum ini adalah aplikasi sederhana yang baik sekali dari hukum-hukum kekekalan muatan dan energi. **Hukum pertama Kirchhoff** atau **hukum persambungan** (junction rule) didasarkan atas hukum kekekalan muatan, dan kita telah menggunakannya pada kaidah untuk hambatan-hambatan paralel.

Dalam alirannya, arus listrik juga mengalami cabang-cabang. Ketika arus listrik melalui percabangan tersebut, arus listrik terbagi pada setiap percabangan dan besarnya tergantung ada tidaknya hambatan pada cabang tersebut. Bila hambatan pada cabang tersebut besar maka akibatnya arus listrik yang melalui cabang tersebut juga mengecil dan sebaliknya bila pada cabang, hambatannya kecil maka arus listrik yang melalui cabang tersebut arus listriknya besar.

Besarnya arus listrik pada masing-masing cabang dikenal dengan hukum 1 Kirchoff atau disebut juga dengan hukum kekekalan muatan listrik, yaitu:

“Jumlah kuat arus listrik yang masuk ke suatu titik cabang sama dengan arus listrik yang keluar dari titik tersebut”

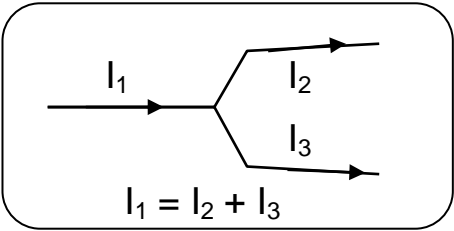




Secara matematis, persamaan ini dituliskan dengan :

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}} \tag{1.8}$$

Hukum ini merupakan penerapan hukum kekekalan muatan pada rangkaian listrik yang menyatakan bahwa jumlah muatan listrik pada suatu rangkaian listrik selalu tetap.



Gambar 5: Gustav Robert Kirchhoff (12 Maret, 1824 – 17 Oktober, 1887), adalah seorang fisikawan Jerman yang berkontribusi pada pemahaman konsep dasar teori rangkaian listrik, spektroskopi, dan emisi radiasi benda hitam yang dihasilkan oleh benda-benda yang dipanaskan. Dia menciptakan istilah radiasi "benda hitam" pada tahun 1862. Terdapat 3 konsep fisika berbeda yang kemudian dinamai berdasarkan namanya, "hukum Kirchhoff", masing-masing dalam teori rangkaian listrik, termodinamika, dan spektroskopi.

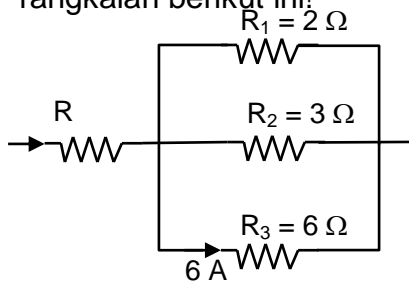
Gustav Kirchhoff dilahirkan di Königsberg, Prusia Timur (sekarang Kaliningrad, Rusia), putra dari Friedrich Kirchhoff, seorang pengacara, dan Johanna Henriette Wittke. Dia lulus dari Universitas Albertus Königsberg (sekarang Kaliningrad) pada 1847 dan menikahi Clara Richelot, putri dari profesor-matematikanya, Friedrich Richelot. Pada tahun yang sama, mereka pindah ke Berlin, tempat dimana ia menerima gelar profesor di Breslau (sekarang Wroclaw)



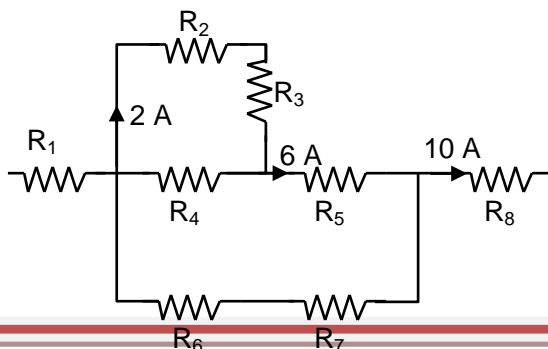
Soal Latihan 3



19. Hitunglah besarnya kuat arus yang melalui tiap-tiap hambatan dari rangkaian berikut ini!



20. Hitunglah besarnya kuat arus yang melalui tiap-tiap hambatan dari rangkaian berikut ini!

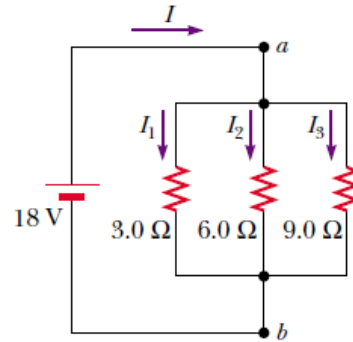




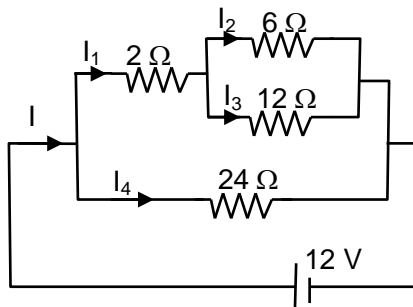
21. Tiga resistor dihubungkan paralel seperti ditunjukkan pada gambar. Antara titik A dan B dihubungkan dengan beda potensial 18 V.

Hitunglah

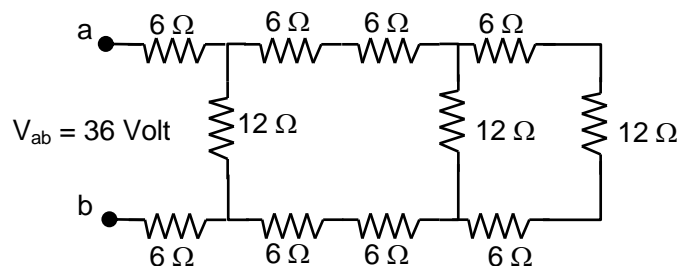
- Arus yang mengalir pada masing-masing resistor
- Hambatan total dari rangkaian



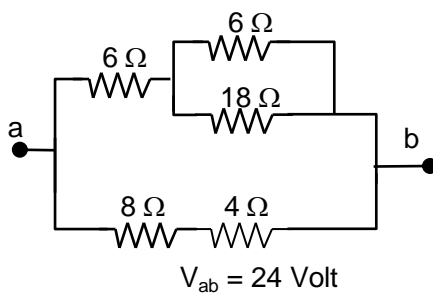
22. Tentukan besarnya kuat arus dan tegangan pada masing-masing hambatan berikut!



23. Hitunglah tegangan dan kuat arus pada masing-masing hambatan berikut ini!



24. Hitunglah tegangan dan kuat arus pada masing-masing hambatan berikut ini!





6. HUKUM II KIRCHHOFF

Bunyi Hukum II Kirchoof adalah :

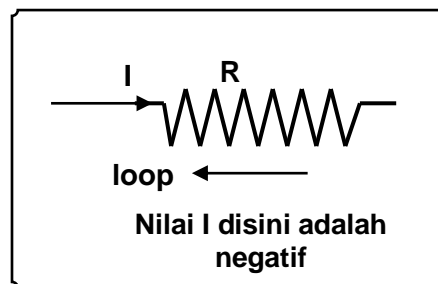
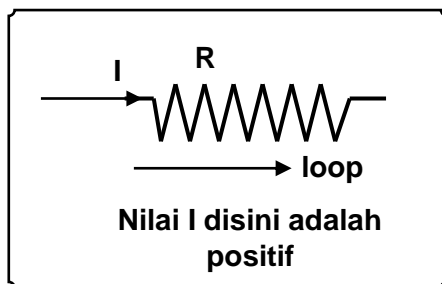
Didalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik (E) sama dengan penurunan tegangan (I, R) sama dengan nol

$$\sum \varepsilon + \sum IR = 0 \quad (1.9)$$

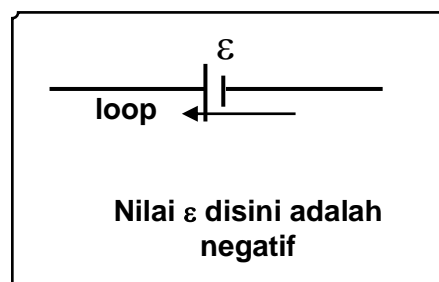
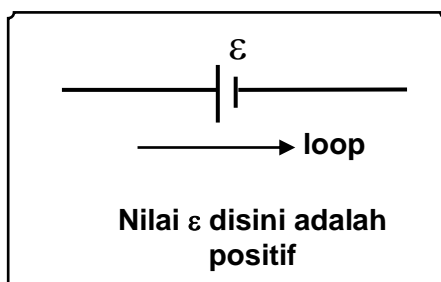
Pemakaian Hukum II Kirchhoff pada rangkaian tertutup yaitu karena ada rangkaian yang tidak dapat disederhanakan menggunakan kombinasi seri dan paralel. Umumnya ini terjadi jika dua atau lebih ggl di dalam rangkaian yang dihubungkan, sehingga penyederhanaan rangkaian seperti ini memerlukan teknik khusus untuk dapat menjelaskan atau mengoperasikan rangkaian tersebut.

Untuk menggunakan persamaan di atas, terutama untuk satu atau dua loop, perlu diperhatikan ketentuan berikut:

- **Kuat arus bertanda positif jika searah dengan loop atau perumpamaan arus pada loop dan bertanda negatif jika berlawanan dengan arah loop.**



- **GGL bertanda positif jika kutub positifnya pada ggl lebih dulu di jumpai loop dan sebaliknya ggl negatif jika kutub negatif lebih dulu di jumpai loop**



- Untuk menentukan arah putaran arus pada loop sebaiknya diarahkan searah dengan arah arus. Arus yang searah dengan arah perumpamaan dianggap positif, yang berlawanan dengan negatif
- Dari satu titik cabang ke titik cabang yang lainnya kuat arusnya adalah sama
- Dari hasil perhitungan akhir, bila kuat arus berharga positif arah yang diambil adalah benar, bila negatif, maka arah arus sebenarnya berlawanan dengan arah pada perumpamaan





6.1. Tegangan antara dua titik pada suatu cabang:

Tegangan (beda potensial) antara dua titik pada suatu cabang, misalnya titik A dan B disebut dengan V_{AB} merupakan **jumlah aljabar gaya gerak listrik (ε) dengan penurunan tegangan (iR)**, yang secara matematis dituliskan dengan:

$$V_{AB} = \sum \varepsilon + \sum IR \quad (1.10)$$

Aturan penentuan tanda positif dan negatif mengacu pada Hukum Kirchoff II.

6.2. Tegangan Jepit

Pada setiap baterai, biasanya mengandung suatu hambatan karena kelajuan reaksi kimia yang berlangsung di dalam baterai akan membatasi jumlah arus yang dapat dihasilkan. Jadi jika tidak ada arus yang mengalir, biasanya tidak ada penurunan tegangan, tapi jika ada arus yang mengalir pada elemen tersebut, maka tegangan antara kutub-kutubnya akan berkurang.

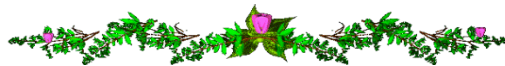
Tegangan pada elemen ini pada saat arus mengalir disebut dengan **tegangan jepit**, V_{jepit} ; yang besarnya:

$$V_{jepit} = \varepsilon - i r \quad (1.11)$$

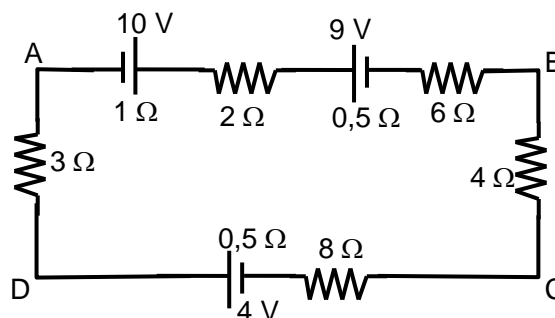
Tegangan pada ujung-ujung baterai saat baterai tidak dihubungkan ke beban disebut dengan **gaya gerak listrik (ε)**.



contoh Soal 4



Suatu rangkaian tertutup terlihat seperti pada gambar berikut!



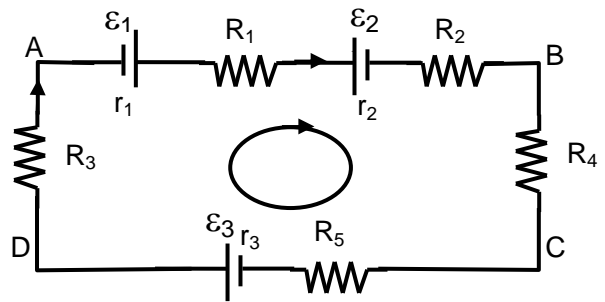
Tentukanlah:

- Tentukan besarnya kuat arus yang mengalir melalui loop
- Tegangan jepit masing-masing baterai
- Tegangan antara dua titik, yaitu tegangan antara titik A dan C atau V_{AC}



Jawaban:

Untuk memudahkan analisisnya, tegangan dan hambatan diberi simbol berikut, dan arah aliran arus pada loop kita misalkan searah dengan arah jarum jam.



Sesuai dengan hukum Kirchoof II;

$$\sum \varepsilon + \sum IR = 0$$

Dan ketentuan nilai ε , maka:

$$-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = i(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_4 + R_5 + r_3 + R_3)$$

Didapatkan nilai kuat arus, **$i = 0,2 \text{ A}$ (jawaban)**

Besar tegangan antara titik A dan C atau V_{AC} dari soal diatas, dapat dihitung dengan dua jalan, yaitu dari A ke C melalui B atau dari A ke C melalui D;

Jika melalui B, maka:

$$V_{AC} = -\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + i(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_4)$$

Didapatkan nilai $V_{AC} = 1,7 \text{ Volt}$ (jawaban)

Jika melalui D, maka:

$$V_{AC} = \varepsilon_3 + (-i)(R_3 + r_3 + R_5)$$

Didapatkan nilai $V_{AC} = 1,7 \text{ Volt}$ (jawaban)

Besar tegangan jepit pada masing-masing elemen pada contoh diatas, akan menjadi:

- Pada elemen pertama, $V_{jepit} = 10 - (0,2)(1) = 9,8 \text{ Volt}$ (jawaban)
- Pada elemen kedua, $V_{jepit} = 9 - (0,2)(0,5) = 8,9 \text{ Volt}$ (jawaban)
- Pada elemen ketiga, $V_{jepit} = 4 - (0,2)(0,5) = 3,9 \text{ Volt}$ (jawaban)

6.3. Gabungan Sumber Tegangan

Untuk mendapatkan **elemen dengan ggl besar**, maka beberapa **elemen dirangkai seri**, karena **nilai ggl yang didapatkannya merupakan penjumlahan dari masing-masing ggl elemen**.

$$\varepsilon_s = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n$$

(1.12)

Dan begitu juga dengan hambatan dalam penggantinya:

$$r_s = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

(1.13)





Sedangkan untuk mendapatkan **elemen yang memiliki kemampuan menghasilkan kuat arus yang besar**, maka beberapa **elemen disusun paralel**; pada rangkaian paralel ini, **besarnya ggl paralel sama dengan besar ggl masing-masing elemen**;

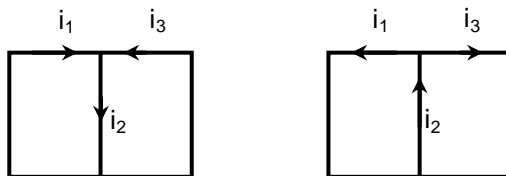
$$\varepsilon_s = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \dots = \varepsilon_n \quad (1.14)$$

Sedang hambatan dalam penggantinya adalah:

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \quad (1.15)$$

6.4. Rangkaian Dengan Dua Buah Loop

1. Untuk setiap loop harus diumpamakan arah putaran arusnya (arah loop). Ada dua cara untuk memisalkan, yaitu:



sehingga dari kedua permisalan ini didapatkan Hukum Kirchooff I, yaitu: $i_1 + i_3 = i_2$

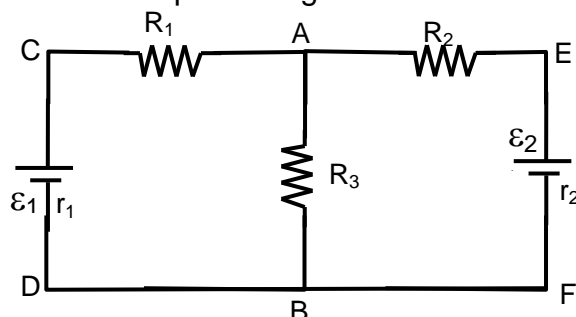
2. Arus yang searah dengan arah perumpamaan dianggap positif, yang berlawanan dengan negatif
3. Dari satu titik cabang ke titik cabang yang lainnya kuat arusnya adalah sama.
4. Dari hasil perhitungan akhir, bila kuat arus berharga positif arah yang diambil adalah benar, bila negatif, maka arah sebenarnya berlawanan dengan arah pada perumpamaan



contoh Soal 5



Diketahui pada rangkaian ini:



$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 10 \text{ Volt} \\ \varepsilon_2 &= 10 \text{ Volt} \\ R_1 &= 5 \Omega \\ R_2 &= 5 \Omega \\ R_3 &= 2 \Omega \\ r_1 &= 1 \Omega \\ r_2 &= 1 \Omega \end{aligned}$$

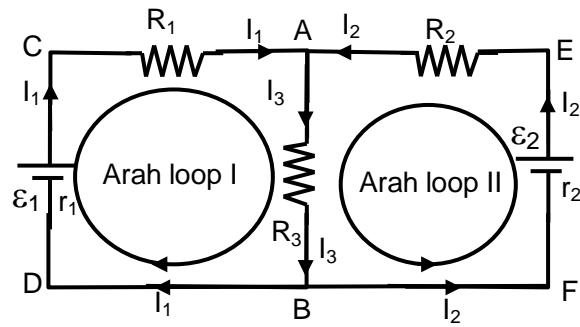
Hitunglah besarnya kuat arus yang mengalir dalam rangkaian dan beda potensial antara A dan B (V_{AB})





Jawaban:

Sebelum menggunakan persamaan-persamaan hukum Kirchhoff, terlebih dahulu kita buat sketsa permisalan arus listriknya. Pada dasarnya kita dibebaskan untuk memisalkan kemana arah arusnya. Perhatikan diagram permisalan arah putaran arus berikut ini:



Berdasarkan Hukum I Kirchhoff, di titik simpul A:

$$\Sigma I_{\text{masuk}} = \Sigma I_{\text{keluar}}$$
$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{atau} \quad I_1 = I_3 - I_2 \quad \text{atau} \quad I_2 = I_3 - I_1 \quad \dots\dots\dots(\text{persamaan a})$$

Berdasarkan Hukum II Kirchhoff untuk loop I atau loop C-A-B-D-C:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$
$$-\varepsilon_1 + I_1(r_1 + R_1) + I_3 \cdot R_3 = 0$$
$$-10 + I_1(1 + 5) + I_3 \cdot 2 = 0$$
$$-10 + 6 I_1 + 2 I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(\text{persamaan b})$$

Berdasarkan hukum II kirchhoff untuk loop II atau loop F-E-A-B-F:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$
$$-\varepsilon_2 + I_2(r_2 + R_2) + I_3 \cdot R_3 = 0$$
$$-10 + I_2(1 + 5) + I_3 \cdot 2 = 0$$
$$-10 + 6 I_2 + 2 \cdot I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(\text{persamaan c})$$

Selanjutnya substitusikan (menyamakan dengan memasukkan nilai) persamaan (a) dan (b) sehingga persamaan (b) menjadi:

$$-10 + 6 I_1 + 2 I_3 = 0 \quad \text{dimana} \quad I_1 = I_3 - I_2$$
$$-10 + 6(I_3 - I_2) + 2 I_3 = 0$$
$$-10 + 6 I_3 - 6 I_2 + 2 I_3 = 0$$
$$-10 - 6 I_2 + 8 I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(\text{persamaan d})$$

Selanjutnya eliminasi persamaan c dan d sehingga:

$$\begin{aligned} & - \text{persamaan (c)} : -10 + 6 I_2 + 2 I_3 = 0 \\ & - \text{persamaan (d)} : -10 - 6 I_2 + 8 I_3 = 0 \\ & \hline & -20 + 10 I_3 = 0 \\ & 10 I_3 = 20 \quad \rightarrow \quad I_3 = 2 \text{ Ampere (jawaban)} \end{aligned}$$

- Masukkan (substitusikan) $I_3 = 2 \text{ A}$ ke persamaan (b), sehingga:

$$-10 + 6 I_1 + 2(2) = 0 \quad \rightarrow \quad 6 I_1 = 6 \quad \rightarrow \quad I_1 = 1 \text{ Ampere (jawaban)}$$

dan

$$I_2 = I_3 - I_1 = 2 - 1 \quad \rightarrow \quad I_2 = 1 \text{ Ampere (jawaban)}$$





Jadi:

Arus listrik pada cabang rangkaian B-D-C-A → $I_1 = 1 \text{ A}$.
 Arus listrik pada cabang rangkaian B-F-E-A → $I_2 = 1 \text{ A}$.
 Arus listrik pada cabang rangkaian A-B → $I_3 = 2 \text{ A}$.

{Semua harga I_1 , I_2 dan I_3 bertanda positif (+), berarti arah pemisalan yang telah kita tentukan yaitu arah I sesuai}.

MENGHITUNG BEDA POTENSIAL ANTARA TITIK CABANG

Kita dapat menghitung besar beda potensial antara A dan B (V_{AB}) dengan tiga cara, yaitu:

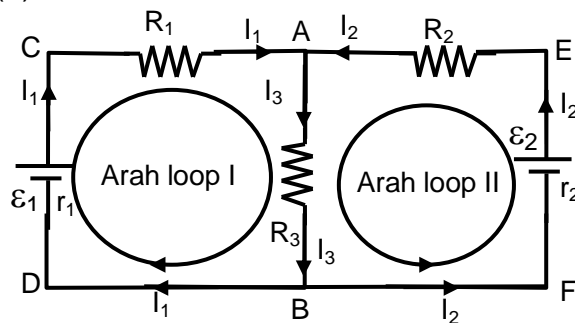
- untuk lintasan yang menempuh jalan A – B (langsung),
- untuk lintasan yang menempuh jalan A – C – D – B
- untuk lintasan yang menempuh jalan A – E – F – B

Untuk jalan A-B (langsung)

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \sum \varepsilon + \sum IR \\ &= 0 + I_3 (R_3) = 0 + 2 (2) \\ V_{AB} &= + 4 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Untuk Jalan A-C –D-B:

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \sum \varepsilon + \sum IR \\ &= + \varepsilon_1 + I_1 (R_1 + r_1) \\ &= + 10 + (-1)(5 + 1) \\ &= + 10 - 6 = + 4 \\ V_{AB} &= + 4 \text{ Volt} \end{aligned}$$



Untuk jalan A-E-F-B:

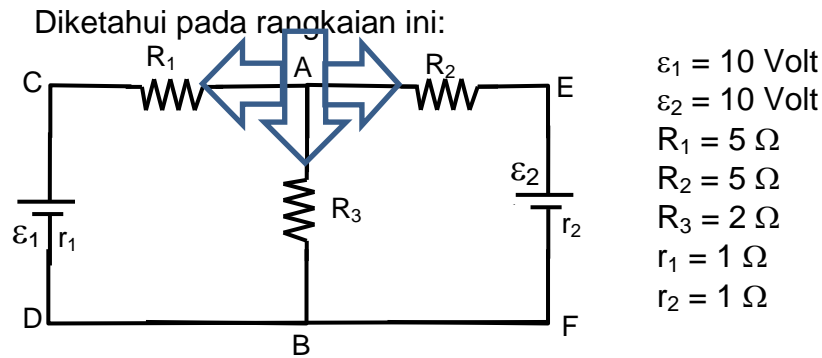
$$\begin{aligned} V_{AB} &= \sum \varepsilon + \sum IR \\ &= + \varepsilon_2 - I_2 (R_2 + r_2) \\ &= + 10 - 1 (5 + 1) = + 10 - 6 = + 4 \\ V_{AB} &= + 4 \text{ volt} \end{aligned}$$

Jadi besar beda potensial antara titik A dan B yaitu $V_{AB} = + 4 \text{ volt}$, dengan cara yang serupa Anda dapat menentukan bahwa besar $V_{BA} = - 4 \text{ volt}$





Contoh Soal di atas dapat dihitung dengan cara lain yang lebih sederhana, yaitu:



Soal Latihan 4

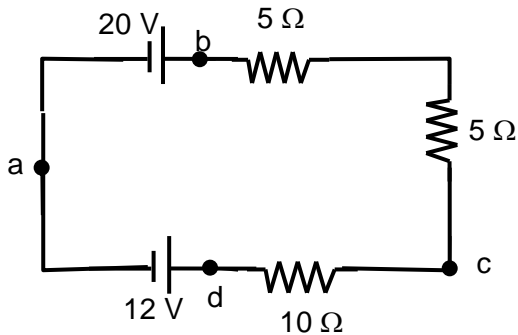


25. Beberapa buah baterai disusun paralel dan dihubungkan dengan sebuah lampu yang hambatannya $1,2 \Omega$. Tiap-tiap baterai mempunyai ggl $1,5 \text{ V}$ dan hambatan dalam $0,2 \Omega$. Apabila kuat arus yang mengalir melalui lampu sebesar $1,2 \text{ A}$, berapakah banyak baterai yang disusun paralel tersebut?





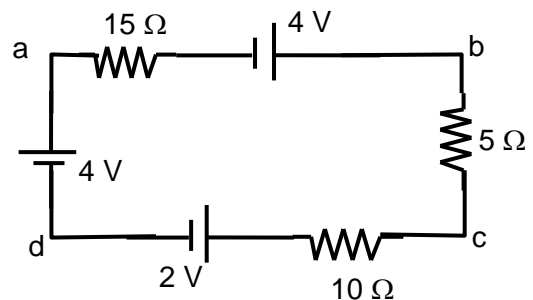
26. Tegangan jepit sebuah baterai 8 V ketika menyuplai arus 3 A dan menjadi 7,5 V ketika menyuplai arus 5 A. Tentukan hambatan dalam dan ggl baterai tersebut!
27. Tiga buah baterai dengan ggl setiap baterai 1,5 V dan hambatan dalam setiap baterai $0,2 \Omega$. Kemudian dihubungkan dengan 2 buah lampu dengan hambatan sama besar yaitu 4Ω yang disusun paralel. Tentukanlah:
- Kuat arus yang melalui rangkaian
 - Tegangan jepit baterai
28. Tentukan kuat arus dan tegangan antara titik a dan c pada rangkaian di samping!



29. Perhatikan rangkaian berikut:

Tentukan:

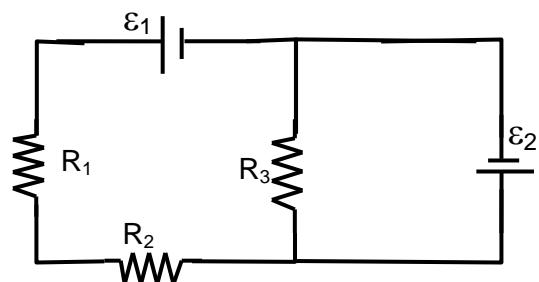
- Kuat arus yang mengalir melalui rangkaian
- Tegangan antara ab dan bd



30. Tentukan besar kuat arus yang melalui ϵ_1 , ϵ_2 , dan R_3 !

$$\epsilon_1 = 6 \text{ V}, \epsilon_2 = 9 \text{ V};$$

$$R_1 = 4 \Omega, R_2 = 6 \Omega, R_3 = 10 \Omega$$

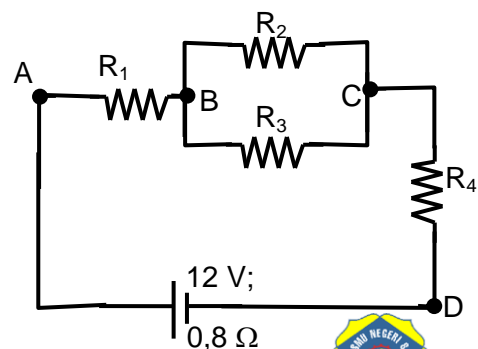


31. Perhatikan rangkaian berikut!

$$\text{Jika } R_1 = R_3 = 18 \Omega, R_2 = R_4 = 9 \Omega,$$

Tentukanlah:

- Kuat arus yang melalui rangkaian
- Kuat arus yang melalui R_2 dan R_3
- Tegangan antara B dan C
- Tegangan jepit baterai





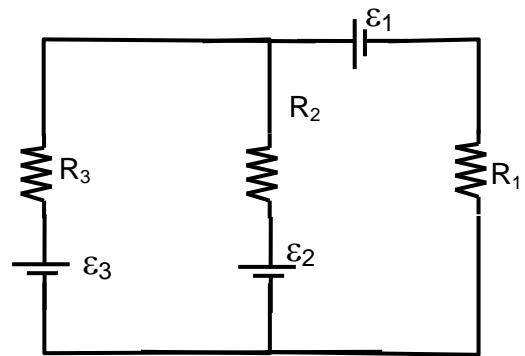
32. Perhatikan rangkaian berikut!

Jika $R_1 = R_2 = R_3 = 5 \Omega$

$\varepsilon_1 = 20 \text{ V}$; $\varepsilon_2 = 15 \text{ V}$; $\varepsilon_3 = 10 \text{ V}$

Tentukanlah:

- Besar dan arah Kuat arus yang melalui setiap hambatan
- Tegangan jepit pada setiap sumber tegangan

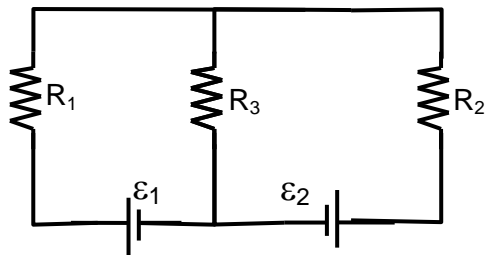


33. Perhatikan rangkaian tertutup berikut!

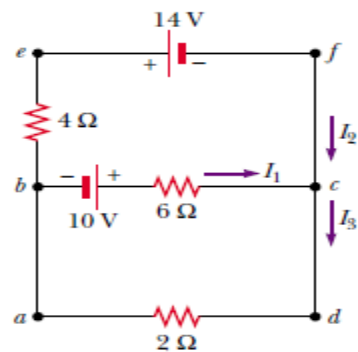
Jika $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$,

$\varepsilon_1 = 8 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 18 \text{ V}$

Tentukan besar dan arahnya kuat arus pada masing-masing hambatan!



34. Tentukanlah kuat arus I_1 , I_2 , dan I_3 pada pada rangkaian disamping, Tentukan juga beda tegangan antara titik b dan c



35. Perhatikan rangkaian majemuk berikut!

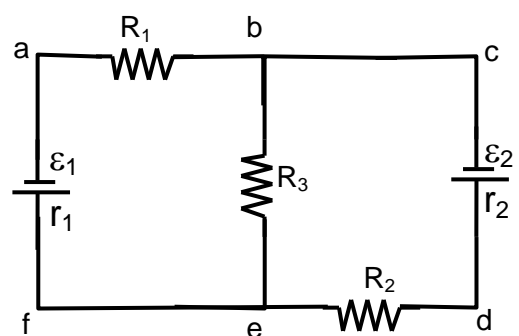
Jika $R_1 = 0,3 \Omega$, $R_2 = 0,5 \Omega$, $R_3 = 1,5 \Omega$

$\varepsilon_1 = 10 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 12 \text{ V}$

$r_1 = 0,2 \Omega$, $r_2 = 0,25 \Omega$

Tentukan:

- Besar dan arah Kuat arus pada setiap titik cabang
- Tegangan listrik antara titik be, dan cd





36. Perhatikan rangkaian berikut!

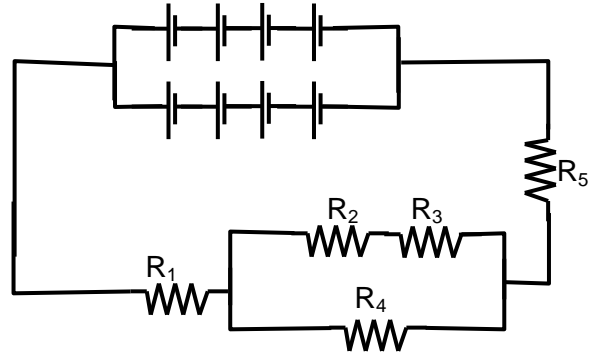
Jika masing-masing elemen ber-ggl 1,5 volt dan hambatan dalamnya 0,5 Ω ,

$R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$,

$R_4 = 6 \Omega$, $R_5 = 1 \Omega$

tentukanlah:

- Ggl baterai
- Kuat arus pada rangkaian



37. Rangkaian listrik tampak seperti pada gambar berikut!

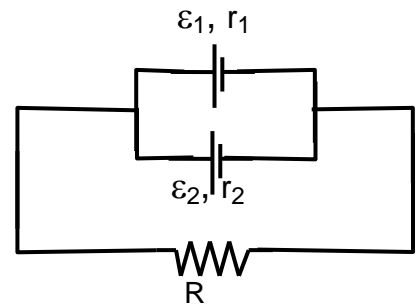
Jika $\varepsilon_1 = 1,8 \text{ V}$; $r_1 = 0,6 \Omega$,

$\varepsilon_2 = 1,5 \text{ V}$; $r_2 = 0,3 \Omega$

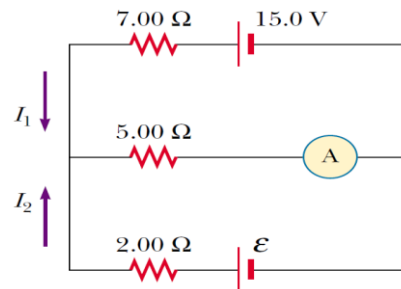
Dan $R = 3 \Omega$

Tentukanlah:

- Ggl baterai
- Kuat arus (I) yang mengalir pada rangkaian

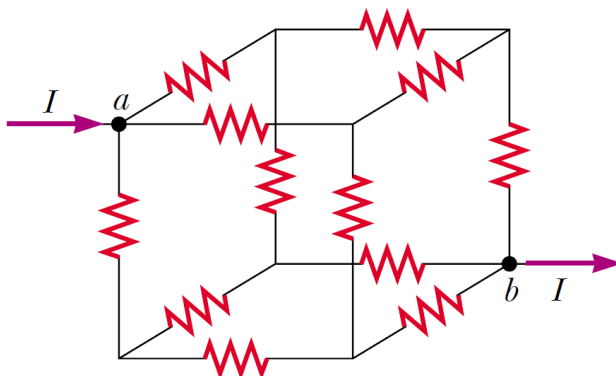
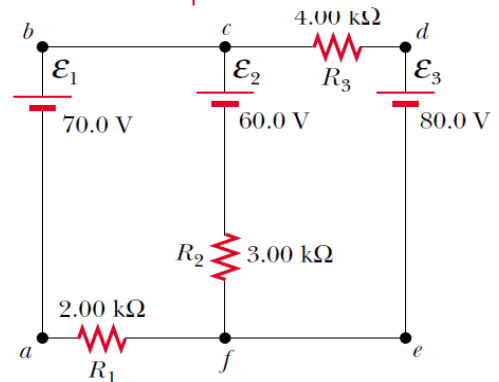


38. Amperemeter yang dipasang pada rangkaian seperti gambar di samping menunjukkan nilai 2,0 A. Tentukanlah nilai I_1 , I_2 dan ε .



39. Tentukan arus pada masing-masing resistor seperti pada gambar disamping. Tentukan juga beda tegangan antara titik c dan f, manakah titik yang memiliki potensial lebih tinggi?

40. Jika semua resistor bernilai r , tentukanlah hambatan total antara titik a dan b.





Sesungguhnya...
beserta Kesukaran ada Kemudahan.
Maka apabila engkau telah selesai dari suatu urusan...
maka kerjakanlah urusan yang lain dengan sungguh-sungguh.
Dan hanya kepada Tuhanmu hendaklah engkau berharap.

-Qs. Al Insyiraah : 6-8-

7. PENGUKURAN KUAT ARUS, TEGANGAN & HAMBATAN

Saat ini pengukuran alat ukur listrik sebagian besar menggunakan penunjukkan digital, sedangkan alat ukur yang menggunakan jarum penunjuk yang disebut meter analog, sudah mulai banyak ditinggalkan orang. Namun prinsip-prinsip pengukuran menggunakan kedua alat ukur tersebut pada hakekatnya sama.

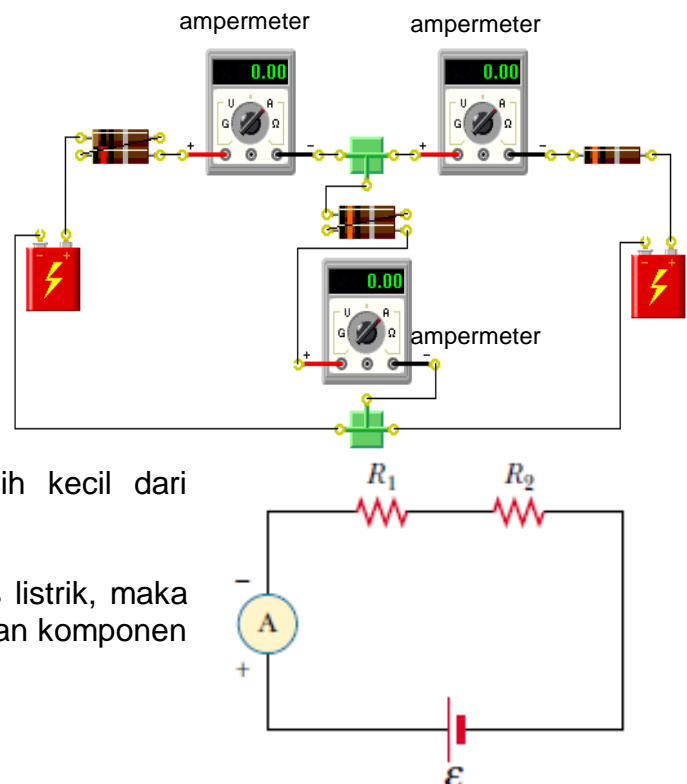
Pengukuran kuat arus listrik dapat dilakukan dengan menggunakan **ampermeter**, dimana **ampermeter dihubungkan seri** pada rangkaian, sedangkan **pengukuran tegangan listrik** dengan menggunakan **voltmeter**, dimana **voltmeter dipasang paralel** pada rangkaian.

7.1. Pengukuran Kuat Arus Listrik

Perhatikan Pengukuran Kuat Arus dengan Ampermeter (ammeter) berikut ini:

Oleh karena pengukuran dilakukan secara seri, maka idealnya hambatan ampermeter (hambatan dalam yang dimiliki oleh ampermeter) haruslah sama dengan nol, namun karena pada praktiknya sulit menghilangkan hambatan ampermeter, maka diupayakan agar hambatan yang dimilikinya jauh lebih kecil dari hambatan rangkaian.

Ingat, pada pengukuran kuat arus listrik, maka ampermeter harus dipasang seri dengan komponen yang akan diukur kuat arus listriknya.

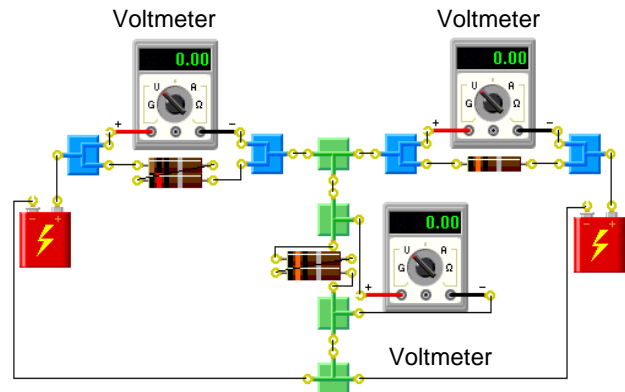




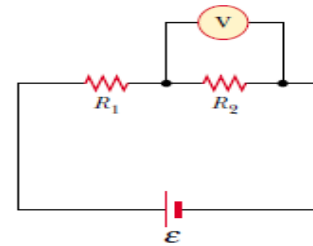
7.2. Pengukuran Tegangan Listrik

Perhatikan Pengukuran tegangan listrik dengan voltmeter berikut ini:

Oleh karena pengukuran tegangan listrik dilakukan dengan memasang paralel voltmeter, maka hambatan dalam voltmeter harus dibuat sebesar mungkin, agar arus yang mengalir pada voltmeter sangat kecil agar voltmeter pada rangkaian tidak begitu berpengaruh. Pada praktiknya diupayakan hambatan pada voltmeter dibuat sebesarnyanya.



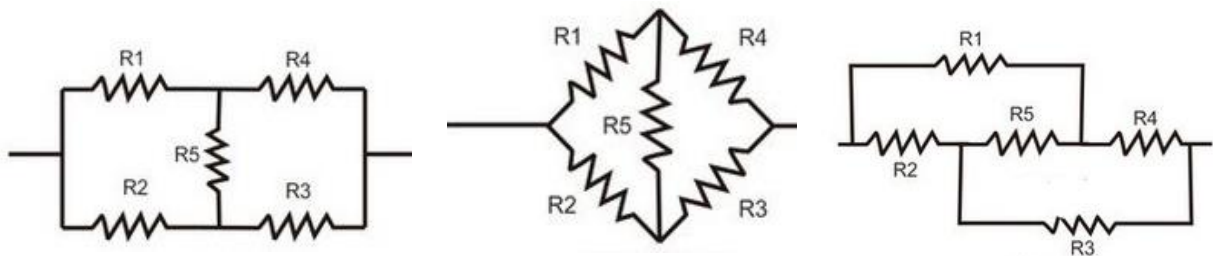
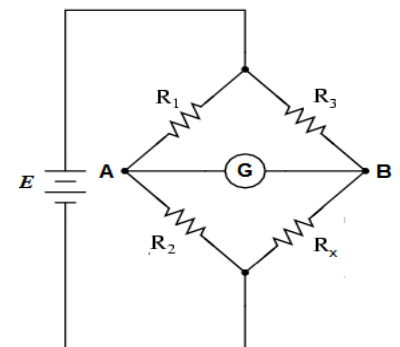
Ingat, pada pengukuran tegangan listrik, maka voltmeter harus dipasang paralel dengan komponen yang akan diukur tegangan listriknya.



7.3. Jembatan Wheatstone

Salah satu metode untuk mengukur hambatan ditemukan oleh Charles Wheatstone (1802 – 1875) pada tahun 1843; karena itu metode pengukuran ini disebut dengan rangkaian jembatan wheatstone.

Bentuk rangkaian jembatan wheatstone dapat dilihat pada rangkain berikut ini:



Metode pengukuran menggunakan jembatan Wheatstone ini adalah sebagai berikut: dari empat buah hambatan pada rangkaian diatas, yaitu R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 ; dua buah hambatan harus diketahui besarnya (R_1 , R_2), satu buah hambatan yang akan dicari besarnya (R_3) dan satu buah hambatan lain yang besarnya dapat dirubah-



rubah (R_4). Pada dasarnya penempatan keempat hambatan diatas, terserah kepada kita, metode diatas hanya sebagai gambaran penggunaannya saja.

Hambatan R_4 pada rangkaian diatas diubah-ubah sehingga rangkaian dalam keadaan setimbang, artinya arus yang mengalir pada galvanometer (G) menunjukkan nilai nol, pada keadaan ini, besarnya tegangan untuk R_1 sama dengan R_3 dan beda potensial untuk R_2 sama dengan R_4 ,

$$V_1 = V_3; \quad V_2 = V_4$$

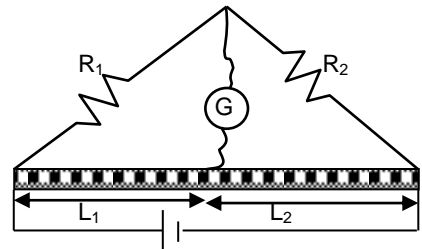
$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad I_1 R_2 = I_4 R_4$$

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan diatas, maka berlaku:

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \tag{1.17}$$

Artinya pada **saat keadaan setimbang, hasil kali dua hambatan yang bersilangan adalah sama besar.**

Metode penentuan besar sebuah hambatan menggunakan prinsip jembatan wheatstone tidak harus menggunakan 4 buah hambatan, tapi bisa menggunakan hambatan geser atau potensiometer. Perhatikan rangkaian berikut:

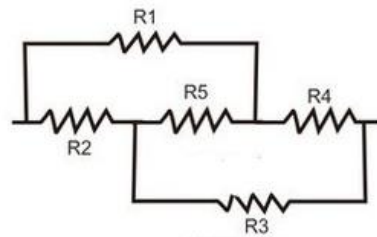
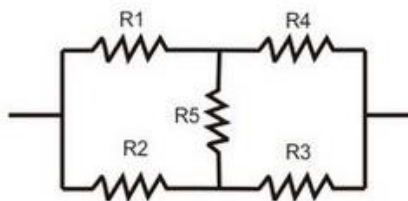


Pada saat terjadi kesetimbangan, berlaku:

$$R_1 \times L_2 = R_2 \times L_1$$

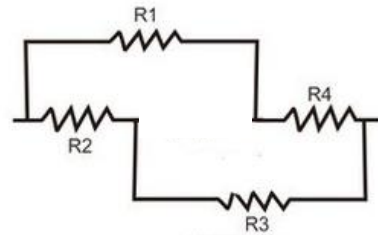
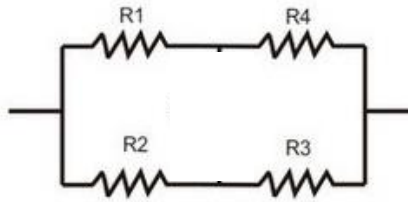
$$\tag{1.18}$$

Prinsip perkalian silang, tidak bisa diterapkan jika tidak terjadi kesetimbangan, artinya **arus yang mengalir pada galvanometer tidak sama dengan nol**. Prinsip kesetimbangan ini juga bisa diterapkan pada rangkaian resistor yang identik dengan rangkaian jembatan wheatstone, dimana galvanometer pada rangkaian diatas diganti dengan sebuah resistor tambahan.

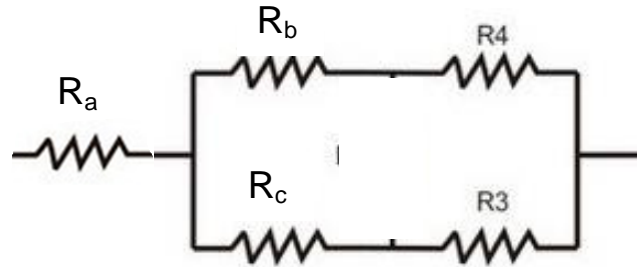
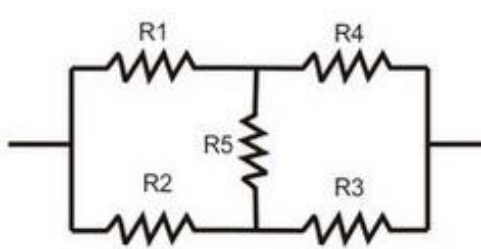


Jika $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$, maka arus **pada R_5 sama dengan nol**, sehingga R_5 tidak berpengaruh pada rangkaian; maka menghitung besarnya rangkaian total pada rangkaian diatas dilakukan dengan cara menyerikan R_1 dan R_4 , menyerikan R_2 dan R_3 , dan hasil kedua seri itu diparalelkan untuk mendapatkan nilai R_{total} .





Tetapi jika $R_1 \times R_3$ tidak sama dengan $R_2 \times R_4$, maka untuk menyelesaikan hambatan penggantinya adalah dengan menggunakan transformasi delta - Y ($\Delta - Y$)
Rangkaian awal, dirubah menjadi rangkaian berikut:



Dimana:

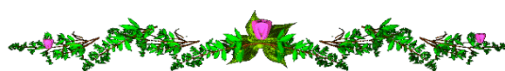
$$R_a = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_5}, \quad R_b = \frac{R_1 \times R_5}{R_1 + R_2 + R_5}, \quad R_c = \frac{R_2 \times R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

(1.19)

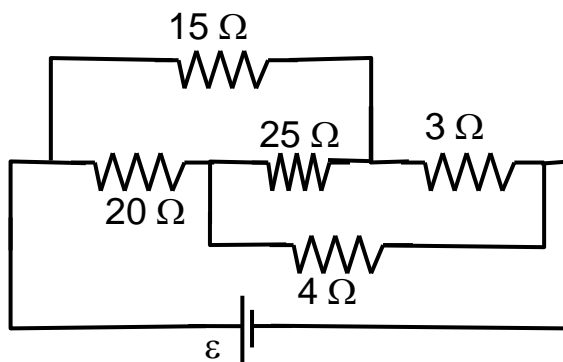
Setelah itu hitung rangkaian total seperti biasa!



Soal Latihan 5

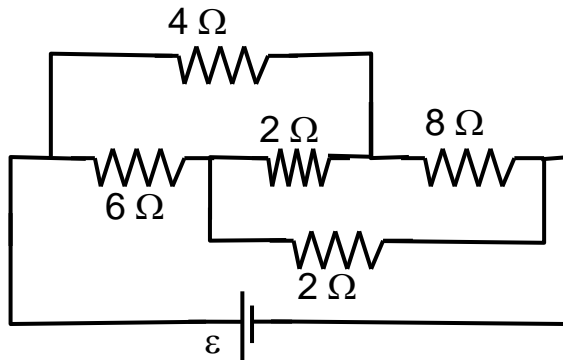


41. Hitunglah hambatan penggantinya!





42. Pada rangkaian berikut ini, hitunglah hambatan penggantinya!



8. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

8.1. Energi Listrik

Sebuah baterai dengan tegangan V , selama waktu t mengalirkan muatan elektron sebanyak q melalui hambatan R . Untuk itu baterai melakukan usaha W yang besarnya sama dengan perubahan energi potensial

$$W = \Delta E_p = V \cdot q \quad (1.20)$$

Berdasarkan definisi kuat arus (persamaan 1.1.) dimana $q = I \cdot t$, maka besar usaha yang dilakukan adalah:

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (1.21)$$

Dari hukum Ω (persamaan 1.2) $V = I \cdot R$, maka besar usaha W yang sama dengan energi listrik adalah

$$W = V \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{V^2}{R} t \quad (1.22)$$

Dimana: W = energi listrik dalam Joule;
 R = hambatan dalam Ω ;
 t = waktu dalam sekon (S);

I = arus listrik dalam Ampere
 V = beda potensial dalam Volt
 q = muatan (C)





8.2. Daya Listrik

Daya listrik suatu alat listrik merupakan energi listrik yang diserap oleh alat tersebut setiap waktu.

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.23)$$

dengan satuan P adalah Joule/s atau watt.

Jika nilai W pada persamaan (1.22) kita substitusikan pada persamaan (1.23), maka kita dapatkan nilai daya listrik P besarnya adalah:

$$P = \frac{VIt}{t} = VI = i^2R = \frac{V^2}{R} \quad (1.24)$$

8.3. Penurunan Daya Listrik.

Sebuah lampu akan menyapa lebih redup jika dipasang pada tegangan yang lebih rendah, hal ini disebabkan karena penurunan arus yang mengalir yang menyebabkan daya lampu juga berkurang, sedang hambatan lampu tidak berubah.

Pada peralatan listrik tercantum data, misalnya 60 W, 120 V artinya : daya listrik yang dipakai alat itu tepat 60 watt jika diberi tegangan 120 Volt". Dengan demikian daya lampu tidak 60 watt jika diberikan daya yang tidak sama dengan 120 volt. Daya sesungguhnya adalah:

$$P_s = \left(\frac{V_s}{V_t} \right)^2 P_t \quad (1.25)$$

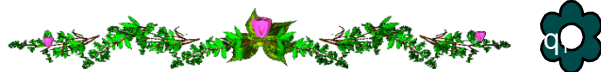
Dimana :

$V_s = V$ sebenarnya ; $V_t = V$ tertulis pada lampu

$P_t = P$ tertulis pada lampu



contoh Soal 6.



Sebuah lampu pijar memiliki spesifikasi 40 watt/220 Volt. Berapakah daya yang terpakai pada lampu jika dipasang pada tegangan 110 Volt?

Jawab:

Berdasarkan persamaan (6.25)

$$P_s = \left(\frac{V_s}{V_t} \right)^2 P_t$$

$$P_s = \left(\frac{110}{220} \right)^2 40$$

$$P_s = 10 \text{ watt}$$





8.4. Hubungan antara Joule dengan KWh.

Penggunaan energi listrik di rumah tangga diukur dengan menggunakan satuan kilowatt jam atau kilowatt hour disingkat KWh dimana $1 \text{ KWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$



contoh Soal 7.



Jika kita mempunyai kulkas yang memiliki spesifikasi 200 watt/220 Volt, menyala satu hari penuh (24 jam) maka energi listrik yang terpakai selama sebulan (30 hari) dapat kita hitung. Dengan cara:

Diketahui: $P = 200 \text{ watt} = 0,2 \text{ kW}$
 $t = 24 \text{ h} \times 30 = 720 \text{ h}$
 maka energi yang dipakai $\rightarrow W = P \cdot t$
 $W = (0,2 \text{ kW}) (720 \text{ h})$
 $W = 144 \text{ KWh}$

.5. Hubungan energi listrik dengan kalor

Salah satu contoh alat yang merubah energi listrik menjadi kalor adalah teko listrik. Jika m massa air yang dipanaskan dan c kalor jenis air serta ΔT perubahan suhu: maka energi listrik sebesar $W = P \cdot t$ akan berubah menjadi kalor $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ (dalam hal ini kita mengabaikan kapasitas kalor teko).

Hubungan antara W dan Q tersebut kita tuliskan:

$$W = Q$$

$$P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T \text{ atau } V \cdot I \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{1.26}$$

Persamaan diatas berlaku jika efisiensi pemanas 100 %, artinya semua energi listrik digunakan seluruhnya untuk memanaskan air.

Namun jika efisiensi peralatan tidak 100 %, artinya ada energi yang hilang, maka berlaku hubungan:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Energi yang masuk}}{\text{Energi yang keluar}} \times 100\%$$

(1.27)



Contoh Soal 8.



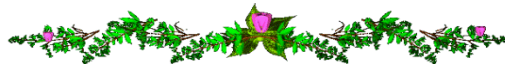
Sebuah teko listrik 400 watt/220 Volt digunakan untuk memanaskan 1 kg air yang kalor jenisnya $4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ pada suhu 20° C . Berapakah suhu air setelah dipanaskan selama 2 menit?

Coba gunakan persamaan (1.26) diatas untuk membuktikan bahwa jawaban dari soal ini adalah $31,43^\circ \text{ C}$





Soal Latihan 6



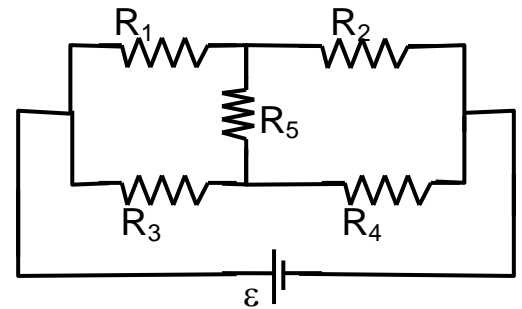
43. Lampu 6Ω dihubungkan pada akumulator 12 Volt ternyata menyala normal. Berapakah daya pada lampu tersebut?
44. TV berwarna 600 Watt/220 Volt tiap hari dinyalakan rata-rata selama 8 jam. Berapakah energi listrik yang terpakai oleh TV setiap hari?
45. Elemen pemanas 400 Watt/220 Volt digunakan untuk memasak air sebanyak 1 kg dari suhu $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mendidih pada suhu $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Jika kalor jenis air $4200 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$, berapakah lama air akan mendidih?
46. Lampu pijar 100 Watt/250 Volt dipasang pada tegangan 200 Volt. Berapa arus yang mengalir pada lampu?
47. Sebuah TV berwarna 1000 W/220 V memerlukan sakering pengaman jika nilai sakering yang ada adalah 3 A, 5 A, 13 A, 15 A. Berapakah nilai sakering yang dipakai?
48. Sebuah kumparan memiliki hambatan 1000Ω dialiri arus sebesar 2 A selama 10 menit. Berapakah energi yang dipakai pada komponen?
49. Sebuah alat listrik memiliki hambatan 25Ω ketika dialiri arus selama 10 menit menyerap energi sebesar 60 kilo Joule. Berapakah besar arus yang mengalir?
50. Air terjun sebuah bendungan tingginya 100 meter memiliki debit aliran $50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Air terjun digunakan untuk memutar generator. Jika percepatan gravitasi 10 ms^{-2} dan massa jenis air 100 kgm^{-3} serta 80 % energi air terjun kembali menjadi energi listrik. Berapakah daya listrik yang dihasilkan?
51. Sebuah kumparan water heater 100 Watt/220 Volt memanaskan 5 liter air selama 20 menit dari suhu $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kalor jenis air $4200 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$. Berapakah suhu akhir air?
52. Tiga buah lampu masing-masing 36 W/12V, 24W/12 V dan 12 W/12 V disusun paralel kemudian dihubungkan ke baterai 12 Volt. Berapakah daya disipasi pada seluruh lampu?
53. Sebuah mesin derek 220 V memerlukan arus 12 A untuk mengangkat beban 800 kg dengan kecepatan 9 m/menit. Tentukan efisiensi mesin jika $g = 10 \text{ m s}^{-2}$
54. Bola lampu 100 W/200 V akan dipasang pada tegangan 250 V. Agar lampu menyala normal, berapa hambatan yang harus diserikan dengan lampu?



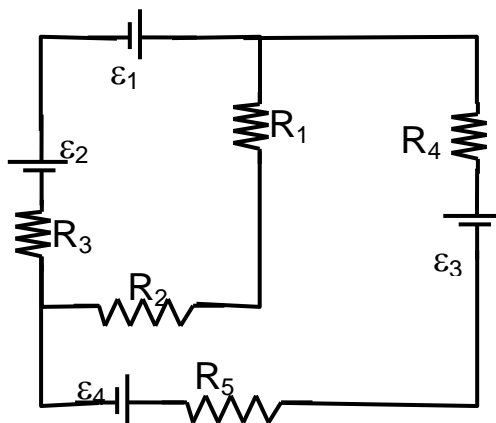


55. Lima buah hambatan masing-masing $R_1 = 9 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 18 \Omega$, $R_4 = 10 \Omega$ dan $R_5 = 8 \Omega$ dihubungkan seperti gambar, kemudian kedua ujung rangkaian dihubungkan dengan sebuah elemen 10 V, $0,67 \Omega$ selama 2 menit. Hitunglah:

- Kalor yang timbul pada ujung R_1 dan R_2
- Kalor yang timbul pada ujung R_3 dan R_4
- Kalor yang timbul pada ujung R_5



56. Pada rangkaian disamping, diketahui $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 10 \Omega$, $R_5 = 14 \Omega$, $\varepsilon_1 = 3 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 12 \text{ V}$, $\varepsilon_3 = 6 \text{ V}$ dan $\varepsilon_4 = 12 \text{ V}$. Hitunglah daya yang digunakan oleh R_1



Soal Soal Latihan



57. Nilai hambatan suatu kawat penghantar dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut, kecuali ...

- tegangan
- suhu kawat
- panjang kawat
- jenis kawat
- luas penampang kawat

58. Berikut ini adalah pernyataan-pernyataan yang benar tentang kuat arus listrik, kecuali

- merupakan perpindahan muatan positif dari potensial rendah ke potensial tinggi
- timbul akibat adanya beda potensial antara dua titik yang dihubungkan.
- dapat mengalir melalui isolator
- satuannya adalah volt/ohm
- merupakan perpindahan elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi





59. Suatu konduktor dengan luas penampang 2 cm^2 dialiri muatan sebesar $100 \mu \text{ C}$ dalam waktu $0,5$ detik. Rapat arus dalam konduktor sama dengan ...
- A. $0,5 \text{ A/m}^2$ D. $5,0 \text{ A/m}^2$
 B. $1,0 \text{ A/m}^2$ E. $7,5 \text{ A/m}^2$
 C. $2,5 \text{ A/m}^2$
60. Seutas kawat memiliki hambatan 2Ω pada suhu 0°C dan $2,8 \Omega$ pada suhu 100°C . Besar hambatan kawat menjadi 3Ω , pada suhu....
- A. 105°C D. 120°C
 B. 110°C E. 125°C
 C. 115°C
61. Sebuah kumparan tembaga memiliki hambatan 30Ω pada suhu 20°C . Jika kumparan tembaga memiliki hambatan $34,8$ pada suhu 60°C , maka hambatan kumparan ketika suhunya -10°C adalah
- A. $33,6 \Omega$ D. $25,8 \Omega$
 B. $30,5 \Omega$ E. $25,0 \Omega$
 C. $26,4 \Omega$
62. Tegangan $1,00 \text{ V}$ diberikan pada ujung sebuah resistor $10,0 \Omega$ selama $20,0$ sekon. Muatan total yang lewat melalui kawat dalam selang waktu ini adalah
- A. $2,00 \text{ C}$ D. $0,050 \text{ C}$
 B. $20,0 \text{ C}$ E. $0,005 \text{ C}$
 C. 200 C
63. Tabel di bawah ini merupakan hasil percobaan lima jenis kawat yang mempunyai hambatan yang sama.

Kawat	Panjang	Luas Penampang
(1)	X	Y
(2)	2 X	Y
(3)	0,5 X	3 Y
(4)	0,2 X	2 Y
(5)	5 X	$\frac{1}{2} Y$

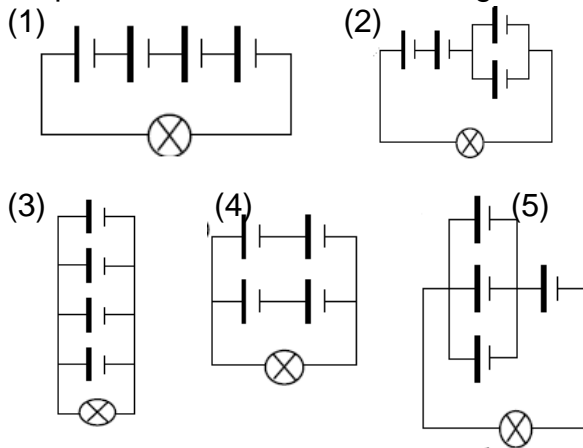
Berdasarkan tabel di atas, kawat yang mempunyai hambatan jenis terbesar adalah ...

- A. (1) D. (4)
 B. (2) E. (5)
 C. (3) un'98
64. Ketika hubungan ke sumber tegangan 100 V , elemen pemanas listrik menarik arus 5 A . Ketika dihubungkan ke sumber tegangan 120 V , elemen pemanas listrik menarik arus
- A. $4,2 \text{ A}$ D. $6,0 \text{ A}$
 B. $5,0 \text{ A}$ E. $7,5 \text{ A}$
 C. $5,4 \text{ A}$





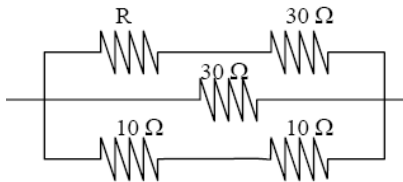
71. Empat buah elemen identik dirangkai untuk menyalakan sebuah lampu



Lampu yang nyalanya paling terang terdapat pada rangkaian ...

- A. (1) D. (4)
 B. (2) E. (5)
 C. (3)

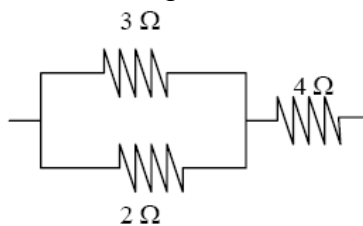
72. Pada gambar rangkaian hambatan di samping, $R = 30 \Omega$ dan $I = 200 \text{ mA}$.



Tegangan antara kedua ujung kaki R adalah ...

- A. 0,3 volt D. 9 volt
 B. 3 volt E. 18 volt
 C. 6 volt

73. Perhatikan rangkaian hambatan pada gambar berikut !



Hambatan total dari ketiga resistor adalah ...

- A. 9,0 Ω D. 6,0 Ω
 B. 7,0 Ω E. 5,2 Ω
 C. 8,2 Ω

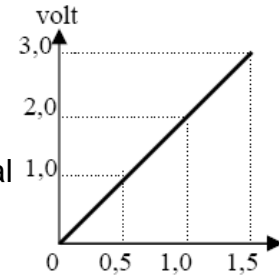




74. Seseorang ingin membuat sebuah alat pemanas 250 watt dari suatu kawat yang mempunyai hambatan 12,5 ohm tiap meter panjang kawat. Bila hambatan kawat dianggap konstan dan tegangan yang dipakai 125 volt, maka panjangnya kawat yang diperlukan adalah ...

- A. 1,00 m
- B. 1,50 m
- C. 5,00 m
- D. 10,0 m
- E. 12,5 m

75. Dari hasil suatu percobaan hukum Ohm diperoleh grafik hubungan antara tegangan V dan kuat arus I seperti gambar berikut ini.

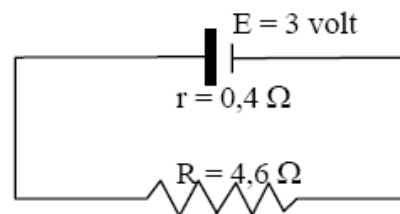


Nilai hambatan yang digunakan dalam percobaan tersebut adalah

- A. 0,5 Ω
- B. 1,0 Ω
- C. 1,5 Ω
- D. 2,0 Ω
- E. 2,5 Ω

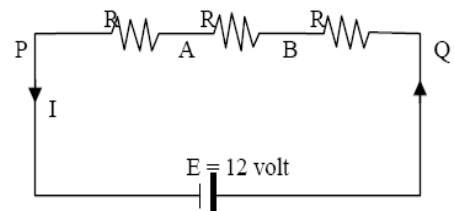
76. Pada gambar rangkaian berikut, kuat arus yang melalui R dan tegangan ujung-ujung R masing-masing adalah ...

- A. 0,8 A dan 3,2 V
- B. 0,6 A dan 2,76 V
- C. 0,6 A dan 3,3 V
- D. 0,4 A dan 1,84 V
- E. 0,2 A dan 0,92 V



77. Agar kuat arus pada rangkaian listrik pada gambar berikut ini menjadi dua kalinya, maka perlu penambahan hambatan sebesar ...

- A. R , dihubungkan ke P dan A
- B. R , dihubungkan ke P dan B
- C. $2R$, dihubungkan ke P dan A
- D. $2R$, dihubungkan ke P dan B
- E. $3R$, dihubungkan ke P dan Q



78. Pada sebuah lampu pijar bertuliskan 40 W, 220 volt. Apa bila lampu tersebut dipasang pada tegangan 110 volt maka daya lampu adalah ...

- A. 10 watt
- B. 20 watt
- C. 40 watt
- D. 80 watt
- E. 160 watt

79. Empat buah resistor masing-masing $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = R_4 = 12 \Omega$ dirangkai paralel. Besar hambatan penggantinya adalah ...

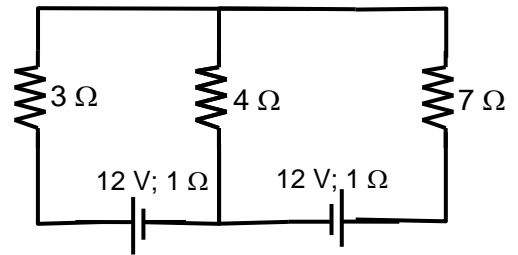
- A. 33 Ω
- B. 33/4 Ω
- C. 3/2 Ω
- D. 2/3 Ω
- E. 4/33 Ω





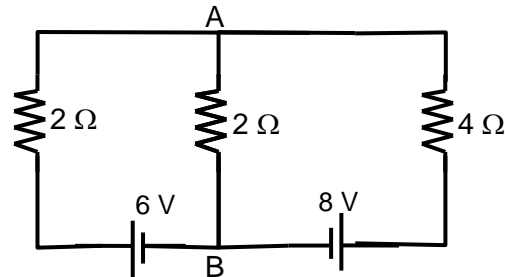
80. Dari rangkaian di bawah ini, besar kuat arus pada hambatan 4 ohm adalah... .

- A. 2,50 A
- B. 2,25 A
- C. 2,00 A
- D. 1,80 A
- E. 1,25 A



81. Diketahui rangkaian loop seperti gambar di bawah ini, tegangan antara A dan B adalah

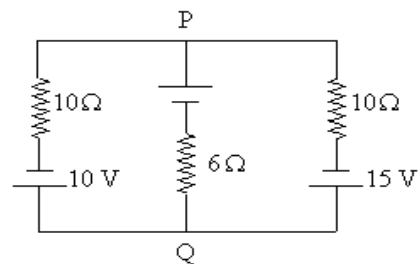
- A. 0 volt
- B. 8 volt
- C. 7 volt
- D. 6 volt
- E. 4 volt



82. Perhatikan rangkaian di bawah ini!

Kuat arus pada hambatan 5 ohm adalah ...

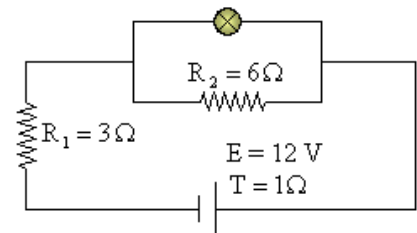
- A. 1,75 A dari Q ke P
- B. 1,75 A dari P ke Q
- C. 0,5 A dari Q ke P
- D. 0,87 A dari Q ke P
- E. 0,67 A dari Q ke P



1990

83. Perhatikan gambar rangkaian di bawah ini, Arus yang melewati lampu (L) 12 watt, 12 Volt adalah

- A. 1,5 A
- B. 1,2 A
- C. 0,5 A
- D. 0,02 A
- E. 1,0 A

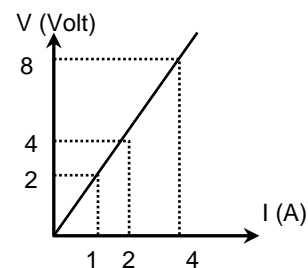


84. Grafik berikut ini menampilkan variasi beda potensial (V) terhadap kuat arus (I) pada suatu penghantar.

Nilai hambatan penghantar tersebut adalah

- A. 0 Ω
- B. 1 Ω
- C. 2 Ω
- D. 3 Ω
- E. 8 Ω

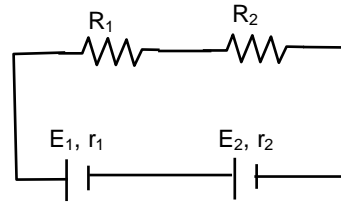
2001





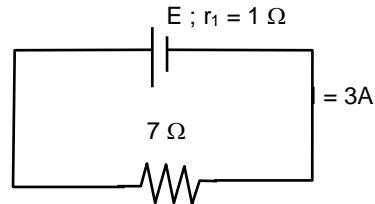
85. Pada rangkaian berikut ini diketahui $E_1 = 18$ Volt, $E_2 = 6$ Volt, hambatan dalam sama yakni 1Ω , $R_1 = 2 \Omega$ dan $R_2 = 4 \Omega$. Besarnya arus yang mengalir pada rangkaian adalah

- A. 1,5 A
 - B. 3,0 A
 - C. 6,0 A
 - D. 48,0 A
 - E. 96,0 A
- 1995



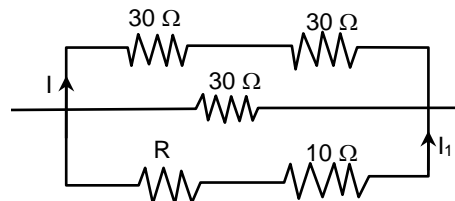
86. Gaya gerak listrik pada rangkaian listrik berikut adalah

- A. 2,7 V
 - B. 5,0 V
 - C. 8,0 V
 - D. 11,0 V
 - E. 24,0 V
- 1994



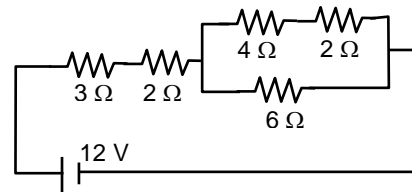
87. Pada rangkaian berikut, $I = 100$ mA, dan $I_1 = 300$ mA. Nilai hambatan R adalah

- A. 50 ohm
 - B. 40 ohm
 - C. 20 ohm
 - D. 10 ohm
 - E. 5 ohm
- 1999



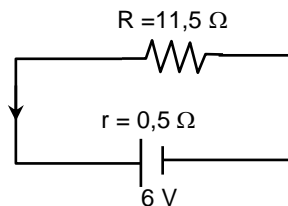
88. Kuat arus yang melalui hambatan 6Ω pada rangkaian berikut adalah

- A. 12 Ampere
 - B. 6 Ampere
 - C. 3 Ampere
 - D. 1,5 Ampere
 - E. 0,75 Ampere
- 1994



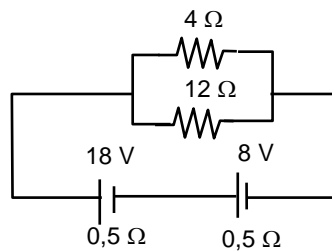
89. Pada gambar berikut, tegangan dan kuat arus pada hambatan R adalah

- A. 6,00 V; 12 A
 - B. 5,75 V; 0,52 A
 - C. 5,75 V; 0,50 A
 - D. 4,00 V; 0,50 A
 - E. 4,00 V; 0,52 A
- 2001





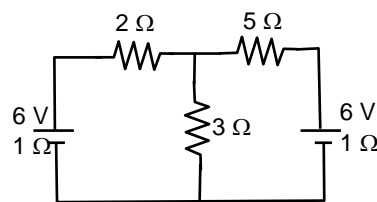
90. Dari gambar rangkaian arus searah ini, kuat arus induk (I) besarnya adalah



- A. $5/2$ A
 B. $8/2$ A
 C. $10/3$ A
 D. $13/2$ A
 E. $26/3$ A

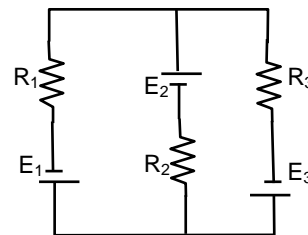
91. Dari rangkaian listrik di bawah ini, besar kuat arus pada hambatan 3 ohm adalah

- A. 1,2 A
 B. 1,0 A
 C. 0,8 A
 D. 0,4 A
 E. 0,2 A



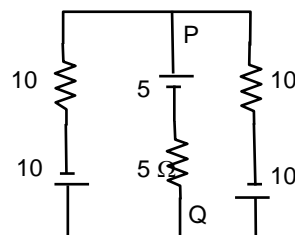
92. Suatu rangkaian arus searah ditunjukkan seperti gambar berikut, Jika $E_1 = 16$ V, $E_2 = 8$ V; $E_3 = 10$ V, $R_1 = 12$ Ω, $R_2 = 6$ Ω, $R_3 = 6$ Ω, maka kuat arus yang mengalir melalui R_2 adalah

- A. 5 Ampere
 B. 4 Ampere
 C. 3 Ampere
 D. 2 Ampere
 E. 1 Ampere



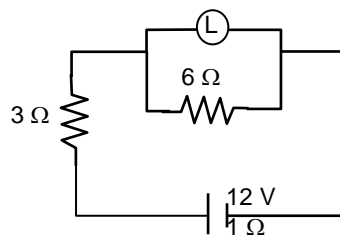
93. Kuat arus pada hambatan 5 Ω pada rangkaian berikut ini adalah

- A. 0,5 A dari Q ke P
 B. 0,67 A dari P ke Q
 C. 0,67 A dari Q ke P
 D. 1,75 A dari P ke Q
 E. 1,75 A dari Q ke P



94. Arus yang melewati lampu (L) 12 Watt, 12 Volt pada rangkaian berikut ini adalah

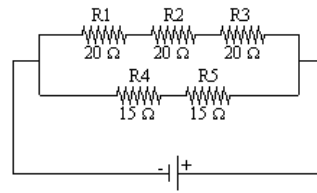
- A. 0,02 A
 B. 0,5 A
 C. 1,0 A
 D. 1,2 A
 E. 1,5 A





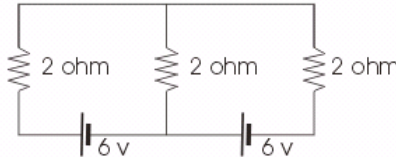
95. Perhatikan rangkaian listrik berikut ini. Kuat arus terkecil adalah ...

- A. 0,1 A melewati R4
- B. 0,1 A melewati R1
- C. 0,2 A melewati R4
- D. 1,2 A melewati R1
- E. 0,3 A melewati R1 dan R4

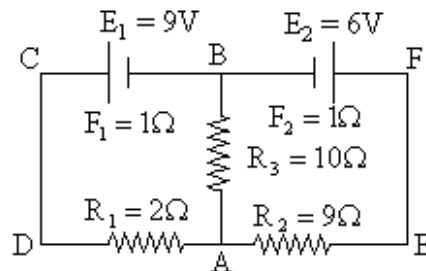


96. Dalam rangkaian di bawah, besarnya energi yang timbul tiap detik pada hambatan 3 ohm adalah

- A. 1,2 Watt
- B. 3,2 Watt
- C. 4,3 Watt
- D. 2,4 Watt
- E. 1,6 Watt



97. Dari rangkaian listrik berikut ini, besarnya kuat arus yang melewati R1 adalah ...



- A. 0,25 A menuju ke A
- B. 0,25 A menuju ke B
- C. 0,40 A menuju ke A
- D. 0,40 A menuju ke B
- E. 4,00 A menuju ke A

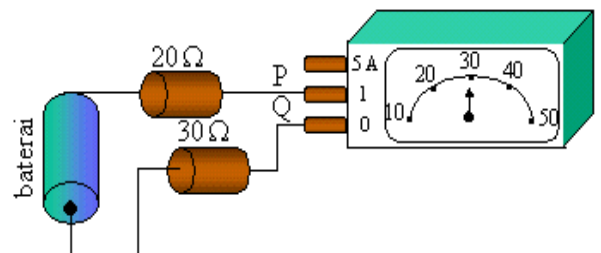
98. Jarum voltmeter AC menunjukkan angka 80. Apabila batas ukur 300 Volt, tegangan pada saat pengukuran adalah

- A. 300 Volt
- B. 250 Volt
- C. 200 Volt
- D. 150 Volt
- E. 100 Volt

99. Perhatikan rangkaian listrik berikut ini!

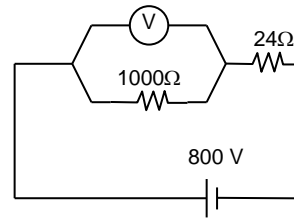
Kuat arus yang melewati hambatan 20 ohm adalah

- A. 0,6 A
- B. 0,9 A
- C. 3,0 A
- D. 10 A
- E. 15 A





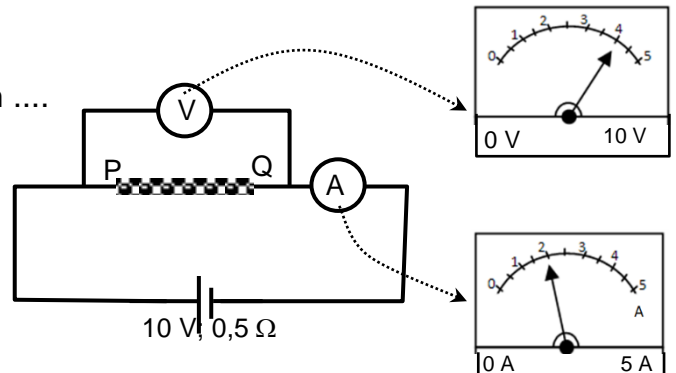
100. Jika pada rangkaian, hambatan dalam voltmeter adalah $1500\ \Omega$, maka pembacaan pada voltmeter adalah



- A. 300 V
B. 400 V
C. 500 V
D. 571 V
E. 600 V
101. Untuk mengetahui nilai hambatan (RPQ) kawat PQ, digunakan rangkaian dengan penunjukan voltmeter dan amperemeter seperti pada gambar

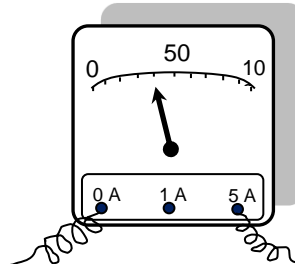
Besar hambatan kawat tersebut adalah

- A. $2\ \Omega$
B. $4\ \Omega$
C. $6\ \Omega$
D. $8\ \Omega$
E. $10\ \Omega$



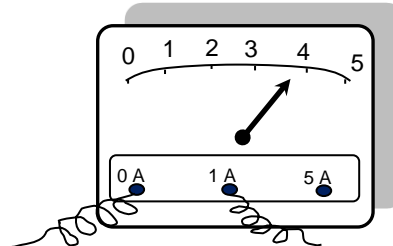
102. Kuat arus yang ditunjukkan oleh amperemeter dc pada gambar di bawah adalah

- A. 0,2 A
B. 0,4 A
C. 2 A
D. 4 A
E. 40 A



103. Perhatikan penunjukan jarum amperemeter berikut. Kuat arus yang sedang diukur amperemeter adalah

- A. 0,4 A
B. 0,8 A
C. 1,0 A
D. 4,0 A
E. 5,0 A

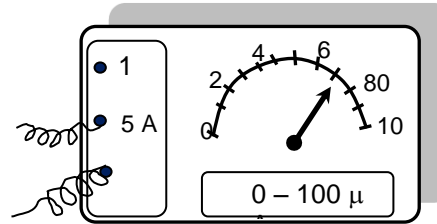




104. Kuat arus yang ditunjukkan ampermeter seperti gambar berikut adalah

- A. $70 \mu\text{A}$
- B. 70 mA
- C. 7 mA

- D. $0,7 \text{ A}$
- E. 7 A



105. Kawat AB diberi tegangan listrik 12 volt. Jika hambatan nya 6 ohm, maka jumlah kalor yang dilepaskan dari kawat AB tiap menit adalah ...
- A. 72 joule
 - B. 120 joule
 - C. 1.440 joule
 - D. 4.320 joule
 - E. 12.960 joule
106. Pada sebuah lampu pijar bertuliskan 40 W, 220 volt. Apa bila lampu tersebut dipasang pada tegangan 110 volt maka daya lampu adalah ...
- A. 10 watt
 - B. 20 watt
 - C. 40 watt
 - D. 80 watt
 - E. 160 watt
107. Sebuah alat pemanas air 200 watt, 220 volt yang dipasang pada sumber tegangan 110 volt, menyerap daya listrik sebesar ...
- A. 400 watt
 - B. 200 watt
 - C. 100 watt
 - D. 75 watt
 - E. 50 watt
108. Elemen pemanas sebuah kompor listrik 110 V mempunyai hambatan 20 ohm. Jika kompor ini digunakan untuk memanaskan 1 kg air bersuhu 20°C selama 7 menit dan dipasang pada tegangan 110 V, maka suhu akhir air (kalor jenis air $4.200 \text{ J/kg/}^{\circ}\text{C}$) adalah ...
- A. $23,7^{\circ}\text{C}$
 - B. $43,7^{\circ}\text{C}$
 - C. $60,5^{\circ}\text{C}$
 - D. $80,5^{\circ}\text{C}$
 - E. $94,0^{\circ}\text{C}$
109. Sebuah alat pemanas air 200 watt, 220 volt yang dipasang pada sumber tegangan 110 volt, menyerap daya listrik sebesar ...
- A. 400 watt
 - B. 200 watt
 - C. 100 watt
 - D. 75 watt
 - E. 50 watt





110. Sebuah lampu pijar bertuliskan 80 watt, 220 volt, dipasang pada suatu sumber tegangan 110 volt. Daya lampu pijar menjadi ...
- A. 80 watt
 - B. 60 watt
 - C. 40 watt
 - D. 20 watt
 - E. 10 watt
111. Dalam sebuah percobaan di laboratorium, seorang siswa akan mendidihkan 1,2 kg air yang bersuhu 28°C dengan menggunakan panci yang mempunyai kapasitas kalor 50 kal/oC. Alat yang digunakan untuk mendidihkan air tersebut adalah kompor listrik dengan spesifikasi 220 V/500 W. Waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air tersebut adalah
- A. 3,0 menit
 - B. 7,5 menit
 - C. 8,0 menit
 - D. 12,0 menit
 - E. 12,5 menit
112. Untuk mempelajari rangkaian listrik, seorang siswa diberi tiga lampu pijar yang masing-masing berukuran 100 W/110 V dan disediakan sumber tegangan 220 V. Untuk menghasilkan nyala lampu 200 W, ketiga lampu itu harus dihubungkan dengan sumber tegangan dengan cara
- A. dua lampu disusun seri
 - B. tiga lampu disusun seri
 - C. dua lampu disusun paralel
 - D. tiga lampu disusun paralel
 - E. dua lampu disusun seri, kemudian disusun paralel dengan lampu ketiga
113. Empat buah elemen yang identik, masing-masing dengan ggl 2,0V dan hambatan dalamnya r disusun secara paralel, kemudian kedua ujungnya dihubungkan dengan hambatan 3,95 Ω . Jika kuat arus yang mengalir pada hambatan 0,5A maka nilai hambatan dalam r adalah
- A. 0,1 Ω
 - B. 0,2 Ω
 - C. 0,3 Ω
 - D. 0,4 Ω
 - E. 0,5 Ω
114. Empat buah baterai disusun sedemikian hingga masing-masing dua baterai disusun seri dan susunan tersebut disusun secara paralel, kemudian dihubungkan dengan hambatan 0,7 Ω . Jika tiap baterai memiliki ggl 1,5V dan hambatan dalamnya 0,05 Ω , maka tegangan jepit tiap baterai adalah
- A. 1,3 V
 - B. 1,4 V
 - C. 2,8 V
 - D. 2,9 V
 - E. 5,8 V



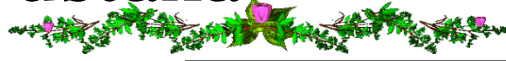


115. Beberapa buah baterai yang identik masing-masing memiliki ggl $2,0\text{ V}$ dan hambatan dalamnya $0,05\ \Omega$ disusun secara seri, kemudian dihubungkan dengan sebuah hambatan $R\ 3,6\ \Omega$. Jika kuat arus yang mengalir melalui hambatan $4,0\text{ A}$, maka banyak baterai dalam rangkaian tersebut adalah
- A. 8 buah D. 4 buah
B. 6 buah E. 3 buah
C. 5 buah
116. Enam buah elemen masing-masing mempunyai GGI = $1,5\text{ V}$ dan hambatan dalam masing-masing $0,1\ \Omega$. Keenam buah elemen tersebut dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan sebuah hambatan $17,4\ \Omega$. Kuat arus yang mengalir pada masing-masing elemen adalah
- A. $\frac{1}{2}\text{ A}$ D. $\frac{8}{10}\text{ A}$
B. $\frac{6}{10}\text{ A}$ E. $1,0\text{ A}$
C. $\frac{7}{10}\text{ A}$
117. Sebuah lampu pijar 60 W , 240 V dipasang pada tegangan yang tepat selama 30 menit. Energi listrik yang telah dipakai adalah
- A. 810.000 J D. 818.000 J
B. 108.000 J E. 180.000 J
C. 188.000 J
118. Sebuah lampu $2,5\text{ V} - 0,8\text{ A}$ menyala selama 25 menit. Energi listrik yang digunakan
- A. 1500 J D. 2500 J
B. 1800 J E. 3000 J
C. 2200 J





Daftar pustaka



- Beiser, Arthur. 2003. **Schaum Easy Outline: Applied Physic**. New York: McGraw Hill.
- Clifford, J and Philpott, G. 2002. **Physics**. London: Longman
- Dale Ewen, Neill Schurter, and Erik Gundersen, 2008. **Applied Physics (9th Edition)**; New Jersey: Prentice Hall)
- Giancoli, Douglas C. 2000. **Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, Third Edition**. New Jersey: Prentice Hall.
- Halliday, David, Robert Resnick, dan Jearl Walker. 2001. **Fundamentals of Physics, Sixth Edition**. New York: John Wiley & Sons.
- Menzel, Donald H. 2008. **Fundamental Formulas of Physics**. New York : Dover Publication, Inc.
- ____, 2008. **The Free High School Science Texts: Textbooks for High School Students Studying the Sciences Physics Grades 10 – 12**. Boston, USA

Tabel 1.4. Alfabet Yunani:

Abjad	Simbol	Simbol	Abjad	Simbol	Simbol
Alpha	A	α	Nu	N	ν
Beta	B	β	Xi	Ξ	ξ
Gamma	Γ	γ	Omicron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsilon	E	ϵ	Rho	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Theta	Θ	θ	Upsilon	Y	υ
Lota	I	ι	Phi	Φ	ϕ, φ
Kappa	K	κ	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mu	M	μ	Omega	Ω	ω





Catatan



