



DASAR LISTRIK DAN ELEKTRONIKA (C2) KELAS X

**Penulis :
Misno, S.T. M.Eng**

PT. KUANTUM BUKU SEJAHTERA

DASAR LISTRIK DAN ELEKTRONIKA

SMK/MAK Kelas X

Penulis	: Misno, S.T. M.Eng
Editor	: Tim Quantum Book
Perancang sampul	: Tim Quantum Book
Perancang letak isi	: Tim Quantum Book
Penata letak	: Tim Quantum Book
Ilustrator	: Tim Quantum Book
Tahun terbit	: 2019
ISBN	: 978-623-7216-19-3

Tata letak buku ini menggunakan program Adobe InDesign CS3, Adobe Illustrator CS3, dan Adobe Photoshop CS3.

Font isi menggunakan Myriad Pro (10 pt)

B5 (17,6 × 25) cm

vi + 160 halaman

© Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang menyebarluaskan dalam bentuk apapun
tanpa izin tertulis

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Hak Cipta Pasal 72 Ketentuan Pidana Sanksi
Pelanggaran.

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan; memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kepada Allah Tuhan yang maha kuasa atas limpahan karuniaNya sehingga dapat terselesainya penyusunan buku ajar dasar listrik dan elektronika ini.

Sebagaimana kita ketahui bersama bahwa mata pelajaran produktif yang terdapat pada Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) bidang teknologi dan rekayasa secara ideal dituntut untuk bisa menerapkan pendekatan pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman belajar kepada peserta didik sehingga mampu menguasai kompetensi tertentu. Buku dasar listrik dan elektronika ini disusun dengan menerapkan Pembelajaran yang berbasis kompetensi, sesuai dengan Standar Kompetensi Nasional, berdasarkan Kurikulum 2013 dan disesuaikan dengan Kompetensi Inti/Kompetensi dasar (KI/KD) terbaru serta 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 dengan kompetensi keahlian Teknik Elektronika Industri, pada buku ini dilengkapi ilustrasi gambar pada masing-masing bab dengan maksud agar mempermudah pemahaman materi yang ada bagi pembaca baik siswa maupun guru pengampu.

Buku dasar listrik dan elektronika berisi tentang, 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 diharapkan peserta didik mampu mengikuti uji level pada akhir semester kelas X dan lulus uji kompetensi pada akhir kelas XII.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu sehingga dapat terselesainya penyusunan buku ini.

Masih banyak terdapat sejumlah kekurangan pada buku ini, sehingga kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat diperlukan untuk perbaikan penulis pada masa yang akan datang.

Malang, 9 Maret 2019

Penulis

Daftar Isi

BAB 1	Satuan Dasar dan Hukum-Hukum Kelistrikan	1
	A. Sistem Satuan Kelistrikan dan Ukuran Standar.....	3
	B. Hukum–Hukum Kelistrikan	5
	C. Konversi Energi Elektromekanik.....	9
	D. Arus Hambatan dan Tegangan Listrik	9
	Uji Kompetensi.....	14
BAB 2	Sistem Proteksi Rangkaian Listrik	19
	A. Sistem Proteksi Listrik.....	21
	B. Komponen Sakelar Pemutus dan Relay	22
	C. Transformator Arus dan Tegangan (CT).....	24
	D. Kabel Instrumen dan Catu Daya Cadangan	27
	E. Catu Daya Cadangan	29
	Uji Kompetensi.....	31
BAB 3	Sumber-Sumber Tegangan Listrik	35
	A. Prinsip Kemagnetan.....	37
	B. Sistem Kemagnetan pada Rangkaian Listrik	37
	C. Sumber Tegangan	39
	D. Gelombang Arus Listrik Bolak-balik	44
	Uji Kompetensi.....	49
BAB 4	Rangkaian Listrik Dan Elektronika	53
	A. Susunan Rangkaian Listrik.....	55
	B. Perhitungan Arus dan Tegangan pada Rangkaian Listrik	56
	Uji Kompetensi.....	63
BAB 5	Komponen Listrik dan Elektronika	67
	A. Resistor (R).....	69
	B. Kapasitor (C).....	73
	C. Induktor (L).....	77
	D. Diode Semikonduktor	80
	E. Transistor Persambungan (BJT)	86
	Uji Kompetensi.....	95
BAB 6	Alat Ukur Listrik dan Elektronika	99
	A. Prinsip Kerja Alat Ukur Listrik dan Elektronika	101
	B. Macam-Macam Alat Ukur Listrik dan Elektronika	103
	C. Pengukuran Menggunakan Alat Ukur Listrik dan Elektronika	106
	Uji Kompetensi.....	109
BAB 7	Prangkaian Dasar Elektronika Digital	115
	A. Sistem Bilangan.....	117
	B. Konversi Bilangan	117

C. Aljabar Boolean pada Rangkaian Logika	122
D. Gerbang Dasar Rangkaian Logika	125
E. Rangkaian Flip-Flop	129
Uji Kompetensi.....	133
BAB 8 Sensor Dan Tranduser	139
A. Karakteristik, Jenis, dan Klasifikasi Sensor	141
B. Tranduser	151
Uji Kompetensi.....	154
Daftar Pustaka	158
Glosarium	159
Biodata Penulis	160

BAB

1

Satuan Dasar dan Hukum-Hukum Kelistrikan

Kompetensi Dasar

- 3.1 Memahami besaran dari unit Satuan Internasional (SI) pada kelistrikan.
- 4.1 Mengukur peralatan kelistrikan dengan besaran dari sistem Internasional (SI) pada kelistrikan.
- 3.3 Memahami dan menerapkan hukum - hukum kelistrikan dan elektronika.
- 4.3 Menerapkan hukum-hukum kelistrikan dan elektronika.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, siswa diharapkan mampu:

1. memahami besaran dari unit Satuan Internasional (SI) pada kelistrikan,
2. mengukur peralatan kelistrikan dengan menggunakan besaran dari sistem Internasional (SI) pada kelistrikan,
3. memahami dan menerapkan hukum-hukum kelistrikan dan elektronika, serta
4. menerapkan hukum-hukum kelistrikan dan elektronika pada rangkaian kelistrikan dan elektronika.

Peta Konsep

**Satuan Dasar dan
Hukum-Hukum
Kelistrikan**

Sistem Satuan Kelistrikan
dan Ukuran Standar

Hukum-Hukum Kelistrikan

Konversi Energi
Elektromagnetik

Arus Hambatan dan
Tegangan Listrik

Materi Pembelajaran

A. Sistem Satuan Kelistrikan dan Ukuran Standar

1. Sistem Satuan Kelistrikan

Di awal perkembangan sistem pengukuran dalam bidang teknik dikenal dua sistem satuan yaitu sistem metrik (dipakai di Prancis sejak 1795) dan sistem CGS (*Centimeter-Gram-Second*) dipakai oleh Negara Amerika dan Inggris (negara ini juga menggunakan sistem metrik untuk kepentingan internasional).

Mulai tahun 1960 dikenalkan Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional berkenaan sistem pengukuran dalam bidang teknik, terdapat enam besaran dinyatakan dalam sistem SI, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1.1 Besaran pada sistem SI

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	Meter	m
Massa	Kilogram	Kg
Waktu	Detik	S
Arus listrik	Ampere	A
Temperatur termodinamika	Kelvin	^o K
Intensitas cahaya	Candela	Cd

Besaran listrik yang dipergunakan adalah satuan Volt, Amper, Ohm, Henry dsb. Saat ini sistem SI sudah membuat daftar besaran, satuan dan simbol dibidang kelistrikan dan kemagnetan diberlakukan secara internasional. Adapun besaran itu antara lain:

Tabel 1.2 Besaran dan simbol kelistrikan dalam SI

Besaran	Simbol	Satuan	Simbol	Persamaan
Arus listrik	I	Ampere	A	$I = \frac{V}{R}$
Gaya gerak listrik	E	Volt	V	$V = I \times R$
Tegangan	V	Volt	V	$V = I \times R$
Resistor	R	Ohm	Ω	$R = \frac{V}{I}$
Muatan listrik	Q	Coulomb	C	$Q = I \times t$
Kapasitansi	C	Farad	F	$C = \frac{Q}{V}$

Kuat medan listrik	E	Newton/ coulomb	N/C	$E = \frac{V}{l}$
Kerapatan fluks listrik	D	Coulomb/m ²	C/m ²	$D = \frac{Q}{l^2}$
Permittivitas	€	Farad / meter	F/m	$\epsilon = \frac{D}{E}$
Kuat medan magnet	H	Tesla	A/m	$HD = nI$
Fluks magnet	ϕ	Weber	Wb	$E = \frac{d\phi}{dt}$
Kerapatan medan magnet	B	Tesla	T	$B = \frac{\phi}{l^2}$
Induktansi	L	Henry	H	$M = \frac{\phi}{I}$
Permeabilitas	μ_o	Newton/ Amper ²	H/m	$\mu = \frac{B}{H}$

2. Ukuran Standar Kelistrikan

Ukuran standar pada pengukuran perlu adanya rekomendasi yang diakui secara Standar Internasional (SI). Terdapat tujuh besaran berkaitan dengan ilmu kelistrikan merupakan sebuah standar, yakni, standar satuan tegangan, arus, resistansi, kapasitansi, induktansi atau kemagnetan temperatur, dan luminasi cahaya.

- Standar tegangan, ketentuan SI adalah tabung gelas Weston mirip huruf H memiliki dua elektrode, tabung elektrode positif berisi elektrolit merkuri dan tabung elektrode negatif diisi elektrolit kadmium, ditempatkan pada suhu ruangan. Tegangan elektrode Weston suhu 20°C sebesar 1,01858 V.
- Standar arus, sesuai standar SI adalah arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor di dalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter, diantara kedua penghantar menimbulkan gaya 2×10^{-7} Newton/m panjang.
- Standar resistansi, sesuai ketentuan SI yakni kawat alloy manganin resistansi 1 Ω yang memiliki tahanan listrik tinggi dan koefisien suhu rendah, ditempatkan pada tabung terisolasi yang menjaga dari perubahan suhu atmosfer.
- Standar kapasitansi, sesuai ketentuan SI, diturunkan dari standar resistansi SI dan standar tegangan SI, dengan menggunakan sistem jembatan Maxwell, dengan diketahui resistansi dan frekuensi secara teliti akan diperoleh standar kapasitansi (Farad).
- Standar induktansi, sesuai ketentuan SI, diturunkan dari standar resistansi dan standar kapasitansi, dengan metode geometris, standar induktor akan diperoleh.

- f. Standar temperatur atau suhu, sesuai ketentuan SI, diukur dengan Kelvin, besaran Kelvin didasarkan pada tiga titik acuan air saat kondisi menjadi es, menjadi air, dan saat air mendidih. Air menjadi es sama dengan $0^{\circ}\text{C} = 273,16$ Kelvin, air mendidih 100°C .
- g. Standar luminasi cahaya, sesuai ketentuan SI adalah Candela yaitu yang diukur berdasarkan benda hitam seluas 1m^2 yang bersuhu lebur platina (1.773°C) akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6×10^5 Candela.

B. Hukum–Hukum Kelistrikan

Dalam bidang keilmuan listrik dikenal beberapa hukum dasar listrik, yaitu Hukum Faraday, Hukum Ampere-Biot-Savart, Hukum Lenz, Hukum Ohm, dan Hukum Kirchhoft. Berikut beberapa penjelasan berkenaan hukum-hukum tersebut.

1. Hukum Faraday

Seorang ilmuwan yang berasal dari Inggris Michael Faraday (1791–1867), menyatakan sebagai berikut:

- a. Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (fluks) yang konstan, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.
- b. 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 mengenalkan suatu besaran yang dinamakan fluks magnetik. Fluks magnetik adalah jumlah garis-garis gaya magnetik. Adapun kuat medan magnet adalah kerapatan garis-garis gaya magnet.

Berdasarkan kedua definisi tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- ϕ = fluks magnetik (weber atau Wb)
 B = induksi magnetik (Wb/m^2)
 A = luas penampang (m^2)
 θ = sudut antara induksi magnet dengan normal bidang

Berdasarkan persamaan tersebut dapat terlihat adanya perubahan fluks magnet (ϕ) dapat terjadi tiga kemungkinan. Pertama terjadi karena perubahan medan magnet (B). Kedua, terjadi karena perubahan luas penampang (A) yang dilalui, contohnya kawat yang bergerak dalam medan magnet. Ketiga, terjadi karena perubahan sudut (θ), contohnya kumparan yang berputar (generator listrik).

Berikut merupakan hasil percobaan dari Michael Faraday.

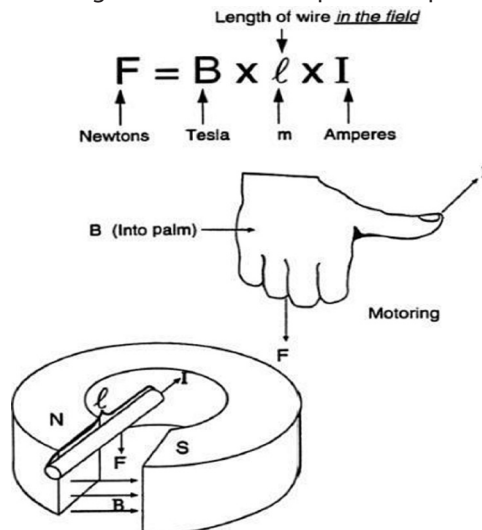
- Pada saat magnet digerakkan (keluar-masuk) dalam kumparan jarum pada galvanometer menyimpang.
- Penyimpangan jarum galvanometer menunjukkan bahwa di dalam kumparan mengalir arus listrik. Arus listrik seperti ini disebut arus induksi.
- Arus listrik timbul karena pada ujung-ujung kumparan timbul beda potensial. Beda potensial ini disebut gaya gerak listrik induksi (ggl induksi).
- Timbulnya ggl induksi pada ujung-ujung kumparan disebabkan karena 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 diantara medan magnetik”.

Hal ini merupakan kebalikan dari Hukum Faraday, di mana Michael Faraday menyampaikan bahwa tegangan induksi akan timbul pada kawat penghantar yang bergerak dan memotong medan magnetik. Hukum ini diaplikasikan pada mesin-mesin listrik.



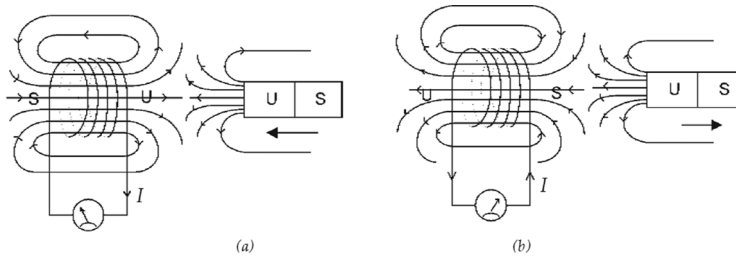
Gambar 1.2 Penjelasan Hukum Ampere-Biot-Savart
Sumber: <http://busta-min.blogspot.com>

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)”.

Misalnya, apabila suatu penghantar diberikan gaya untuk berputar dan memotong garis-garis gaya magnetik, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi (hukum Faraday). Kemudian jika pada ujung-ujung penghantar tersebut saling dihubungkan maka akan mengalir arus induksi, dan arus induksi ini akan menghasilkan gaya pada penghantar tersebut (hukum Ampere-Biot-Savart).

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



Gambar 1.3 Hukum Lenz- gaya aksi dan reaksi
Sumber: <http://fisikazone.com/hukum-lenz/>

4. Hukum Ohm

Pada rangkaian listrik tertutup, besarnya arus I berubah sebanding dengan besarnya tegangan V dan berbanding terbalik dengan beban tahanan R , atau dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

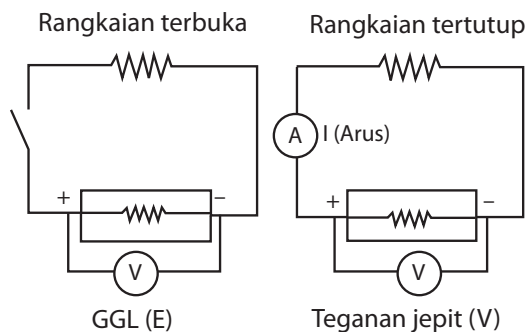
$$V = R \times I$$

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

Keterangan:

I = arus listrik (Ampere)
 V = tegangan listrik (Volt)
 R = tahanan listrik (Ohm)

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



Gambar 1.4 GGL dan tegangan jepit
Sumber: <https://duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.com>

Pada gambar terlihat ketika sakelar S terbuka, maka arus tidak akan mengalir menuju ke beban. Pada saat sakelar S ditutup, maka terdapat aliran arus listrik menuju ke beban R . Alat ukur arus listrik (amperemeter) akan menunjukkan besar arus yang mengalir pada rangkaian tertutup tersebut.

5. Hukum Kirchhoff

Hukum-hukum Sirkuit Kirchhoff adalah dua persamaan yang membahas kekekalan muatan dan energi dalam sirkuit listrik, dan pertama dijabarkan pada tahun 1845 oleh Gustav Kirchhoff. Hukum-hukum ini juga sering disebut sebagai Hukum Kirchhoff.

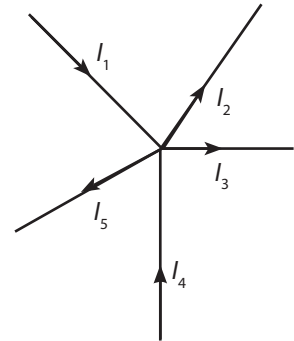
Prinsip kekekalan muatan listrik menyatakan bahwa "Pada setiap titik percabangan dalam rangkaian listrik, jumlah dari arus yang masuk ke dalam titik itu sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut atau jumlah arus pada sebuah titik nol".

a. Hukum Kirchhoff I

Hukum Kirchhoff-arus 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 di satu titik adalah nol ($\Sigma I = 0$), dirumuskan sebagai berikut:

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



Gambar 1.5 Hukum Kirchhoff I
Sumber: Dokumen penerbit

b. Hukum Kirchhoff II

Hukum Kirchhoff, tegangan disebut juga sebagai Hukum Kirchhoff II. Hukum Kirchhoff-tegangan menyatakan bahwa dalam rangkaian loop tertutup, jumlah aljabar tegangan dalam cabang tertutup hasilnya nol.

Jumlah drop tegangan sama dengan tegangan sumber tegangan. Tanda sumber tegangan berlawanan dengan tanda drop tegangan di setiap resistor.

Persamaan Hukum Kirchhoff-tegangan sebagai berikut:

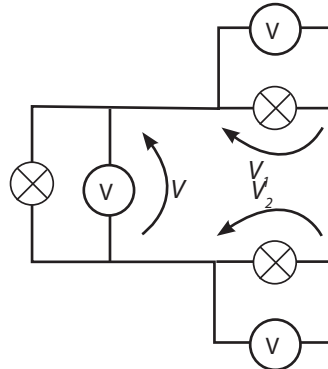
$$V + (-V_1) + (-V_2) = 0$$
$$V - V_1 - V_2 = 0$$

Keterangan:

V = tegangan sumber

V_1 = drop tegangan R_1

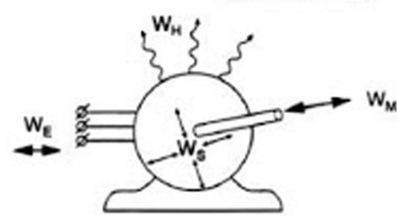
V_2 = drop tegangan R_2



Gambar 1.6 Hukum Kirchhoff II
Sumber: Dokumen penerbit

C. Konversi Energi Elektromekanik

Pada mekanisme konversi energi elektromekanik, baik itu berupa konversi energi listrik ke energi mekanik maupun konversi energi mekanik ke energi listrik memerlukan medan magnet yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi dan sebagai media penghubung proses perubahan energi itu sendiri. Hukum Faraday dan Gaya Lorentz diterapkan untuk kegiatan konversi energi ini. Pada proses kerja dari suatu mesin listrik (generator dan motor listrik) merupakan prinsip dasar dari konversi energi elektromekanik.



Gambar 1.7 Prinsip konversi energi elektromekanik
Sumber: Dokumen penerbit

Semua energi listrik dan energi mekanik mengalir ke dalam mesin, dan hanya sebagian kecil dari energi listrik dan energi mekanik yang mengalir keluar mesin (terbuang) ataupun disimpan di dalam mesin itu sendiri. Energi yang terbuang tersebut dalam bentuk panas.

Sebagaimana yang kita ketahui bahwa apabila sebuah konduktor dengan panjang L yang digerakkan tegak lurus sepanjang ds , kemudian konduktor tersebut memotong medan magnet dengan kerapatan fluksi B , maka perubahan fluksi pada konduktor dengan panjang L yaitu sebagai berikut.

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

Berdasarkan Hukum Faraday: $ggl = e = \frac{d(\text{fluksi})}{dt}$

Maka:

$$e = B \times L \times \frac{ds}{dt}, \text{ karena } \frac{ds}{dt} \text{ merupakan } v \text{ (kecepatan), maka:}$$

$$e = B \times L \times v$$

Berdasarkan persamaan tersebut, apabila pada sebuah media medan magnet diberikan energi mekanik untuk menghasilkan kecepatan (v) pada sebuah kawat penghantar (konduktor) dengan panjang L , maka pada kawat penghantar tersebut akan timbul gaya gerak listrik (GGL). 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 yang jumlah elektronnya tidak sama. Arus listrik bergerak dari terminal positif (+) ke terminal negatif (-), sedangkan aliran listrik pada kawat penghantar terdiri atas aliran elektron yang bergerak dari terminal negatif (-) ke terminal positif(+), arah arus listrik dianggap berlawanan dengan arah gerakan elektron. Satuan arus listrik adalah Ampere (A).

Satu amper arus adalah mengalirnya elektron sebanyak 624×10^{16} ($6,24151 \times 10^{18}$) atau = 1 Coulomb per detik melewati suatu penampang kawat penghantar. Rumus arus listrik yaitu sebagai berikut:

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

Keterangan:

- I = besarnya arus listrik yang mengalir (Ampere)
- Q = besarnya muatan listrik (Coulomb)
- t = waktu (detik)

Kuat arus listrik merupakan jumlah elektron bebas yang berpindah melewati suatu penampang kawat penghantar dalam satuan waktu.

Rapat arus ialah besarnya arus listrik tiap-tiap mm² luas penampang kawat. Arus listrik mengalir pada kawat penghantar

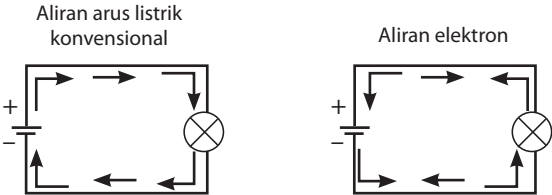
merata sesuai luas penampangnya. Misalkan terdapat arus listrik sebesar 12 A mengalir pada kawat penghantar dengan penampang 4 mm², maka terdapat kerapatan arus 3 A/mm² ($12 \text{ A} / 4 \text{ mm}^2$). Pada saat penampang kawat penghantar diganti dengan yang lebih kecil 1,5 mm², maka kerapatan arusnya menjadi 8 A/mm² ($12 \text{ A} / 1,5 \text{ mm}^2$).

Kerapatan arus juga berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Suhu pada kawat penghantar dipertahankan sekitar 300 °C. Kemampuan hantar arus kawat penghantar sudah terdapat ketetapan pada Tabel.

Pada tabel 1.3 terlihat, kawat penghantar dengan penampang 4 mm², dua inti kabel terdapat KHA 30 A, memiliki kerapatan arus 8,5 A/mm². Rapat arus berbanding terbalik dengan penampang kawat penghantar, semakin besar penampang kawat penghantar rapat arusnya makin kecil.

Tabel 1.3 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Penampang Penghantar (mm ²)	Kemampuan Hantar Arus (A)			
	Kelompok B		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	36	34	46	41
10	52	46	63	57
16	69	62	85	76
25	90	80	112	96



Gambar 1.8 Arah arus listrik dan aliran elektron
Sumber: Dokumen penerbit

Berikut merupakan rumus perhitungan besarnya rapat arus, kuat arus, dan penampang kawat.

$$J = \frac{I}{A}$$

$$I = J \times A$$

$$A = \frac{I}{J}$$

Keterangan:

J = rapat arus (A/mm²)
 I = kuat arus (Ampere)
 A = luas penampang kawat (mm²)

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 disebut sebagai tahanan. Satuan SI yang ditetapkan untuk tahanan listrik adalah Ohm.

Simbol formula untuk tahanan listrik adalah R .

Besarnya arus listrik yang mengalir pada masing-masing bahan penghantar berlawanan dengan hambatannya. Hambatan ini tergantung pada susunan bagian dalam bahan itu sendiri (kerapatan atom dan jumlah elektron bebas) hal itu disebut sebagai tahanan jenis (spesifikasi tahanan).

Tahanan jenis suatu bahan penghantar menunjukkan bahwa angka yang tertera adalah sesuai dengan nilai tahanannya untuk panjang 1 m, luas penampang 1 mm², dan pada temperatur 20°C.

Sebagai contoh, besarnya tahanan jenis untuk:

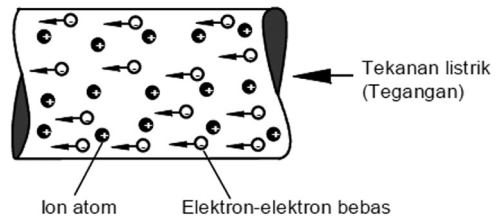
- perak $\rho = 0,016 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- tembaga $\rho = 0,0178 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- aluminium $\rho = 0,0278 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Berikut yang menyebabkan nilai tahanan listrik suatu penghantar R makin besar.

- Kawat penghantar l makin panjang.
- Luas penampang A makin kecil.
- Tahanan jenis ρ makin besar

Suatu percobaan menyatakan sebagai berikut:

- Gerakan elektron yang terdapat pada penghantar yang lebih panjang akan mendapatkan rintangan lebih kuat dibanding pada penghantar yang lebih pendek.
- Pada gerakan elektron dengan jumlah sama pada kawat penghantar dengan luas penampang lebih kecil terjadi tumbukan yang lebih banyak, hal ini berarti bahwa tahanannya menjadi bertambah.



Gambar 1.9 Gerakan elektron di dalam penghantar logam
 Sumber: Dokumen penerbit

- c. Bahan dengan tahanan yang lebih besar, maka jarak atomnya lebih kecil dan jumlah elektron-elektron bebasnya lebih sedikit, sehingga menghasilkan tahanan listrik yang lebih besar.

Berdasarkan penjelasan di atas dapat didapatkan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Hambatan} &= R = \frac{\rho \cdot l}{A} \\ \text{Hambatan jenis} &= \rho = \frac{R \cdot A}{l} \\ \text{Panjang penghantar} &= l = \frac{R \cdot A}{\rho} \\ \text{Diameter penampang penghantar} &= A = \frac{\rho \cdot l}{R}\end{aligned}$$

Keterangan:

R = tahanan penghantar (Ω)

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

l = panjang penghantar (m)

A = luas penampang (mm^2)

3. Beda Potensial atau Tegangan

Pada potensial listrik terdapat perpindahan arus listrik akibat adanya beda potensial dengan satuan Volt. Satu Volt adalah beda potensial antara dua titik saat melakukan usaha satu Joule untuk memindahkan muatan listrik satu Coulomb.

Rumus beda potensial atau tegangan sebagai berikut:

$$V = \frac{W}{Q}$$

Keterangan:

V = beda potensial atau tegangan, Volt)

W = usaha (newton-meter atau Nm atau Joule)

Q = muatan listrik, dalam coulomb.

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

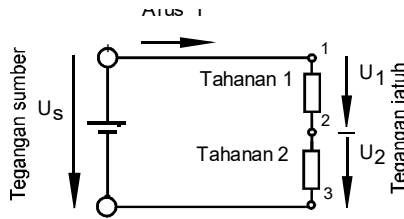
$$1 \text{ MV} = 1 \text{ Megavolt} = 1.000.000 \text{ V} = 10^6 \text{ V.}$$

$$1 \text{ kV} = 1 \text{ Kilovolt} = 1.000 \text{ V} = 10^3 \text{ V.}$$

$$1 \text{ mV} = 1 \text{ Millivolt} = \frac{1}{1.000} \text{ V} = 10^{-3} \text{ V.}$$

$$1 \text{ }\mu\text{V} = 1 \text{ Mikrovolt} = \frac{1}{1.000.000} \text{ V} = 10^{-6} \text{ V.}$$

Pada rangkaian listrik dibedakan menjadi beberapa macam tegangan, yaitu tegangan sumber dan tegangan jatuh. Terlihat pada gambar berikut!



Gambar 1.10 Gambar tegangan sumber dan tegangan jatuh
Sumber: Dokumen penerbit

Tegangan sumber adalah tegangan yang dibangkitkan di dalam sumber tegangan. Tegangan sumber merupakan penyebab atas terjadinya aliran arus. Tegangan sumber disalurkan ke seluruh rangkaian listrik dan dikonsumsi oleh masing-masing beban. Tegangan jatuh adalah tegangan yang digunakan pada beban.

Tegangan selalu mempunyai arah reaksi tertentu, dapat digambarkan seperti suatu anak panah tegangan. Anak panah tegangan untuk arah tegangan positif ditunjukkan dari potensial tinggi (misalnya kutub +) menuju ke potensial rendah (misal kutub -), dalam hal ini memperlihatkan potensial tingginya adalah positif (+) dan potensial rendahnya adalah negatif (-).

Pada praktiknya dapat diperlihatkan bahwa anak panah tegangan untuk sumber tegangan mempunyai arah dari kutub (+) menuju ke kutub (-). Adapun arah anak panah tegangan jatuh seperti aliran arus yang mengalir dari potensial tinggi menuju ke potensial rendah.

Rangkuman

1. Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional berkenaan sistem pengukuran dalam bidang teknik, terdapat enam besaran yang dinyatakan dalam sistem SI, yakni panjang, massa, waktu, arus listrik, temperatur termodinamika, dan intensitas cahaya.
2. Tujuh besaran berkaitan dengan kelistrikan yang merupakan sebuah standar, yakni, standar Ampere, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan, temperatur atau suhu dan luminasi cahaya.
3. Hukum Faraday, Hukum Ampere-Biot-Savart dan Hukum Lenz merupakan tiga hukum dasar listrik yang penerapannya terdapat pada proses kerja dari suatu mesin listrik. Hal tersebut merupakan prinsip dasar dari konversi energi elektromekanik dari sebuah mesin listrik dinamis (generator dan motor listrik).
4. Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff yang dapat dipergunakan untuk analisis perhitungan besar arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik pada sebuah rangkaian listrik tertutup.

A. Pilihlah jawaban yang tepat!

1. Sistem satuan yaitu sistem metrik pertama kali dipakai di negara
 - a. Inggris
 - b. Amerika
 - c. Prancis
 - d. Jepang
 - e. Korea
2. Satuan dari luminasi cahaya yang sesuai dengan Standar Internasional (SI) adalah
 - a. Ampere
 - b. Volt
 - c. Ohm
 - d. Farad
 - e. Candela
3. Jumlah garis-garis gaya magnetik disebut juga
 - a. fluks magnetik
 - b. medan magnet
 - c. magnet alam
 - d. magnet buatan
 - e. magnet
4. Pernyataan bahwa "Arus induksi elektromagnetik dan gaya akan selalu berusaha untuk saling meniadakan", merupakan pendapat dari seorang ilmuwan yang bernama
 - a. Faraday
 - b. Heinrich Lenz
 - c. Andre Marie Ampere
 - d. Jean Baptista Biot
 - e. Victor Savart
5. Jumlah elektron bebas yang berpindah melewati 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 tiap 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, dihubungkan dengan tegangan 120 Volt, arus yang mengalir pada lampu pijar adalah ... A.
 - a. 0,0012
 - b. 0,8
 - c. 0,12
 - d. 1
 - e. 1,2

8. Arus listrik bergerak dari terminal
 - a. positif ke negatif
 - b. negatif ke positif
 - c. negatif ke negatif
 - d. positif ke positif
 - e. salah semua
9. Arus elektron bergerak dari terminal
 - a. positif ke negatif
 - b. negatif ke positif
 - c. negatif ke negatif
 - d. positif ke positif
 - e. salah semua
10. Tahanan listrik suatu penghantar (R) makin besar apabila kawat penghantar makin
 - a. panjang
 - b. pendek
 - c. tipis
 - d. lunak
 - e. lebar
11. Satuan potensial listrik adalah
 - a. Ampere
 - b. Ohm
 - c. Watt
 - d. Volt
 - e. Farad
12. Pada rangkaian listrik tertutup, besarnya 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 pada rangkaian tersebut 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. Pernyataan tersebut merupakan bunyi
 - a. Hukum kirchhoff I
 - b. Hukum kirchhoff II
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Faraday
 - e. Hukum Lenz

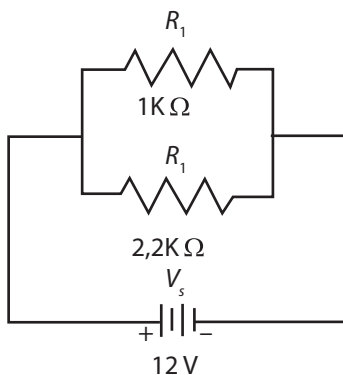
15. Dalam rangkaian loop tertutup, jumlah aljabar tegangan dalam cabang tertutup hasilnya nol. Pernyataan tersebut merupakan bunyi
- Hukum khirchoff I
 - Hukum khirchoff II
 - Hukum Ohm
 - Hukum Faraday
 - Hukum Lenz

B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

- Sebutkan standar tegangan sesuai satuan Internasional!
- Sebutkan standar Resistansi sesuai satuan Internasional!
- Sebutkan standar induksi sesuai satuan Internasional!
- Apa yang maksud dengan arus listrik?
- Apa yang maksud dengan kuat arus Listrik?
- Apa yang dimaksud dengan gaya gerak listrik (GGL) ?
- Apa yang dimaksud dengan hantar listrik?
- Apa yang dimaksud dengan Tegangan listrik?
- Apa yang dimaksud dengan muatan listrik?
- Sebutkan standar arus sesuai satuan Internasional!

C. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas dan benar!

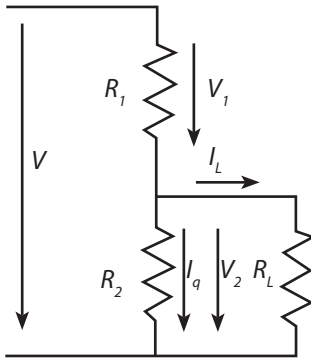
- Tuliskan pernyataan dari Jean Baptista Biot dan Victor Savart yang merupakan kebalikan dari pernyataan Faraday!
- Tulislah pernyataan Hukum Ohm pada rangkaian listrik tertutup!
- Tulislah pernyataan dari Hukum khirchoff I dan II disertai dengan rumus persamaannya!
- Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar tersebut terdapat dua buah resistor dirangkai secara paralel, dihubungkan dengan sumber tegangan 12V DC. Masing-masing resistor mempunyai resistansi 1 K Ω dan 2,2 K Ω . Tentukan besar arus listrik yang mengalir pada masing-masing resistor dan arus listrik total sumber!

5. Perhatikan gambar berikut!

$$I = I_L + I_q$$



Gambar tersebut terlihat ada dua buah resistor $R_1 = 100 \Omega$ dan $R_2 = 50 \Omega$ dihubungkan dengan sumber tegangan baterai 10V. Berapakah besarnya nilai tegangan yang terdapat pada R_2 ?