

# **DASAR LISTRIK DAN ELEKTRONIKA (TEKNIK ELEKTRONIKA)**

**(C2) KELAS X**

**Misno**

**PT KUANTUM BUKU SEJAHTERA**

# DASAR LISTRIK DAN ELEKTRONIKA (TEKNIK ELEKTRONIKA)

## SMK/MAK Kelas X

© 2020

Hak cipta yang dilindungi Undang-Undang ada pada Penulis.

Hak penerbitan ada pada **PT Kuantum Buku Sejahtera**.

Penulis : Misno  
Editor : Ely Yulianti  
Desainer Kover : Achmad Faisal  
Desainer Isi : Ayu Amelia Syafitrie  
Tahun terbit : 2020  
ISBN : 978-623-7591-34-4

Diterbitkan oleh

PT Kuantum Buku Sejahtera

Anggota IKAPI No. 212/JTI/2019

Jalan Pondok Blimbing Indah Selatan X N6 No. 5 Malang - Jawa Timur

Telp. (0341) 438 2294, Hotline 0822 9951 2221;

Situs web: [www.quantumbook.id](http://www.quantumbook.id)

*Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari **PT Kuantum Buku Sejahtera**.*

# Daftar Isi

<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>v</b>
<b>Prakata .....</b>	<b>vi</b>
<b>Bab 1 Satuan Dasar dan Hukum-Hukum Kelistrikan .....</b>	<b>1</b>
A. Sistem Satuan Kelistrikan dan Ukuran Standar .....	2
B. Hukum-Hukum Kelistrikan.....	4
C. Konversi Energi Elektromekanik .....	7
D. Arus Hambatan dan Tegangan Listrik.....	8
Uji Kompetensi.....	14
<b>Bab 2 Sistem Proteksi Rangkaian Listrik .....</b>	<b>17</b>
A. Sistem Proteksi Listrik .....	18
B. Komponen Sakelar Pemutus dan Relay .....	19
C. Transformator Arus dan Tegangan (CT) .....	20
D. Kabel Instrumen dan Catu Daya Cadangan.....	23
E. Catu Daya Cadangan.....	24
Uji Kompetensi.....	26
<b>Bab 3 Sumber-Sumber Tegangan Listrik .....</b>	<b>29</b>
A. Prinsip Kemagnetan .....	30
B. Sistem Kemagnetan pada Rangkaian Listrik.....	31
C. Sumber-Sumber Tegangan Listrik.....	33
D. Gelombang Arus Bolak-Balik.....	37
Uji Kompetensi.....	40
<b>Bab 4 Rangkaian Listrik dan Elektronika.....</b>	<b>43</b>
A. Susunan Rangkaian Listrik.....	44
B. Penghitungan Arus dan Tegangan pada Rangkaian Listrik.....	45
C. Penghitungan Rangkaian Resistor dan Kapasitor .....	46
D. Rangkaian Filter Frekuensi (RLC).....	49
Uji Kompetensi.....	52
<b>Bab 5 Komponen Listrik dan Elektronika .....</b>	<b>55</b>
A. Komponen Resistor (R).....	56
B. Komponen Kapasitor (C) .....	60
C. Komponen Induktor (L).....	63
D. Diode Semikonduktor .....	66
E. Transistor Persambungan (BJT).....	71
F. Aplikasi Transistor.....	75
Uji Kompetensi.....	80

<b>Bab 6</b>	<b>Alat Ukur Listrik dan Elektronika .....</b>	<b>83</b>
	A. Prinsip Kerja Alat Ukur Listrik dan Elektronika.....	84
	B. Macam-Macam Alat Ukur Listrik dan Elektronika.....	86
	C. Pengukuran Menggunakan Alat Ukur Listrik dan Elektronika.....	89
	Uji Kompetensi.....	92
<b>Bab 7</b>	<b>Rangkaian Dasar Elektronika Digital.....</b>	<b>97</b>
	A. Sistem Bilangan .....	98
	B. Konversi Bilangan.....	98
	C. Aljabar Boolean pada Rangkaian Logika .....	102
	D. Gerbang Dasar Rangkaian Logika .....	105
	E. Rangkaian Flip Flop .....	109
	Uji Kompetensi.....	114
<b>Bab 8</b>	<b>Sensor dan Transduser .....</b>	<b>119</b>
	A. Memahami Sensor .....	120
	B. Karakteristik Sensor .....	120
	C. Jenis-Jenis Sensor.....	122
	D. Klasifikasi Sensor .....	122
	E. Sensor Mekanis .....	126
	F. Transduser.....	130
	G. Perbedaan Sensor dan Transduser.....	131
	Uji Kompetensi.....	132
	<b>Glosarium.....</b>	<b>136</b>
	<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>137</b>
	<b>Biodata Penulis .....</b>	<b>138</b>
	<b>Biodata Konsultan .....</b>	<b>139</b>
	<b>Tim Kreatif.....</b>	<b>140</b>

## Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa sehingga buku-buku bahan ajar terbitan PT Kuantum Buku Sejahtera dapat tersusun untuk memenuhi kebutuhan dunia pendidikan khususnya Sekolah Menengah Kejuruan di Indonesia untuk bekal menuju dunia industri, usaha, maupun akademik. Kualitas pendidikan erat kaitannya dengan buku sebagai media pengajaran dan pembelajaran bagi pendidik untuk menyampaikan ilmu pengetahuan kepada peserta didik sebelum terjun ke dunia industri, usaha, maupun akademik. Buku berperan penting agar peserta didik mudah memahami mata pelajaran yang sedang ditempuh. Selain itu, buku merupakan salah satu faktor untuk mengoptimalkan penyampaian informasi kepada peserta didik.

Peran pendidik sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini yang sudah terintegrasi ke dunia usaha maupun industri. Para pendidik pun dapat lebih kreatif dalam mengajarkan ilmu yang akan disampaikan ke peserta didik. Implementasi pengajaran disesuaikan dengan kurikulum 2013 yang dirancang untuk meningkatkan kualitas peserta didik dari sisi ilmu pengetahuan dan keterampilan sesuai dengan kebutuhan dunia industri maupun dunia usaha serta penyikapan permasalahan yang akan mereka hadapi di dunia kerja.

Proses penyusunan buku ini telah dikaji mendalam oleh tim ahli yang kompeten di bidangnya dan sudah terintegrasi ke dunia industri maupun dunia usaha, karena PT Kuantum Buku Sejahtera telah bekerja sama dengan banyak perusahaan untuk pengembangan ilmu pengetahuan. Namun buku ini memerlukan saran dan kritik untuk perbaikan edisi selanjutnya, sehingga dapat terus dimanfaatkan sebagai peningkatan kualitas pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan.

Kami PT Wonokoyo Group mengucapkan terima kasih atas kerja sama berbagai pihak mulai dari penulis naskah, tim editor serta tim-tim yang berkontribusi untuk kesempurnaan isi buku. Harapan kami buku ini dapat ikut serta memajukan dunia pendidikan serta dapat membentuk generasi yang berkualitas.

PT Wonokoyo Group mendukung dan bekerja sama dengan PT Kuantum Buku Sejahtera untuk memajukan pendidikan di Indonesia terutama dalam pengembangan *skill* di SMK Seluruh Indonesia. Semoga buku ini bermanfaat.

Malang, Februari 2020

PT Wonokoyo Group

## Prakata

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah Tuhan yang Maha Kuasa atas limpahan karunia-Nya sehingga penyusunan buku ajar dasar listrik dan elektronika ini dapat terselesaikan dengan baik. Sebagaimana diketahui bahwa mata pelajaran produktif yang terdapat pada Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) bidang teknologi dan rekayasa, secara ideal menuntut penerapan pendekatan pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman belajar pada ranah afektif, kognitif, maupun psikomotorik kepada peserta didik agar mampu menguasai kompetensi tertentu. Buku dasar listrik dan elektronika ini disusun dengan menerapkan pembelajaran berbasis kompetensi, sesuai dengan Standar Kompetensi Nasional berdasarkan Kurikulum 2013 yang telah disesuaikan dengan Kompetensi Inti/Kompetensi dasar (KI/KD) terbaru sehingga selaras dengan kebutuhan dunia industri dan dunia usaha saat ini.

Sebagai salah satu sumber belajar peserta didik pada Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) kelas X program keahlian teknologi dan rekayasa pada kompetensi keahlian teknik elektronika industri, buku ini dilengkapi ilustrasi gambar pada setiap bab bertujuan agar mempermudah pemahaman materi tertentu yang ada pada buku ini bagi pembaca, baik siswa maupun guru pengampu.

Buku dasar listrik dan elektronika berisi materi, antara lain satuan dasar listrik beserta hukum-hukum kelistrikan, sistem proteksi rangkaian listrik, jenis-jenis sumber tegangan listrik, rangkaian listrik, rangkaian elektronika, komponen maupun alat ukur untuk listrik dan elektronika, dasar elektronika digital, serta dilengkapi dengan materi sensor dan transduser. Dengan penguasaan materi tersebut, peserta didik diharapkan berhasil saat mengikuti uji level di akhir semester kelas X dan lulus uji kompetensi keahlian KKNI level II pada kompetensi keahlian teknik elektronika industri di akhir kelas XII, sesuai dengan standar kompetensi keahlian BNSP.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu sehingga dapat terselesainya penyusunan buku ini. Penulis menghormati kritik, saran, dan masukan yang membangun untuk masa depan.

Malang, 20 Januari 2020

Penulis

# BAB

# 1

# Satuan Dasar dan Hukum-Hukum Kelistrikan

## Kompetensi Dasar

- 3.1 Memahami besaran dari unit "SI units" pada kelistrikan
- 4.1 Mengukur peralatan kelistrikan dengan besaran dari "SI units" pada kelistrikan
- 3.3 Memahami hukum-hukum kelistrikan dan elektronika
- 4.3 Menerapkan hukum-hukum kelistrikan dan elektronika

## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, peserta didik mampu

1. menentukan besaran unit Satuan Internasional (SI) pada kelistrikan;
2. memanfaatkan hukum-hukum kelistrikan dan elektronika;
3. mampu memahami besaran unit Satuan Internasional (SI) pada kelistrikan;
4. memahami hukum-hukum kelistrikan dan elektronika;
5. mengukur peralatan kelistrikan dengan menggunakan besaran dari Sistem Internasional (SI) pada kelistrikan; dan
6. menerapkannya besaran dari Sistem Internasional (SI) pada rangkaian kelistrikan dan elektronika.

Dasar listrik dan elektronika merupakan materi pembelajaran yang harus dikuasai oleh siswa SMK, terutama teknisi bidang aplikasi elektronika. Oleh karena itu, setiap siswa SMK rumpun kompetensi keahlian teknologi dan rekayasa bidang keahlian elektronika harus mempunyai pengetahuan dan pemahaman yang cukup agar dapat mendukung penyelesaian pekerjaan yang berkaitan dengan bidang elektronika industri. Saat ini, hampir di segala bidang pekerjaan industri perkantoran maupun manufaktur menggunakan berbagai macam aplikasi rangkaian elektronika agar penyelesaian pekerjaan menjadi lebih efektif dan efisien.

Pada buku dasar listrik dan elektronika ini pembahasan diawali dengan materi satuan dasar dan hukum-hukum kelistrikan, serta konversi energi elektromagnetik sebagai dasar untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman tentang kelistrikan. Pada bab ini juga disajikan pengetahuan dan pemahaman tentang arus, tegangan, dan hambatan listrik.

## A. Sistem Satuan Kelistrikan dan Ukuran Standar

Dalam bidang teknik dikenal dua sistem satuan dalam pengukuran, yaitu sistem metrik (dipakai di Perancis sejak 1795) dan sistem CGS (*Centimeter-Gram-Second*) dipakai oleh Negara Amerika dan Inggris (negara ini juga menggunakan sistem metrik untuk kepentingan internasional). Kemudian, mulai tahun 1960 diperkenalkan Sistem Internasional (SI Unit). Berdasarkan sistem pengukuran dalam bidang teknik, terdapat enam besaran, seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.1 di bawah ini.

**Tabel 1.1 Besaran Sistem SI**

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	Meter	m
Massa	Kilogram	Kg
Waktu	Detik	S
Arus listrik	Ampere	A
Temperatur termodinamika	Derajat Kelvin	°K
Intensitas Cahaya	Candela	Cd

Sumber: Misno

Pada besaran listrik dipergunakan satuan Volt, Amper, Ohm, Henry, dan sebagainya. Saat ini, sistem SI sudah membuat daftar besaran, satuan, serta simbol dibidang kelistrikan dan kemagnetan yang diberlakukan secara internasional. Adapun besaran tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.2 berikut ini.

**Tabel 1.2 Besaran dan Simbol Kelistrikan dalam SI**

Besaran	Simbol	Satuan	Simbol	Persamaan
Arus listrik	I	Ampere	A	$I = V/R$
Gaya gerak listrik	E	Volt	V	$V = I \times R$
Tegangan	V	Volt	V	$V = I \times R$
Resistor	R	Ohm	$\Omega$	$R = V/I$
Muatan listrik	Q	Coulomb	C	$Q = I \cdot t$



Kapasitans	C	Farad	F	$C = Q/V$
Kuat medan listrik	E	Newton/coulomb	N/C	$E = V/l$
Kerapatan fluks listrik	D	Coulomb/m <sup>2</sup>	C/m <sup>2</sup>	$D = Q/l^2$
Permittivity	€	Farad/meter	F/m	$€ = D/E$
Kuat medan magnet	H	Tesla	A/m	$HD = nl$
Fluks magnet	$\phi$	Weber	Wb	$E = d\phi/dt$
Kerapatan medan magnet	B	Tesla	T	$B = \phi/l^2$
Induktansi	L	Henry	H	$M = \phi/l$
Permeability	$\mu_0$	Newton/Amper <sup>2</sup>	H/m	$\mu =$

Sumber: Misno

### Ukuran Standar Kelistrikan

Dalam ilmu kelistrikan, terdapat tujuh satuan Standar Internasional (SI), yakni standar satuan tegangan, arus, resistansi, kapasitans, induktansi atau kemagnetan, temperatur, dan luminasi cahaya.

1. Standar tegangan dihitung menggunakan tabung gelas Weston mirip huruf H yang memiliki dua elektrode. Tabung elektrode positif berisi elektrolit merkuri dan tabung elektrode negatif berisi elektrolit kadmium. Keduanya ditempatkan pada suhu ruangan dengan tegangan suhu elektrode Weston sebesar  $20^\circ\text{C} = 1,01858\text{ V}$ .
2. Standar arus adalah arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor di dalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter dan di antara kedua penghantar menimbulkan gaya  $2 \times 10^{-7}$  newton/m.
3. Standar resistansi dihitung menggunakan kawat *alloy manganin* dengan resistansi  $1\Omega$ , memiliki ketahanan listrik tinggi dalam koefisien suhu rendah, serta ditempatkan pada tabung terisolasi yang menjaganya dari perubahan suhu atmosfer.
4. Standar kapasitans diturunkan dari standar resistansi dan standar tegangan SI dengan menggunakan sistem jembatan Maxwell. Dengan diketahui resistansi dan frekuensi secara teliti, akan diperoleh standar kapasitans (farad).
5. Standar induktansi diturunkan dari standar resistansi dan standar kapasitans. Dengan metode geometris akan diperoleh standar induktor.
6. Standar temperatur atau suhu diukur dengan derajat kelvin. Besaran derajat kelvin diperoleh berdasarkan tiga titik acuan air saat dalam kondisi membeku, mencair, dan saat mendidih. Membeku berarti air menjadi es dengan suhu  $0^\circ\text{C}$  atau  $273,16^\circ\text{K}$ , sedangkan air mendidih memiliki suhu  $100^\circ\text{C}$ .
7. Standar luminasi cahaya menggunakan satuan candela. Pengukuran luminasi cahaya diukur berdasarkan benda hitam seluas  $1\text{m}^2$  dan bersuhu lebur platina ( $1773^\circ\text{C}$ ) yang memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar  $6 \times 10^5$  candela.

## B. Hukum-Hukum Kelistrikan

Pada bidang keilmuan listrik dikenal beberapa hukum dasar listrik sebagai berikut.

### 1. Hukum Faraday

Seorang ilmuwan yang berasal dari Inggris, Michael Faraday (1791-1867) menyatakan

- Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (fluks) secara konstan, pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.
- Perubahan fluks medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar, akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut.

Dua pernyataan tersebut merupakan hukum dasar listrik berupa penjelasan fenomena induksi elektromagnetik dan hubungan antara perubahan fluks dengan tegangan induksi yang ditimbulkan pada suatu rangkaian. Hukum Faraday memperkenalkan suatu besaran yang disebut fluks magnetik (jumlah garis-garis gaya magnetik). Fluks magnetik berkaitan juga dengan kuat medan magnet, yaitu kerapatan garis-garis gaya magnet. Berdasarkan kedua definisi tersebut diperoleh rumus fluks magnetik sebagai berikut.

$$\phi = B A \cos \theta$$

Keterangan:

$\phi$  = fluks magnetik (Weber atau Wb)

$B$  = induksi magnetik (Wb/m<sup>2</sup>)

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

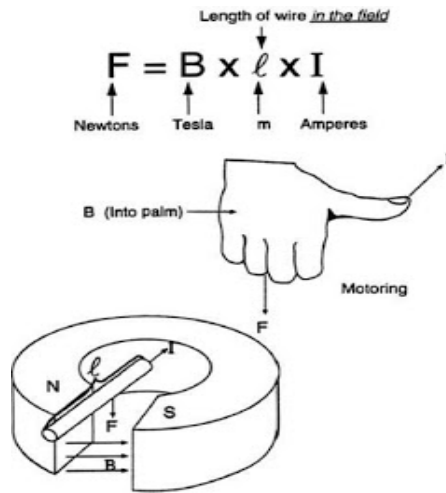
$\theta$  = sudut antara induksi magnet dengan normal bidang

Berdasarkan persamaan di atas, pada fluks magnet ( $\phi$ ) memungkinkan terjadi tiga perubahan. Pertama, karena perubahan medan magnet ( $B$ ). Kedua, karena perubahan luas penampang ( $A$ ) yang dilalui, contoh kawat yang bergerak dalam medan magnet. Ketiga, karena perubahan sudut ( $\theta$ ), contoh kumparan yang berputar (generator listrik). Di bawah ini hasil percobaan yang dilakukan Michael Faraday.

- Saat magnet digerakkan (keluar-masuk) dalam kumparan, jarum pada galvanometer menyimpang.
- Penyimpangan jarum galvanometer menunjukkan bahwa di dalam kumparan mengalir arus listrik (arus induksi).
- Arus listrik timbul karena pada ujung-ujung kumparan timbul beda potensial atau beda (GGL induksi).
- Timbulnya GGL induksi pada ujung kumparan disebabkan adanya perubahan garis gaya magnetik yang memotong kumparan.

### 2. Hukum Ampere-Biot-Savart

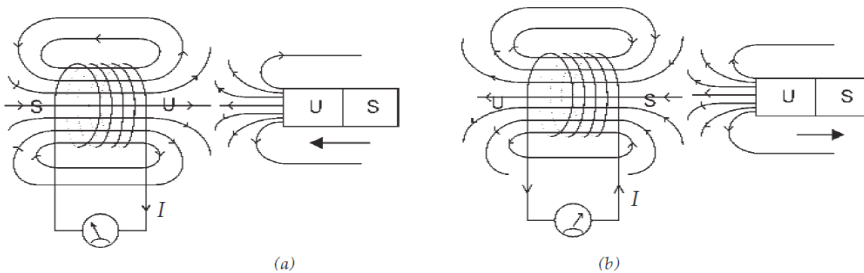
Tiga orang ilmuwan kebangsaan perancis, Andre Marie Ampere (1775-1863), Jean Baptista Biot (1774-1862) dan Victor Savart (1803-1862) menyatakan bahwa gaya akan dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar yang berada di antara medan magnetik. Hal ini merupakan kebalikan dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa tegangan induksi akan timbul pada kawat penghantar yang bergerak dan memotong medan magnetik. Hukum ini yang kemudian diaplikasikan pada mesin-mesin listrik.



Gambar 1.1 Penjelasan hukum Ampere-Biot-Savart.  
Sumber: Misno

### 3. Hukum Lenz

Seorang Ilmuwan Heinrich Lenz (1804–1865) menyatakan bahwa arus induksi elektromagnetik dan gaya akan selalu berusaha untuk saling meniadakan (gaya aksi dan reaksi). Contoh: jika suatu penghantar diberikan gaya untuk berputar dan memotong garis-garis gaya magnetik, pada penghantar akan timbul tegangan induksi (hukum Faraday). Kemudian, jika pada ujung-ujung penghantar tersebut saling dihubungkan akan mengalir arus induksi yang akan menghasilkan gaya pada penghantar tersebut (hukum Ampere-Biot-Savart).

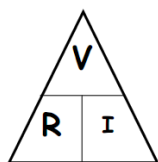


Gambar 1.2 Hukum Lenz, gaya aksi dan reaksi.  
Sumber: Misno

Selanjutnya, diungkapkan oleh Lenz bahwa gaya yang dihasilkan tersebut berlawanan arah dengan arah gerakan penghantar dan akan saling meniadakan. Hukum Lenz mampu memberi penjelasan perihal prinsip kerja mesin listrik dinamis (mesin listrik putar), yakni generator dan motor listrik.

### 4. Hukum Ohm

Pada rangkaian listrik tertutup, besarnya arus  $I$  berbanding lurus dengan besarnya tegangan  $V$  dan berbanding terbalik dengan beban tahanan  $R$ . Hal tersebut dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.



$$I = V/R$$

$$V = R \times I$$

$$R = V/I$$

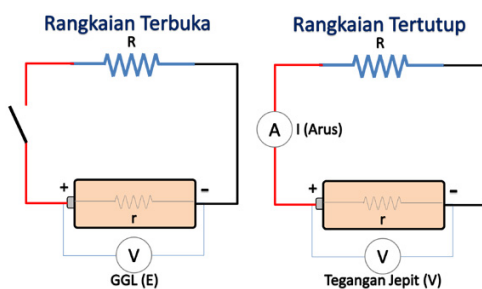
keterangan

I = arus listrik (ampere)

V = tegangan listrik (volt)

R = tahanan listrik (ohm)

Suatu rangkaian listrik akan terdapat aliran arus listrik, jika pada rangkaian tersebut terdapat tegangan sumber listrik, kawat penghantar, dan beban yang tersambung.



Gambar 1.3 GGL dan tegangan jepit.

Sumber: Misno

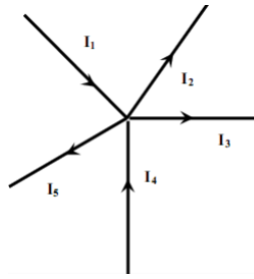
Ketika sakelar S terbuka, arus tidak akan mengalir menuju ke beban. Pada saat sakelar S ditutup, terdapat aliran arus listrik menuju ke beban R. Amperemeter akan menunjukkan besar arus yang mengalir pada rangkaian tertutup.

## 5. Hukum Kirchoff

Dua persamaan yang membahas kekekalan muatan dan energi dalam sirkuit listrik, pertama kali dijabarkan pada tahun 1845 oleh Gustav Kirchoff. Hukum-hukum ini juga sering disebut sebagai hukum kirchoff yang berbunyi pada setiap titik percabangan dalam rangkaian listrik, jumlah arus yang masuk ke dalam titik itu sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut atau jumlah arus pada sebuah titik nol.

### a. Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I menyatakan bahwa pada rangkaian loop tertutup, jumlah arus yang masuk ke dalam suatu titik sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Pada setiap rangkaian listrik, jumlah aljabar dari arus-arus yang bertemu pada satu titik adalah nol ( $\sum I=0$ ).



Gambar 1.4 Hukum kirchoff I.  
Sumber: Misno

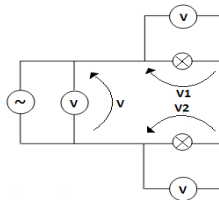
Rumus Hukum Kirchoff I

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

b. Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff tegangan disebut juga sebagai hukum kirchoff II. Hukum kirchoff tegangan menyatakan bahwa dalam rangkaian loop tertutup, jumlah aljabar tegangan dalam cabang tertutup hasilnya nol.



Gambar 1.5 Hukum kirchoff II  
Sumber: Misno

Istilah lain jumlah drop tegangan sama dengan tegangan sumber. Tanda tegangan sumber yang berlawanan dengan tanda drop tegangan disetiap resistor.

Persamaan hukum kirchhoff II

$$V + (-V_1) + (-V_2) = 0$$

$$V - V_1 - V_2 = 0$$

Keterangan

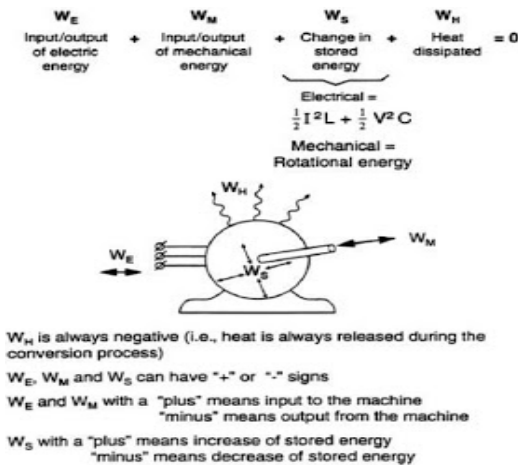
$V$  = tegangan sumber

$V_1$  = drop tegangan R1

$V_2$  = drop tegangan R2

### C. Konversi Energi Elektromekanik

Konversi energi listrik ke energi mekanik maupun konversi energi mekanik ke energi listrik memerlukan medan magnet yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi sekaligus sebagai media penghubung proses perubahan energi itu sendiri. Hukum Faraday dan gaya lorentz diterapkan untuk kegiatan konversi energi. Proses kerja suatu mesin listrik menjadi prinsip dasar dari konversi energi elektromekanik.



Gambar 1.6 Prinsip konversi energi elektromekanik.  
Sumber: Misno

Semua energi listrik dan energi mekanik mengalir ke dalam mesin dan hanya sebagian kecil saja yang mengalir keluar mesin (terbuang) atau disimpan di dalam mesin itu sendiri. Energi yang terbuang tersebut merupakan energi panas. Sebagaimana diketahui, jika sebuah konduktor dengan panjang  $L$  digerakkan tegak lurus sepanjang  $ds$ , kemudian konduktor tersebut memotong medan magnet dengan kerapatan fluksi  $B$ , perubahan fluksi pada konduktor dengan panjang  $L$  sebagai berikut:

$$d(\text{fluksi}) = B \cdot L \cdot ds$$

Hukum Faraday

$$GGL = e = d(\text{fluksi})/dt$$

maka,

$$e = B \cdot L \cdot ds/dt, \text{ karena } ds/dt \text{ merupakan } v \text{ (kecepatan)}$$

$$e = B \cdot L \cdot v$$

Gaya Gerak Listrik (GGL) terjadi jika sebuah media medan magnet diberikan energi mekanik untuk menghasilkan kecepatan ( $v$ ) pada sebuah kawat penghantar (konduktor) dengan panjang  $L$ . Hal ini merupakan prinsip kerja dari generator listrik.

## D. Arus Hambatan dan Tegangan listrik

### 1. Arus Listrik

Arus listrik merupakan aliran elektron yang secara terus-menerus dan berkesinambungan mengalir pada kawat penghantar akibat adanya perbedaan jumlah elektron pada beberapa lokasi. Arus listrik bergerak dari terminal positif (+) ke terminal negatif (-), sedangkan aliran listrik pada kawat penghantar terdiri dari aliran elektron yang bergerak dari terminal negatif (-) ke terminal positif(+). Dalam hal ini, arah arus listrik dianggap berlawanan dengan arah gerakan elektron. Satuan arus listrik adalah Ampere (A).

Satu ampere arus didefinisikan sebagai mengalirnya elektron sebanyak  $624 \times 10^{16}$  ( $6,24151 \times 10^{18}$ ) atau 1 coulomb per detik melewati suatu penampang kawat penghantar. Rumus arus listrik sebagai berikut.

$$I = Q/t$$

keterangan:

$I$  = besarnya arus listrik yang mengalir (ampere)

$Q$  = besarnya muatan listrik (coulomb)

$t$  = waktu (detik)

### Aliran Arus Listrik Konvensional



### Aliran Elektron



Gambar 1.7 Arah arus listrik dan aliran elektron.

Sumber: Misno

Kuat arus listrik merupakan jumlah elektron bebas yang berpindah melewati suatu penampang kawat penghantar dalam satuan waktu. Sementara itu, ampere didefinisikan sebagai satuan kuat arus listrik yang mampu memisahkan 1,118 milligram perak dari nitrat perak murni dalam satu detik, sedangkan rapat arus ialah besarnya arus listrik tiap-tiap  $\text{mm}^2$  luas penampang kawat. Arus listrik mengalir secara merata pada kawat penghantar sesuai luas penampangnya. Contoh: pada arus listrik sebesar 12 A yang mengalir pada kawat penghantar dengan penampang  $4 \text{ mm}^2$  terjadi kerapatan arus  $3 \text{ A/mm}^2$  ( $12 \text{ A}/4 \text{ mm}^2$ ). Pada saat penampang kawat penghantar diganti dengan ukuran yang lebih kecil  $1,5 \text{ mm}^2$  maka kerapatan arusnya menjadi  $8 \text{ A/mm}^2$  ( $12 \text{ A}/1,5 \text{ mm}^2$ ).

Kerapatan arus juga berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Suhu pada kawat penghantar dipertahankan sekitar  $300^\circ\text{C}$ . Kemampuan hantar arus kawat penghantar sudah ditetapkan seperti pada Tabel 1.3 Kemampuan Hantar Arus (KHA) sebagai berikut.

**Tabel 1.3 Kemampuan Hantar Arus (KHA)**

Penampang Penghantar ( $\text{mm}^2$ )	Kemampuan Hantar Arus (A)			
	Kelompok B2		Kelompok C	
	Jumlah Penghantar			
	2	3	2	3
1,5	16,5	15	19,5	17,5
2,5	23	20	27	24
4	30	27	36	32
6	38	34	46	41
10	52	46	63	57
16	69	62	85	76
25	90	80	112	96

Sumber: Misno

Pada Tabel 1.3 di atas, terlihat kawat penghantar dengan penampang  $4 \text{ mm}^2$ , 2 inti kabel dengan besar KHA 30 A memiliki kerapatan arus  $8,5 \text{ A/mm}^2$ . Rapat arus

berbanding terbalik dengan penampang kawat penghantar sehingga semakin besar penampang kawat penghantar, rapat arusnya semakin kecil.

Rumus menghitung besarnya rapat arus, kuat arus, dan penampang kawat dijabarkan sebagai berikut.

$$J = I/A$$

$$I = J \times A$$

$$A = I/J$$

keterangan

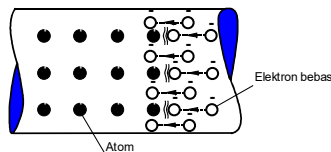
J = rapat arus (A/mm<sup>2</sup>)

I = kuat arus (ampere]

A = luas penampang kawat (mm<sup>2</sup>)

## 2. Tahanan Listrik dan Daya Hantar Kawat Penghantar

Gerakan pembawa muatan dengan arah tertentu pada bagian dalam suatu penghantar akan terhambat oleh terjadinya tumbukan dengan ion-ion atom dari bahan penghantar tersebut. Perlawanan penghantar terhadap pelepasan arus inilah yang disebut sebagai tahanan.



Gambar 1.8 Gerakan elektron di dalam penghantar logam.

Sumber: Misno

Simbol formula untuk tahanan listrik adalah  $R$ . Adapun pembagian dan kelipatan satuan listrik dinyatakan sebagai berikut.

$$1 \text{ M}\Omega = 1 \text{ megaohm} = 1000000 \Omega = 10^6 \Omega$$

$$1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ kiloohm} = 1000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ m}\Omega = 1 \text{ miliohm} = 1/1000 \Omega = 10^{-3} \Omega$$

Besarnya arus listrik yang mengalir pada bahan penghantar berlawanan dengan hambatannya. Hambatan tergantung pada susunan bagian dalam bahan itu sendiri (kerapatan atom dan jumlah elektron bebas) atau disebut juga tahanan jenis. Tahanan jenis suatu bahan penghantar menunjukkan bahwa angka yang tertera sesuai dengan nilai tahanannya untuk panjang 1 m dengan luas penampang 1 mm<sup>2</sup> pada temperatur 20°C. Sebagai contoh, besarnya tahanan jenis untuk beberapa penghantar dinyatakan sebagai berikut.

a. perak  $\rho = 0,016 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

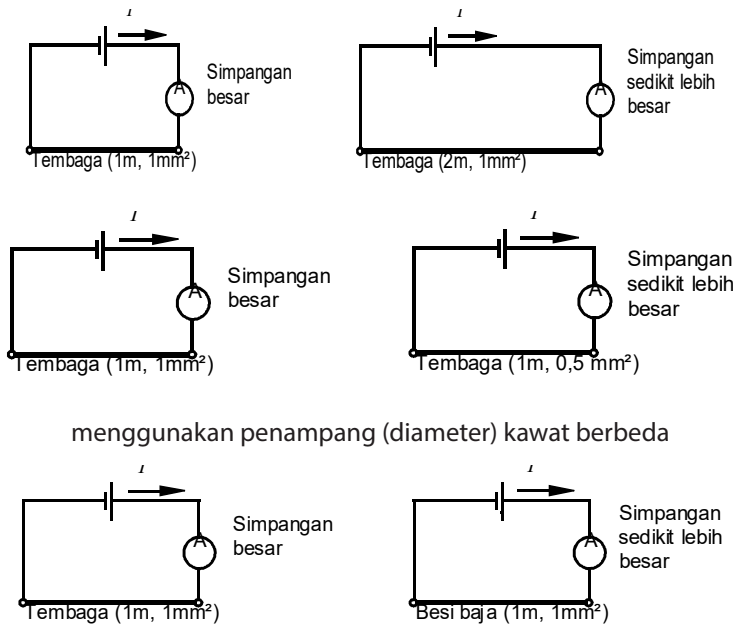
b. tembaga  $\rho = 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

c. alumunium  $\rho = 0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

## 3. Tahanan Listrik Suatu Penghantar

Rangkaian beberapa kawat penghantar dihubungkan pada tegangan sumber listrik dan disambungkan dengan ampermeter yang diperbandingkan dari setiap hasil pengukuran akan diperoleh rumus sebagai berikut.





menggunakan penampang (diameter) kawat berbeda

menggunakan bahan kawat berbeda

Gambar 1.9 Gambar rangkaian listrik dengan panjang kawat berbeda.  
Sumber: Misno

Tahanan listrik suatu penghantar  $R$  semakin besar, jika

- kawat penghantar  $l$  semakin panjang;
- luas penampang  $A$  semakin kecil; dan
- tahanan jenis  $\rho$  semakin besar.

Penjelasan dari hasil uji coba tersebut sebagai berikut:

- gerakan elektron pada penghantar panjang mendapatkan rintangan lebih kuat dibandingkan penghantar yang pendek;
- gerakan elektron dengan jumlah sama pada kawat penghantar dengan luas penampang lebih kecil terjadi tumbukan lebih banyak yang berarti tahanan menjadi bertambah; dan
- bahan dengan tahanan jenis lebih besar, jarak atomnya lebih kecil dan jumlah elektron-elektron bebasnya lebih sedikit sehingga menghasilkan tahanan listrik yang lebih besar.

Berdasarkan penjelasan di atas, diperoleh rumus sebagai berikut.

$$\text{Hambatan} = R = \frac{\tilde{n} \cdot l}{A}$$

$$\text{Panjang penghantar} = l = \frac{R \cdot A}{\tilde{n}}$$

$$\text{Hambatan jenis} = \tilde{n} = \frac{R \cdot A}{l}$$

Diameter penampang penghantar  $A = \frac{\tilde{n} \cdot l}{R}$

keterangan

R = tahanan penghantar ( $\Omega$ )

$\rho$  = Tahanan jenis ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )

l = Panjang penghantar (m)

A = Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

#### 4. Beda Potensial atau Tegangan

Pada potensial listrik terdapat perpindahan arus listrik akibat adanya beda potensial. Satu volt sama dengan beda potensial antara 2 titik saat melakukan usaha 1 joule untuk memindahkan muatan listrik sebesar 1 coulomb. Beda potensial atau tegangan dirumuskan sebagai berikut.

$$V = W/Q$$

keterangan

V = beda potensial atau tegangan (volt)

W = usaha (Nm/joule)

Q = muatan listrik (coulomb)

Simbol satuan untuk volt adalah V. Adapun pembagian dan kelipatan satuan tegangan dinyatakan sebagai berikut.

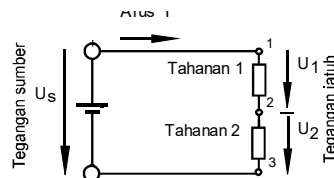
1 MV = 1 megavolt = 1000000 V =  $10^6$  V

1 kV = 1 kilovolt = 1000 V =  $10^3$  V

1 mV = 1 milivolt = 1/1000 V =  $10^{-3}$  V

1  $\mu$ V = 1 mikrovolt = 1/1000000 V =  $10^{-6}$  V

Sementara itu, rangkaian listrik dibedakan menjadi dua macam, yaitu tegangan sumber dan tegangan jatuh. Berkaitan dengan tegangan sumber dan tegangan jatuh dapat diamati pada Gambar 1.10 di bawah ini.



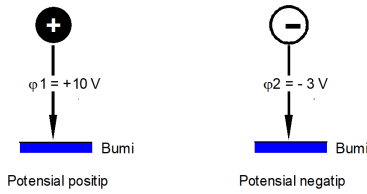
Gambar 1.10 Gambar tegangan sumber dan tegangan jatuh.

Sumber: Misno

Tegangan sumber adalah tegangan yang dibangkitkan di dalam sumber tegangan yang menjadi penyebab atas terjadinya aliran arus untuk disalurkan ke seluruh rangkaian listrik dan dikonsumsi oleh masing-masing beban. Berbeda dengan tegangan sumber, tegangan jatuh diartikan sebagai tegangan yang digunakan pada beban. Berikut ini komponen yang terdapat pada tegangan sumber maupun tegangan jatuh.

##### a. Potensial

Tegangan antara benda padat yang bermuatan dengan bumi atau titik apa saja yang direkomendasikan disebut *potensial* (simbol:  $\Phi$ ). Potensial menggunakan satuan volt, tetapi sebagai simbol formula digunakan huruf Yunani  $\Phi$  (baca: phi). Bumi mempunyai potensial  $\Phi = 0$  V

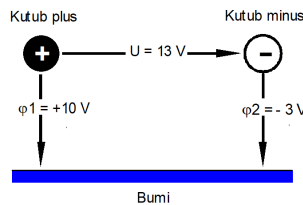


Gambar 1.11 Bumi mempunyai potensial.  
Sumber: Misno

Pada gambar di atas, bola 1 ( $\Phi_1 = +10 \text{ V}$ ) dan bola 2 ( $\Phi_2 = -3 \text{ V}$ ) memiliki perbedaan penempatan elektron sehingga besarnya tegangan dapat ditentukan dengan aturan sebagai berikut.

$$U = \phi_1 - \phi_2 = +10 \text{ V} - (-3 \text{ V}) = +10 \text{ V} + 3 \text{ V} = 13 \text{ V}$$

Pada kondisi ini, bola bermuatan positif dibuat dengan tanda kutub (+) dan bola bermuatan negatif dengan kutub (-).



Gambar 1.12 Bumi mempunyai potensial pada  $U=13\text{V}$ .  
Sumber: Misno

Sebuah tegangan antara dua buah titik dapat menyatakan adanya perbedaan potensial pada titik-titik tersebut sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan tersebut sama dengan perbedaan potensial.

Contoh:

Dua buah titik pada suatu rangkaian arus terdapat potensial  $\Phi_1 = +20 \text{ V}$  dan  $\Phi_2 = +10 \text{ V}$ . Berapa besar tegangan antara kedua titik tersebut?

Jawaban:  $U = \Phi_1 - \Phi_2 = 20 \text{ V} - 10 \text{ V} = 10 \text{ V}$

b. Arah tegangan

Tegangan selalu mempunyai arah reaksi tertentu yang dapat digambarkan seperti suatu anak panah tegangan. Anak panah tegangan untuk arah tegangan positif ditunjukkan dari potensial tinggi (kutub +) menuju ke potensial rendah (kutub-). Dalam hal ini, potensial tingginya adalah positif (+) dan potensial rendahnya adalah negatif (-). Pada praktiknya dapat diperlihatkan bahwa anak panah tegangan untuk tegangan sumber mempunyai arah dari kutub (+) menuju ke kutub (-), sedangkan arah anak panah tegangan jatuh seperti aliran arus yang mengalir dari potensial tinggi menuju ke potensial rendah.

### Tugas Kelompok

1. Lakukan kegiatan diskusi di kelas. Masing-masing kelompok terdiri dari 5–8 siswa untuk membahas satu contoh dari penerapan hukum-hukum kelistrikan yang ada di sekitar lingkungan sekolah.
2. Buatlah sebuah alat sederhana yang memanfaatkan teori konversi energi elektromagnetik dan lakukan presentasi oleh perwakilan setiap kelompok di depan kelas.

## Rangkuman

Sistem Internasional (SI Unit) merupakan kesepakatan internasional berkenaan sistem pengukuran. Dalam bidang teknik, terdapat 6 besaran yang dinyatakan dalam sistem SI, yakni panjang, massa, waktu arus listrik, temperatur termodinamika, dan intensitas cahaya. Berkaitan dengan kelistrikan terdapat tujuh besaran standar, yakni ampere, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan temperatur atau suhu, dan luminasi cahaya.

Hukum faraday, hukum ampere-biot-savart, dan hukum lenz merupakan tiga hukum dasar listrik yang penerapannya terdapat pada proses kerja dari suatu mesin listrik. Hukum faraday dan gaya lorentz digunakan sebagai prinsip dasar dari konversi energi elektromekanik dari sebuah mesin listrik dinamis (generator dan motor listrik). Di samping ketiga hukum tersebut, terdapat juga hukum ohm dan hukum kirchoff. Hukum tersebut digunakan untuk menghitung besaran arus, tegangan, dan hambatan listrik pada sebuah rangkaian listrik.

## Uji Kompetensi

### A. Soal Pilihan Ganda

**Pilihlah jawaban yang paling tepat.**

1. Negara yang pertama kali memakai sistem metrik adalah ....
  - a. Inggris
  - b. Amerika
  - c. Perancis
  - d. Jepang
  - e. Korea
2. Satuan luminasi cahaya yang sesuai (SI) adalah ....
  - a. ampere
  - b. volt
  - c. ohm
  - d. farad
  - e. candela
3. Nama lain dari jumlah garis-garis gaya magnetik adalah ....
  - a. fluks magnetik
  - b. medan magnet
  - c. magnet alam
  - d. magnet buatan
  - e. magnet
4. Pernyataan arus induksi elektromagnetik dan gaya akan selalu berusaha untuk saling meniadakan merupakan pendapat dari ....
  - a. Faraday
  - b. Heinrich Lenz
  - c. Andre Marie Ampere
  - d. Jean Baptista Biot
  - e. Victor Savart
5. Jumlah elektron bebas yang berpindah melalui suatu penampang kawat penghantar dalam satuan waktu disebut ....
  - a. kuat arus listrik
  - b. rapat arus listrik
  - c. emisi listrik
  - d. sumber energi listrik
  - e. listrik
6. Besarnya arus listrik setiap  $\text{mm}^2$  luas penampang kawat disebut ....
  - a. kuat arus listrik
  - b. rapat arus listrik
  - c. emisi listrik
  - d. sumber energi listrik
  - e. listrik

7. Sebuah lampu pijar memiliki tahanan 100 ohm dan dihubungkan dengan tegangan 120 volt. Berapa arus yang mengalir?
  - a. 0,0012 A
  - b. 0.8 A
  - c. 0.12 A
  - d. 1 A
  - e. 1, 2 A
8. Arah gerakan arus listrik adalah ....
  - a. positif ke negatif
  - b. negatif ke positif
  - c. negatif ke negatif
  - d. positif ke positif
  - e. salah semua
9. Arah gerakan arus elektron adalah ....
  - a. positif ke negatif
  - b. negatif ke positif
  - c. negatif ke negatif
  - d. positif ke positif
  - e. salah semua
10. Tahanan listrik (R) semakin besar jika kawat penghantar ....
  - a. semakin panjang
  - b. semakin pendek
  - c. semakin tipis
  - d. semakin lunak
  - e. semakin lebar
11. Satuan potensial listrik adalah ....
  - a. ampere
  - b. ohm
  - c. watt
  - d. volt
  - e. farad
12. Pada rangkaian listrik tertutup, arus (I) yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah ....
  - a. berbanding lurus dengan tegangan listrik
  - b. berbanding lurus dengan hambatan listrik
  - c. besarnya sama dengan hambatan listrik
  - d. besarnya sama dengan tegangan listrik
  - e. besarnya sama dengan daya listrik
13. Pada rangkaian listrik tertutup, besarnya arus (I) yang mengalir adalah ....
  - a. berbanding lurus dengan hambatan listrik
  - b. besarnya sama dengan hambatan listrik
  - c. besarnya sama dengan tegangan listrik
  - d. besarnya sama dengan daya listrik
  - e. berbanding terbalik dengan hambatan listrik
14. Pada rangkaian loop tertutup, jumlah arus yang masuk ke dalam suatu titik sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut merupakan pernyataan dari ....
  - a. Hukum Kirchoff I
  - b. Hukum Kirchoff II
  - c. Hukum Ohm
  - d. Hukum Faraday
  - e. Hukum Lenz
15. Dalam rangkaian loop tertutup, jumlah aljabar tegangan dalam cabang tertutup hasilnya nol. Hal ini merupakan bunyi hukum ....
  - a. Hukum Kirchoff I
  - b. Hukum Kirchoff II
  - c. Hukum Ohm
  - d. Hukum Faraday
  - e. Hukum Lenz

## B. Soal Esai

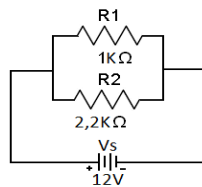
**Jawablah dengan tepat dan benar.**

1. Standar tegangan sesuai satuan internasional adalah ....
2. Standar resistansi sesuai satuan internasional adalah ....
3. Standar induksi sesuai satuan internasional adalah ....
4. Aliran elektron yang secara terus-menerus dan berkesinambungan mengalir pada kawat penghantar akibat adanya perbedaan jumlah elektron pada beberapa lokasi disebut ....
5. Jumlah elektron bebas yang berpindah melewati suatu penampang kawat penghantar dalam satuan waktu disebut ....
6. Gaya Gerak Listrik (GGL) adalah ....
7. Daya hantar listrik adalah ....
8. Tegangan listrik adalah ....
9. Muatan listrik adalah ....
10. Standar arus sesuai satuan internasional adalah ....

## C. Soal Esai Uraian

**Jawablah dengan ringkas dan benar.**

1. Tuliskan pernyataan dari Jean Baptista Biot dan Victor Savart!
2. Tulislah pernyataan hukum ohm pada rangkaian listrik tertutup!
3. Tulislah hukum kirchoff I dan II disertai rumus persamaannya!
4. Pada gambar di bawah, terdapat 2 buah resistor dirangkai secara paralel dan dihubungkan dengan tegangan sumber 12 V DC. Setiap resistor mempunyai resistansi 1 K $\Omega$  dan 2,2 K $\Omega$ . Tentukan besar arus listrik yang mengalir pada masing-masing resistor dan arus listrik total sumber!



5. Gambar di bawah ini menunjukkan 2 buah resistor  $R_1=100\ \Omega$  dan  $R_2=50\ \Omega$  yang dihubungkan dengan tegangan sumber baterai 10V. Berapakah besar nilai tegangan yang terdapat pada  $R_2$ ?

