



LISTRIK & ELEKTRONIKA DASAR OTOMOTIF

(Basic Automotive Electricity & Electronics)



UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Listrik & Elektronika Dasar Otomotif (Basic Automotive Electricity & Electronics)

ISBN: 978-602-51079-0-0

Hak Cipta 2017 pada Penulis

Hak penerbitan pada UNIMMA PRESS. Bagi mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apapun harus mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit UNIMMA PRESS.

Penulis:

Dr. Muji Setiyo, ST., MT.

Editor:

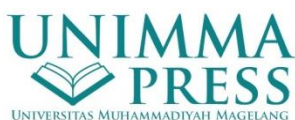
Ade Burhanudin (Teknisi Nissan)
Ari Suryawan, M.Pd (LPP-UMMagelang)

Lay out

Zulfikar Bagus Pambuko, MEI.

Desain sampul:

Ahmad Arif Prasetyo



Penerbit:

UNIMMA PRESS

Gedung Rektorat Lt. 3 Kampus 2 Universitas Muhammadiyah Magelang
Jalan Mayjend Bambang Soegeng km.05, Mertoyudan, Magelang 56172

Telp. (0293) 326945

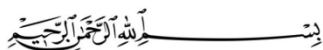
E-Mail: unimmapress@ummgl.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Right Reserved

Cetakan I, Desember 2017

Kata Pengantar



Salam para teknisi dan calon teknisi otomotif,

Saat ini dan kedepan, sebuah mobil berjalan melalui sebuah kontrol elektronik yang terintegrasi. Engine Management System (EMS), Antilock Brake System (ABS), Transmission Control System (TCS), SRS airbag, dan Body Control Module (BCM) dikendalikan secara elektronik oleh komponen-komponen semikonduktor dengan informasi yang dikirim oleh transduser yang terpasang untuk merekam seluruh perilaku mesin dan kendaraan. Calon teknisi otomotif harus menguasai dasar-dasar kelistrikan dan elektronika, sebagai modal untuk melakukan kegiatan *Maintenance, Repair, Overhaul, Diagnostic*, dan *Testing* pada komponen kendaraan. Oleh karena itu, buku ini disusun sebagai bahan ajar mata kuliah *Basic Automotive Electricity and Electronics*, sekaligus sebagai referensi bagi para praktisi.

Buku ini terdiri dari tujuh bab, dengan garis besar isinya sebagai berikut:

Bab 1 membahas tentang teori dasar listrik. Anatomi sebuah material sampai dengan inti atom diberikan dengan ilustrasi yang mudah dipahami. Analogi listrik diberikan dengan berbagai cara agar pembaca lebih mudah memahami. Pada bagian akhir bab 1, dijelaskan sebuah ilustrasi perbedaan listrik statis dan dinamis.

Bab 2 membahas tentang besaran listrik. Tiga besaran listrik (tegangan, arus, dan hambatan) dijelaskan secara detail. Contoh-contoh soal diberikan, untuk membuktikan pengaruh temperatur dan ukuran penghantar terhadap resistansi, flux arus, dan daya listrik, termasuk penggunaan *resistance calculator* dan *Ohm Law calculator*.

Bab 3 membahas tentang pengukuran besaran listrik. Bagian awal membahas tentang konsep pengukuran dengan PMMC. Kemudian dilanjutkan dengan *practical skills* untuk menggunakan analog dan digital multimeter.

Bab 4 membahas detail tentang hukum kirchhoff, yang terdiri dari hukum kirchhoff arus dan hukum kirchhoff tegangan. Dilanjutkan dengan teknik menganalisis tegangan, arus, dan resistor ekuivalen pada rangkaian listrik.

Bab 5 membahas konsep dan aplikasi elektromagnetik yang bekerja pada komponen-komponen kendaraan (solenoid, relay, ignition coil, generator DC, alternator, motor DC, dan motor stepper. Pada bagian

akhir membahas tentang konsep elektrokimia yang diaplikasikan pada kendaraan.

Bab 6 membahas tentang komponen semikonduktor dan transduser. Karakteristik dan konsep kerja dari semikonduktor dan transduser dibahas secara detail beserta aplikasi riilnya pada kendaraan, termasuk prosedur-prosedur pemeriksaannya.

Bab 7 membahas tentang livewire. Livewire adalah laboratorium elektronik simulasi yang menggunakan animasi dan suara untuk mendemonstrasikan prinsip-prinsip sirkuit elektronik. Switch, transistor, dioda, sirkuit terpadu dan ratusan komponen lain semuanya dapat dihubungkan bersamaan untuk menyelidiki konsep tersembunyi seperti tegangan, arus dan hambatan.

Buku ini diedit oleh Ade Burhanudin, teknisi Nissan Magelang dan Ari Suryawan, M.Pd, Kadiv Pengembangan Kurikulum di Lembaga Pengembangan Pendidikan UMMagelang. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada editor yang telah meluangkan pikiran dan waktu untuk membantu penyusunan buku ini.

Tentu saja, karena keterbatasan pengetahuan dan wawasan penulis, materi dalam buku ini masih banyak kekurangannya hampir pada setiap Bab. Penulis juga berharap *feedback* dari pembaca untuk perbaikan pada edisi berikutnya. Semoga bermanfaat.

Magelang, November 2017



Muji Setiyo

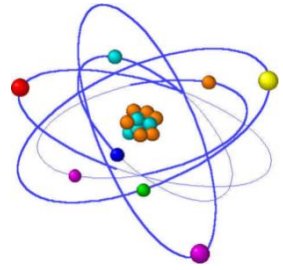
Daftar Isi

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi.....	iv
1. Teori Dasar Listrik	1
1.1. Learning Outcomes	1
1.2. Pendahuluan	1
1.3. Listrik dan Efek Listrik	2
1.4. Struktur Material	3
1.5. Teori Elektron.....	3
1.6. Konduktor, Isolator, dan Semikonduktor	7
1.7. Teori Aliran Arus.....	8
1.8. Jenis Listrik	9
1.9. Evaluasi	10
2. Besaran Listrik	11
2.1. Learning Outcomes	11
2.2. Pendahuluan	11
2.3. Tegangan.....	12
2.4. Arus	15
2.5. Tahanan.....	16
2.6. Resistance Calculator	22
2.7. Hukum Ohm	25
2.8. Daya dan Kerja.....	27
2.9. Ohm Law Calculator	28
2.10. Evaluasi	30
3. Pengukuran Besaran Listrik	33
3.1. Learning Outcomes	33

3.2. Pendahuluan: Konsep Dasar PMMC	33
3.3. Menggunakan Multimeter Analog	44
3.4. Menggunakan Multimeter Digital	55
3.5. Evaluasi	62
4. Hukum Kirchhoff	63
4.1. Learning Outcomes.....	63
4.2. Pendahuluan.....	63
4.3. Hukum Kirchhoff Arus dan Tegangan.....	64
4.4. Konsep Rangkaian Seri.....	72
4.5. Konsep Rangkaian Paralel	74
4.6. Konsep Rangkaian Kombinasi	74
4.7. Tahanan Equivalen pada Rangkaian Seri	75
4.8. Tahanan Equivalen pada Rangkaian Paralel.....	77
4.9. Parallel Resistor Calculator.....	80
4.10. Rangkaian Kapasitor	82
4.11. Wheatstone Bridge.....	83
4.12. Contoh Aplikasi Wheatstone Bridge	90
4.13. Evaluasi	92
5. Elektromagnetik dan Elektrokimia	95
5.1. Learning Outcomes.....	95
5.2. Pendahuluan.....	95
5.3. Magnet dan Medan Magnet	96
5.4. Induksi Magnet	97
5.5. Aplikasi Elektromagnetik pada komponen Otomotif.....	98
5.6. Elektrokimia.....	114
5.7. Evaluasi	118
6. Semikonduktor dan Transduser	120

6.1. Learning Outcomes	120
6.2. Pendahuluan	120
6.3. Dioda	123
6.4. Dioda Zener	130
6.5. Photo Dioda	135
6.6. Light Emitting Diode (LED)	135
6.7. Transistor	137
6.8. Integrated Circuit (IC)	141
6.9. Thermistor	143
6.10. Termokopel	145
6.11. Variable Reluctance Sensors	146
6.12. Hall Effect	148
6.13. Pressure Transducer	149
6.14. Evaluasi	150
7. Simulasi Rangkaian Listrik dan Elektronika	152
7.1. Learning Outcomes	152
7.2. Pendahuluan	153
7.3. Menginstal Livewire	155
7.4. Mulai Menggambar Sirkuit	157
7.5. Mensimulasikan Sirkuit	162
7.6. Mengkonversi Sirkuit ke PCB	169
7.7. Menambahkan Text dan Symbol pada Sirkuit	177
7.8. Mengorganisasikan Dokumen	178
7.9. Latihan Membuat Rangkaian Listrik	181
7.10. Latihan Membuat Rangkaian Elektronika	183
7.11. Evaluasi	185
Daftar Referensi	188

Glosarium.....	193
Indeks.....	197
Acknowledgements	200
Editor	201
Profil Penulis.....	203



BEE-01

Teori Dasar Listrik

1.1. *Learning Outcomes*

Knowledge Objectives:

- BEE-K-01-01 Menjelaskan struktur atom dan semua komponennya
- BEE-K-01-02 Menjelaskan perbedaan ion dengan atom
- BEE-K-01-03 Menjelaskan karakteristik elektron terikat, elektron bebas, dan cincin valensi
- BEE-K-01-04 Menjelaskan konsep konduktor, isolator, dan semikonduktor
- BEE-K-01-05 Menjelaskan teori aliran elektron
- BEE-K-01-06 Menjelaskan jenis-jenis listrik

Skill Objectives:

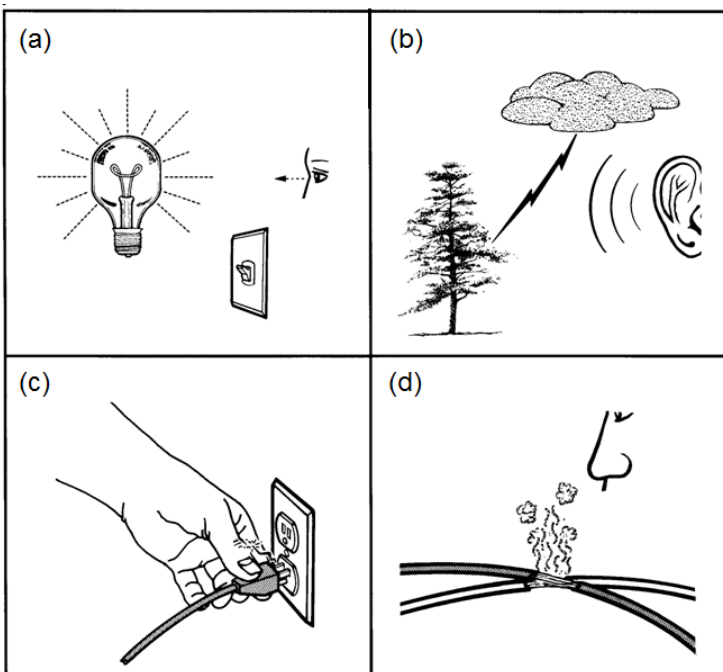
-Tidak ada capaian pembelajaran skill dalam bab ini-

1.2. *Pendahuluan*

Seorang teknisi otomotif bekerja dengan banyak komponen listrik, yang menjadi komponen utama pada teknologi kendaraan tua sampai kendaraan modern. Memahami dasar-dasar listrik adalah pengetahuan dasar untuk memulai mendiagnosa masalah kelistrikan kendaraan, yang harus dikuasai oleh teknisi. Bab 1 ini menjelaskan konsep dasar listrik yang dirangkum dari berbagai sumber referensi [1]-[4].

1.3. Listrik dan Efek Listrik

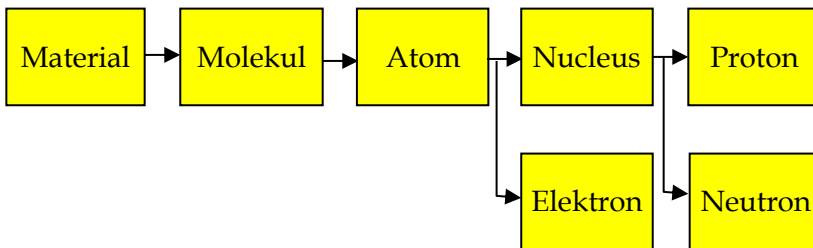
Listrik adalah bentuk energi yang disebut energi listrik. Listrik tidak dapat dilihat secara langsung, namun efeknya dapat dilihat, seperti lampu yang menyala, sebuah motor listrik yang bergerak, atau filamen yang berubah warna. Efek listrik juga bisa terdengar, terasa, dan berbau. Sebuah kilat yang keras mudah didengar atau yang menghasilkan suara ringan seperti klakson, bel listrik, dan sebagainya. Apabila listrik dengan arus besar mengalir melalui sebuah kabel penghantar, kabel yang terisolasi akan terasa "hangat" saat dipegang. Untuk listrik dengan tegangan tinggi, sebuah kabel tanpa pembungkus atau yang pembungkusnya bocor, aliran listrik akan menghasilkan efek "kejutan", seperti halnya ketika kita menyentuh sebuah kabel busi yang terkelupas. Selain itu, listrik yang membakar pembungkus kabel akan menghasilkan bau yang mudah tercium.



Gambar 1.1 Efek listrik yang dapat dilihat (a); didengar (b); dirasakan (c); dan dicium (d).

1.4. Struktur Material

Sebagai pengantar untuk memahami listrik, kita perlu mengidentifikasi mengenai struktur material. Susunan struktur material disajikan dalam Gambar 1.2. Sebuah material terdiri dari molekul-molekul, setiap molekul terdiri dari atom-atom, setiap atom terdiri dari nucleus dan elektron, dan terakhir, setiap nucleus terdiri dari proton dan neutron.



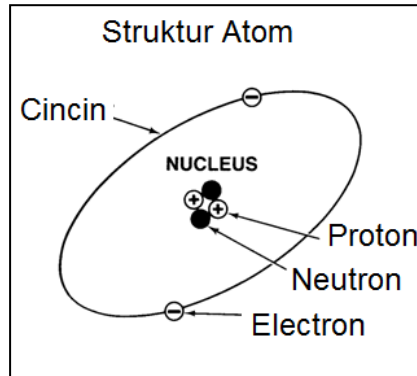
Gambar 1.2 Struktur sebuah material

1.5. Teori Elektron

Karena secara fisik listrik tidak dapat dilihat, cara untuk menjelaskan listrik adalah dengan teori elektron. Semua benda (materi), baik itu benda padat (*solid*), cair (*liquid*), atau gas yang ada di alam ini terdiri dari molekul atau atom-atom. Atom-atom ini adalah partikel terkecil dimana unsur atau zat dapat dibagi tanpa kehilangan sifat-sifatnya. Di dunia ini, hanya ada sekitar 100 atom yang membentuk segala sesuatu. Perbedaan fitur atom antara satu dengan yang lainnya menentukan sifat listrik yang dimiliki.

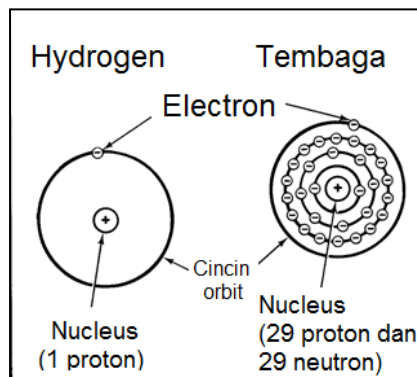
1.5.1. Struktur Atom

Sebuah atom dapat diimajinasikan seperti tata surya kecil. Pusat atom disebut nucleus, yang terdiri dari partikel kecil yang disebut proton dan neutron. Inti atom dikelilingi oleh partikel kecil lainnya yang disebut elektron. Elektron berputar mengelilingi nucleus di jalur tetap yang disebut cangkang atau cincin orbit. Sebuah elektron memiliki muatan listrik negatif dan sebuah nucleus memiliki muatan positif (Gambar 1.3).



Gambar 1.3 Struktur atom

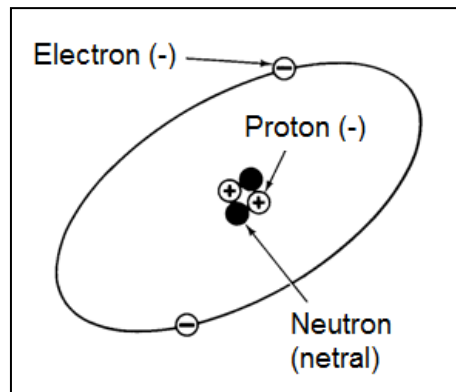
Sebagai contoh, hidrogen memiliki atom paling sederhana dengan satu proton di dalam nucleus dan satu elektron yang berputar di sekitarnya. Namun demikian, tembaga lebih kompleks dengan 29 elektron di empat cincin berbeda yang berputar mengelilingi nucleus yang memiliki 29 proton dan 29 neutron, dengan empat cincin elektron (Gambar 1.4). Elektron di kulit terluar (elektron valensi) memiliki gaya tarik yang lebih kecil terhadap nucleus sedangkan elektron yang lebih dekat dengan nucleus memiliki gaya tarik yang lebih kuat. Elektron terluar ini dapat dipindahkan atau berpindah dari orbitnya dan mereka disebut elektron bebas. Pergerakan elektron bebas inilah yang menyebabkan arus listrik. Elektron bebas terjadi pada kebanyakan jenis logam.



Gambar 1.4 Komparasi atom hydrogen dan tembaga

1.5.2. Atom dan Muatan Listrik

Setiap partikel atom memiliki muatan listrik. Elektron memiliki muatan negatif (-) dan proton memiliki muatan positif, sedangkan neutron tidak memiliki muatan atau netral. Dalam sebuah atom yang seimbang, jumlah elektron sama dengan jumlah proton. Keseimbangan muatan negatif dan positif yang berlawanan memegang atom secara bersama-sama. Dalam hal ini gaya tolak dan gaya tarik sama besar. Proton (positif) menahan elektron di orbit. Gaya sentrifugal mencegah elektron bergerak ke dalam. Neutron dan proton menahan inti atom secara bersama-sama.



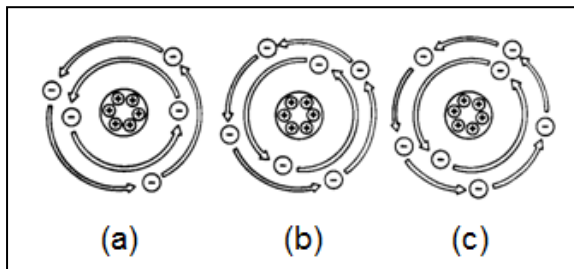
Gambar 1.5 Atom seimbang

Elektron-elektron bergerak atau berjalan dari atom ke atom lainnya sehingga dimungkinkan suatu atom untuk mendapatkan atau kehilangan elektron dari orbitnya. Elektron-elektron yang sudah dikeluarkan dari suatu atom disebut dengan elektron bebas (*free electrons*). Hilangnya suatu elektron pada suatu atom berarti bertambahnya proton pada atom, sehingga muatan positifnya menjadi lebih besar dibandingkan dengan muatan negatifnya. Atom bermuatan positif akan menarik elektron bebas untuk menggantikan posisinya yang hilang. Bila suatu atom mendapat kelebihan elektron, maka atom tersebut akan bermuatan negatif. Atom akan berusaha menolak

partikel negatif dan memudahkan elektron tambahan ini untuk bisa ditarik oleh atom bermuatan positif. Pergerakan atau aliran elektron bebas dari satu atom ke atom lainnya disebut dengan arus listrik.

1.5.3. Ion Positif dan Negatif

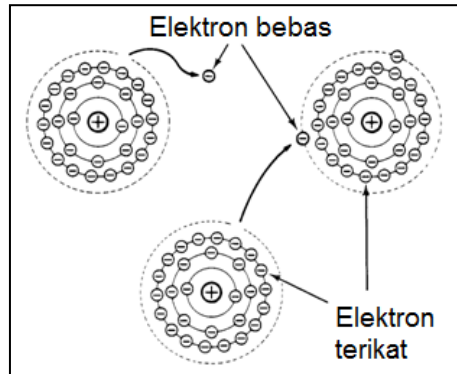
Jika atom memperoleh elektron, ia menjadi ion negatif. Jika atom kehilangan elektron, ia akan menjadi ion positif. Ion positif menarik elektron dari atom lainnya untuk menjadi seimbang. Hal ini menyebabkan aliran elektron. Sebuah ion positif, netral dan ion negatif disajikan dalam Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Ilustrasi ion: (a) Ion positif, 6 proton dan 5 elektron; (b) Ion netral, 6 proton dan 6 elektron; dan (c) Ion negatif, 6 proton dan 7 elektron

1.5.4. Aliran Elektron

Jumlah elektron di orbit terluar (elektron valensi) menentukan kemampuan atom untuk menghasilkan listrik. Elektron pada cincin dalam lebih dekat ke inti, gaya tarik oleh proton sangat kuat dan disebut elektron terikat. Elektron pada cincin luar jauh dari inti atom, gaya tarik proton lebih lemah dan disebut elektron bebas. Elektron dapat dibebaskan dengan gaya seperti gesekan, panas, cahaya, tekanan, aksi kimia, atau aksi magnetis. Elektron bebas ini bergerak menjauh dari gaya gerak listrik atau *electron moving force* (EMF) dari satu atom ke atom berikutnya. Aliran elektron bebas inilah yang kemudian menghasilkan arus listrik.



Gambar 1.7 Gaya gerak listrik

1.6. Konduktor, Isolator, dan Semikonduktor

Sifat listrik berbagai material pada prinsipnya ditentukan oleh jumlah elektron di cincin luar atomnya (elektron valensi).

a. Konduktor

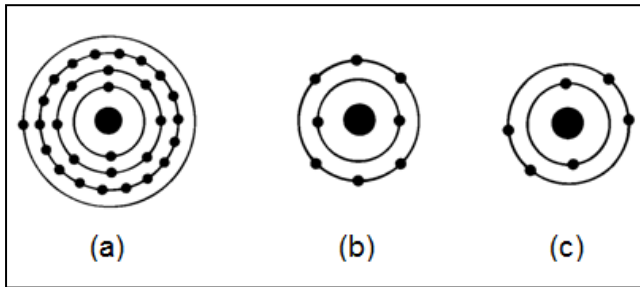
Suatu material yang memiliki 1 sampai 3 elektron valensi membuat konduktor yang baik. Elektron yang berada pada ring terluar memiliki gaya tarik yang lemah dengan proton. EMF yang rendah akan menyebabkan aliran elektron bebas. Tembaga, emas, perak, dan aluminium adalah konduktor yang baik.

b. Isolator

Suatu material dengan 5 sampai 8 elektron elektron valensi adalah isolator. Elektron-elektronnya dipegang kuat, cincinnya cukup penuh, dan EMF yang sangat tinggi diperlukan untuk menyebabkan aliran elektronnya. Material yang memiliki sifat isolator antara kaca, karet, plastik, dan keramik.

c. Semikonduktor

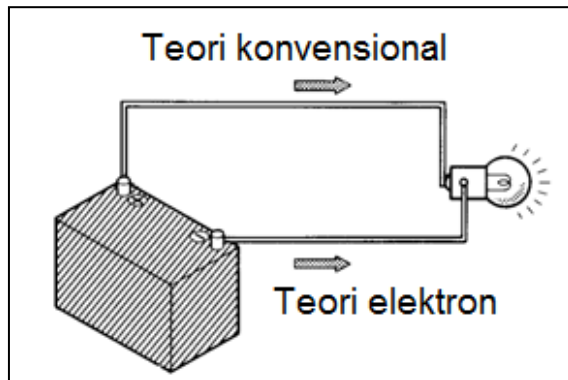
Suatu material dengan 4 elektron valensi disebut semikonduktor. Mereka bukan konduktor yang baik, atau isolator yang baik. Bahan tersebut meliputi karbon, germanium, dan silikon.



Gambar 1.8 Sifat material: (a) Konduktor, dengan 1-3 elektron valensi; (b) Isolator, dengan 5-8 elektron valensi; dan (c) semikonduktor, dengan 4 elektron valensi.

1.7. Teori Aliran Arus

Sampai saat ini, ada dua teori yang menggambarkan arus listrik. Pertama adalah teori konvensional, yang biasa digunakan untuk sistem otomotif, yang mengatakan arus mengalir dari (+) ke (-). Kelebihan elektron mengalir dari daerah dengan potensi tinggi ke daerah dengan potensi rendah (-). Kedua adalah teori elektron, yang biasa digunakan untuk elektronika, yang mengatakan bahwa arus mengalir dari (-) ke (+). Elektron berlebih menyebabkan area potensial negatif (-) dan mengalir ke daerah yang tidak memiliki elektron, yaitu area potensial positif (+), untuk menyeimbangkan muatan. Arah aliran arus secara langsung membuat perbedaan dalam pengoperasian beberapa komponen elektronika seperti dioda. Namun demikian, perbedaan arah arus tidak menyebabkan perbedaan pengukuran tiga besaran listrik, yaitu tegangan, arus, dan tahanan.



Gambar 1.9 Teori aliran arus, teori konvensional dan teori elektron

1.8. Jenis Listrik

Ada dua jenis listrik, yaitu listrik statis dan listrik dinamis. Listrik dinamis bisa berupa arus searah (*Direct Current*, DC) dan arus bolak balik (*Alternating Current*, AC).

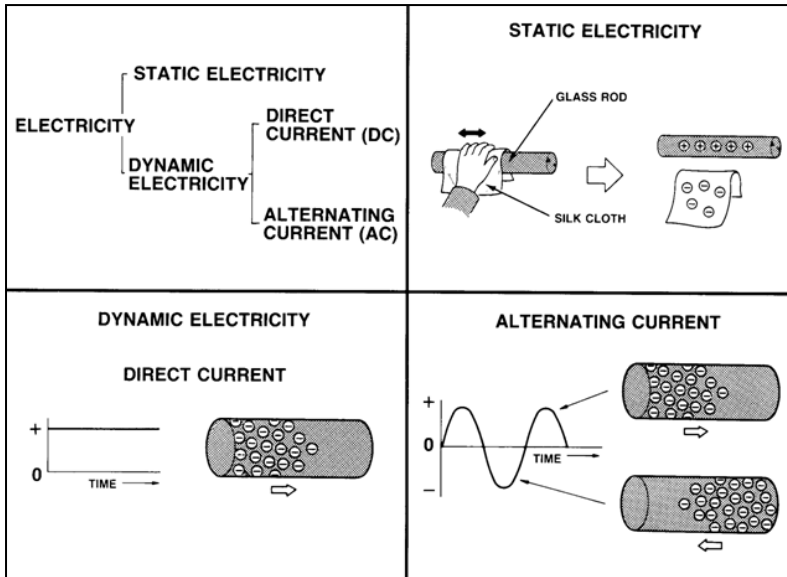
a. Listrik Statis

Bila dua isolator seperti kain sutra dan batang kaca digosok bersamaan, beberapa elektron akan dibebaskan. Kedua bahan tersebut menjadi bermuatan listrik, yang satu kekurangan elektron dan bermuatan positif sedangkan yang lainnya kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Muatan ini tetap berada di permukaan material dan tidak bergerak kecuali kedua bahan disentuh atau dihubungkan oleh konduktor. Karena tidak ada aliran elektron, ini disebut listrik statis.

b. Listrik Dinamis

Ketika elektron dibebaskan dari atomnya dan mengalir dalam material, ini disebut listrik dinamis. Jika elektron bebas mengalir dalam satu arah, disebut arus searah (DC). Jenis arus seperti ini contohnya yang dihasilkan oleh baterai kendaraan. Jika elektron bebas mengubah arah dari positif ke negatif dan berulang kali, listrik tersebut adalah *alternating current* (AC). Jenis arus ini contohnya dihasilkan oleh alternator kendaraan. Untuk dapat berfungsi, arus AC pada kendaraan diubah menjadi DC untuk

menyalakan sistem kelistrikan dan untuk mengisi daya baterai [1].

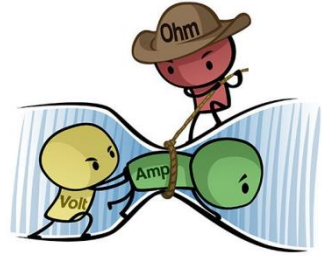


Gambar 1.10 Jenis listrik

1.9. Evaluasi

1. Jelaskan struktur atom dan beri nama semua komponennya.
2. Jelaskan perbedaan antara ion dan atom.
3. Jelaskan perbedaan antara elektron terikat dan elektron bebas.
4. Jelaskan fungsi cincin valensi.
5. Jelaskan perbedaan konduktor, insulator, dan semikonduktor.
6. Jelaskan dua teori aliran elektron.
7. Jelaskan secara rinci dua jenis listrik dan contoh-contohnya.
8. Jelaskan secara rinci dua jenis listrik dinamis dan aplikasinya pada kendaraan.

BEE-02



Besaran Listrik

2.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

- BEE-K-02-01 Menjelaskan konsep tegangan, arus, tahanan, dan daya listrik.
- BEE-K-02-02 Mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi nilai tahanan suatu penghantar.
- BEE-K-02-03 Membuktikan hukum Ohm pada suatu sirkuit listrik sederhana.
- BEE-K-02-04 Menghitung daya listrik.

Skill Objectives:

- BEE-S-02-01 Menggunakan *online resistance calculator* untuk mengestimasi nilai resistensi suatu kabel
 - BEE-S-02-02 Menggunakan *online Ohm law calculator* untuk menghitung besaran listrik pada sirkuit sederhana
-

2.2. Pendahuluan

Seperti diketahui, listrik tidak bisa ditimbang dalam neraca atau diukur menjadi dalam sebuah wadah. Namun demikian, efek listrik dapat diukur. Istilah standar digunakan untuk menggambarkan efek listrik, yaitu tegangan, arus, tahanan, dan

daya. Sebagai analogi, tegangan adalah tekanan, arus adalah aliran, tahanan adalah sesuatu yang melawan aliran, dan daya adalah jumlah kerja yang dilakukan. Dengan demikian, daya tergantung dari besarnya tekanan dan volume aliran. Bab ini menjelaskan besaran listrik yang dihimpun dari beberapa referensi, termasuk bagaimana menggunakan *online resistance calculator* dan *online Ohm law calculator* [4]-[12].

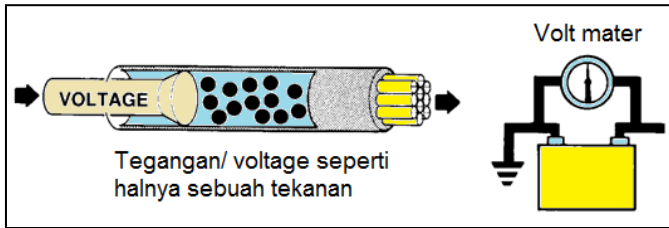
2.3. Tegangan

Tegangan adalah tekanan listrik, beda potensial, atau perbedaan muatan listrik antara dua titik. Perbedaan potensial ini bisa mendorong arus listrik melalui kawat (konduktor), tapi tidak melalui pembungkusnya (isolator). Tegangan listrik diukur dalam Volt (V). Karena ada perbedaan potensial listrik, maka terjadi *electron moving force* (EMF). Dalam kendaraan, tegangan adalah unit listrik untuk menerangkan jumlah tekanan listrik (perbedaan potensial) yang ada antara dua titik pengukuran atau sejumlah tekanan listrik yang dibangkitkan oleh reaksi kimia di dalam baterai. Satu Volt bisa menekan/mengalirkan sejumlah arus untuk mengalir, dua Volt bisa menekan dua kali lebih banyak, dan seterusnya. Perbedaan tekanan listrik antara dua titik diukur dengan voltmeter secara paralel dengan beban.

1 Volt adalah ketika 1 coulomb muatan listrik yang bergerak pada suatu penghantar dan bekerja dalam satu joule, diantara dua titik beda potensial.

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

Dimana, E adalah beda potensial pada kedua ujung rangkaian (Volt), W adalah tenaga listrik (joule), dan Q adalah jumlah muatan listrik (coloumb).



Gambar 2.1 Konsep tegangan listrik

Dengan formula yang lebih mudah dipahami, Volt adalah satuan turunan di dalam Standar Internasional (SI) untuk mengukur perbedaan tegangan listrik. 1 Volt berarti beda tegangan yang diperlukan untuk membuat arus sebesar 1 Ampere di dalam suatu rangkaian dengan resistansi 1 Ohm.

$$E = I \times R$$

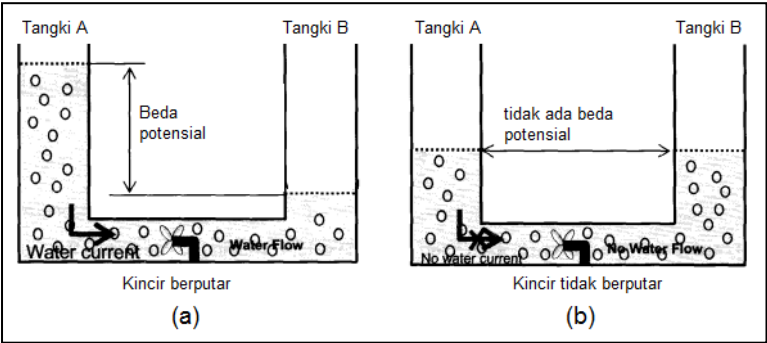
Dimana, E adalah beda potensial pada kedua ujung rangkaian (Volt). I adalah kuat arus listrik yang mengalir pada satu rangkaian (Ampere). R adalah besarnya hambatan dalam sebuah rangkaian, satuannya ohm. Satuan Volt adalah penghargaan yang diberikan untuk **Alessandro Volta** yang menemukan baterai elemen cair.

Tabel 2.1 Konversi satuan tegangan listrik

Voltage	Basic unit	Unit for very small amounts		Unit for very large amounts	
Symbol	V	μ V	mV	kV	MV
Pronounced as	Volt	Micro volt	Mili volt	Kilo volt	Mega volt
Multiplier	1	0,000001	0,001	1.000	1.000.000

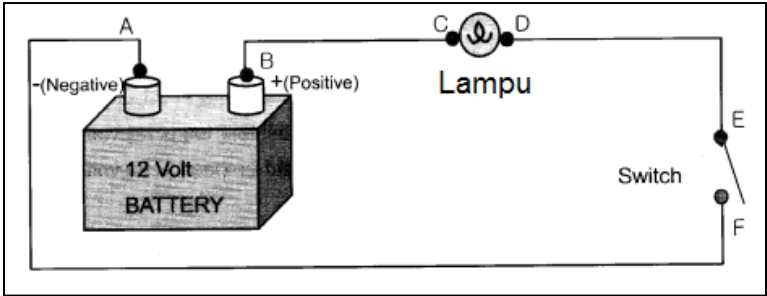
Konsep tegangan juga bisa dianalogikan dengan beda ketinggian air dalam dua tangki yang dihubungkan. Perhatikan Gambar 2.2, jika tangki air A dan B tingginya sama, air tidak akan mengalir dan kincir air tidak akan berputar (Gambar 2.2b). Jika ada perbedaan ketinggian permukaan air diantara kedua tangki tersebut, maka air akan mengalir dari tangki dengan permukaan air yang lebih tinggi ke tangki dengan permukaan air yang lebih rendah (Gambar 2.2a).

Perbedaan ketinggian permukaan air ini menyebabkan ada aliran air dari tangki A ke tangki B, dan kincir air akan berputar. Hal yang sama juga berlaku pada listrik. Jika tidak ada perbedaan potensial, arus tidak mengalir dan jika ada perbedaan potensial, maka arus akan mengalir dari potensial yang lebih tinggi ke yang lebih rendah. Pada saat perbedaan potensial permukaan air pada dua tangki (A dan B) besar, jumlah air yang mengalir dalam satu satuan waktu pada ukuran pipa penghubung yang sama akan lebih banyak yang menyebabkan kincir air berputar lebih cepat. Ini juga seperti listrik, jika beda potensial antara dua titik adalah besar, pergerakan elektron bebasnya banyak, artinya tenaga listrik yang dihasilkan menjadi besar.



Gambar 2.2 Analogi tegangan listrik

Sekarang, mari kita lihat rangkaian sederhana seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Rangkaian sederhana untuk memahami beda potensial

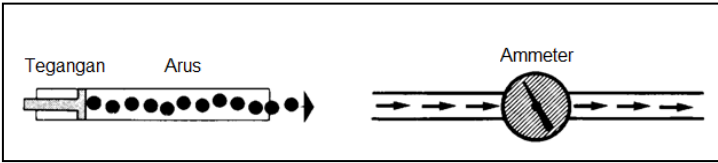
Tabel 2.2 Penjelasan gambar 2.3

Posisi pengukuran	Switch OFF	Switch ON
A-B	12 V	12 V
B-C	0 V	0 V
C-D	0 V	12 V
D-E	0 V	0 V
E-F	12 V	0 V
F-A	0 V	0 V
C-E	0 V	12 V
C-F	12 V	12 V
D-F	12 V	0 V

2.4. Arus

Arus listrik mengalir melalui sebuah penghantar. Arus bisa mengalir dalam sebuah penghantar karena adanya perbedaan potensial tegangan (tekanan). Arus listrik diukur dalam Ampere menggunakan ampere meter (Ammeter) secara seri dalam sebuah sirkuit.

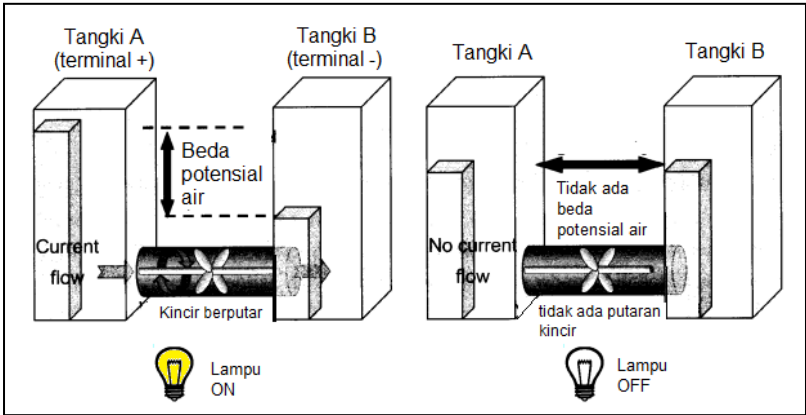
Elektron bebas yang bermuatan negatif pada atom selamanya akan selalu tolak menolak satu dengan lainnya. Bila ada kelebihan elektron disatu tempat, maka akan ada kekurangan elektron ditempat lainnya, elektron akan selalu bergerak ke tempat yang kosong, dan kemudian bergerak untuk saling menjauh antara satu dengan yang lainnya. Saat pergerakan ini terjadi, aliran atau arus elektron terbentuk. Arus akan terus berlanjut sampai elektron genap terpisah dari intinya.



Gambar 2.4 Konsep arus listrik

Arus listrik dapat digambarkan seperti laju aliran elektron, besarnya aliran elektron bisa diumpamakan seperti pada pipa

air. Pada pipa yang diameternya lebih besar mempunyai kapasitas aliran yang lebih besar pula. Artinya adalah aliran arus akan besar bila jumlah elektron yang bergerak juga banyak. Kesimpulannya, mengalirnya suatu elektron sama dengan mengalirnya suatu arus.



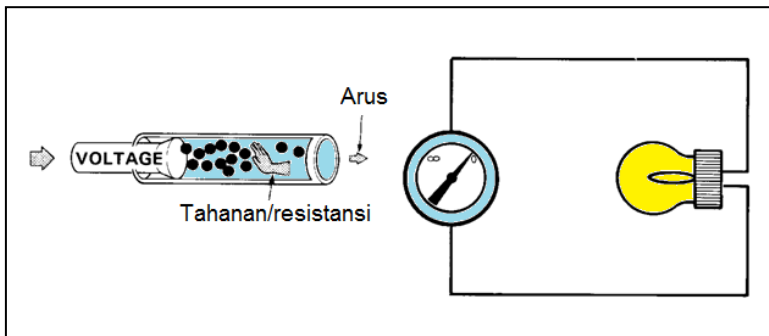
Gambar 2.5 Analogi arus listrik

Tabel 2.3 Konversi satuan arus listrik

Current	Basic unit	Unit for very small amounts		Unit for very large amounts	
Symbol	A	μ A	mA	kA	MA
Pronounced as	Ampere	Micro ampere	Mili ampere	Kilo ampere	Mega ampere
Multiplier	1	0,000001	0,001	1.000	1.000.000

2.5. Tahanan

Tahanan akan menghambat aliran arus. Tahanan ini seperti "gesekan" listrik. Setiap komponen atau rangkaian listrik memiliki nilai tahanan. Tahanan akan mengubah energi listrik menjadi bentuk energi lain, seperti panas, nyala lampu pijar, atau gerak. Tahanan listrik diukur dalam ohm dengan Ohmmeter.



Gambar 2.6 Konsep tahanan listrik

Tabel 2.4 Konversi satuan tahanan listrik

Resistance	Basic unit	Unit for very small amounts		Unit for very large amounts	
Symbol	Ω	$\mu\Omega$	$m\Omega$	$k\Omega$	$M\Omega$
Pronounced as	Ohm	Micro Ohm	Mili Ohm	Kilo Ohm	Mega Ohm
Multiplier	1	0,000001	0,001	1.000	1.000.000

Jika suatu elektron bebas bisa bergerak di dalam penghantar, maka akan terjadi suatu aliran arus listrik. Arus 1 ampere adalah elektron sebanyak 6.25×10^{18} yang bergerak dalam satu detik. Perlu juga kita ketahui, bahwa semua jenis benda tersusun dari atom-atom sehingga ada beberapa kemungkinan rintangan bagi elektron bebas untuk bergerak, tertahannya pergerakan elektron bebas disebut dengan tahanan listrik. Jadi tahanan listrik pada suatu penghantar berbeda berdasarkan faktor sebagai berikut:

- Panjang penghantar
- Diameter penghantar
- Temperatur
- Kondisi fisik, dan
- Jenis material

1. Panjang Penghantar

Elektron yang bergerak (arus listrik) akan terus bertabrakan saat tegangan mendorongnya melewati konduktor. Jika dua kabel/penghantar memiliki bahan dan diameter yang sama, kawat yang lebih panjang akan memiliki tahanan lebih besar

daripada kawat yang lebih pendek. Standar tahanan kawat sering tercantum dalam ohm per meter.

2. Diameter

Konduktor dengan diameter yang besar memungkinkan untuk mengalirkan arus listrik lebih banyak dengan voltase yang kecil. Jika dua kabel memiliki bahan dan panjang yang sama, kabel dengan diameter lebih kecil memiliki tahanan yang lebih besar daripada kabel dengan diameter yang lebih besar.

3. Temperatur

Pada sebagian besar konduktor, tahanan akan meningkat seiring meningkatnya temperatur. Elektron bergerak lebih cepat, namun tidak terarah. Sebaliknya, sebagian besar isolator tahanannya akan turun pada temperatur yang lebih tinggi. Perangkat semikonduktor seperti termistor yang memiliki *negative temperature coefficients* (NTC) nilai tahanannya berkurang seiring dengan kenaikan temperatur. Sensor temperatur pendingin (*coolant temperature sensor*) umumnya menggunakan termistor jenis NTC.

4. Kondisi fisik

Sebagian kabel yang terkikis akan seperti kabel yang lebih kecil dengan nilai tahanan yang tinggi, khususnya di daerah yang rusak. Ini termasuk pada soket yang buruk, sambungan yang longgar, atau terkorosi juga meningkatkan nilai tahanan.

5. Bahan

Bahan dengan banyak elektron bebas adalah konduktor yang baik dengan nilai tahanan yang rendah. Bahan dengan banyak elektron terikat adalah konduktor yang buruk (isolator) dengan nilai tahanan yang tinggi. Tembaga, aluminium, emas, dan perak memiliki nilai tahanan yang rendah. Sementara, karet, kaca, kertas, keramik, plastik, dan udara memiliki tahanan yang tinggi.

Hubungan antara material kabel, panjang kabel, dan diameter kabel dapat dihitung dengan rumus berikut:

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

Dimana :

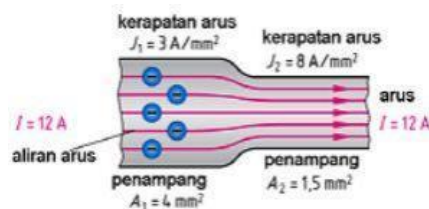
R = Tahanan kawat [Ω]

L = Panjang kawat [m]

ρ = Tahanan jenis kawat [$\Omega.m$]

A = Penampang kawat/konduktor [mm^2]

Selanjutnya, semakin kecil luas penampang konduktor, semakin besar tahanan/hambatan listriknya.



Gambar 2.7 Pengaruh luas penampang terhadap kerapatan arus

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

Dimana:

A = Luas penampang kawat [mm^2]

I = Kuat arus [Amp, A]

J = Rapat arus [A/mm²]

Selain panjang kabel, material, dan luas penampang kabel, umumnya tahanan listrik suatu konduktor akan bertambah bila temperatur konduktor naik.

$$R_t = R_0[1 + \alpha \Delta T]$$

Dimana:

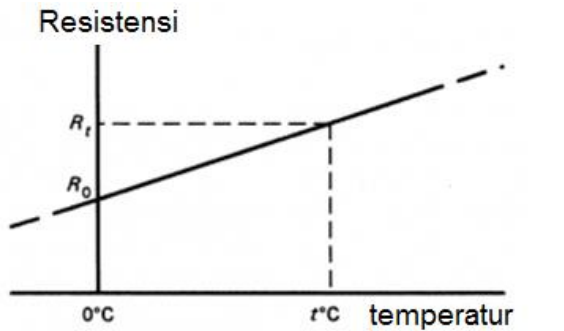
R_t = Tahanan total (akhir) [Ω]

R_0 = Tahanan awal, sebelum dipanaskan [Ω]

α = Konstanta [$\Omega / ^\circ C$]

ΔT = Perbedaan temperatur [$^\circ C$]

Nilai koefisiens α adalah cukup kecil karena resistor lazimnya hanya memiliki rentang temperatur yang relatif terbatas, yaitu antara 0°C hingga 100°C, yang memiliki karakteristik linier yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hubungan nilai resistensi dengan temperatur

Tabel 2.5 Tahanan jenis dan koefisien temperatur beberapa penghantar [10]

Metal	Resistivity ($\Omega \cdot m$) at 20 °C	Temperature coefficient [K^{-1}]
Silver	1.59×10^{-8}	0.0038
Copper	1.68×10^{-8}	0.0039
Gold	2.44×10^{-8}	0.0034
Aluminium	2.82×10^{-8}	0.0039
Calcium	3.36×10^{-8}	
Tungsten	5.60×10^{-8}	0.0045
Zinc	5.90×10^{-8}	0.0037
Nickel	6.99×10^{-8}	0.006
Iron	1.0×10^{-7}	0.005
Platinum	1.06×10^{-7}	0.00392
Tin	1.09×10^{-7}	0.0045
Lead	2.2×10^{-7}	0.0039
Manganin	4.82×10^{-7}	0.000002
Constantan	4.9×10^{-7}	0.000008
Mercury	9.8×10^{-7}	0.0009
Nichrome	1.10×10^{-6}	0.0004
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.0005
Germanium	4.6×10^{-1}	-0.048
Silicon	6.40×10^2	-0.075

Latihan 2.1

Sebuah kabel dari nickel dengan diameter 0,2 mm dan panjang 300 m. Hitunglah nilai tahanan dalam kabel tersebut.

Penyelesaian

Dari tabel 2.5, diperoleh ρ untuk nickel adalah $6,99 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

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

$$R = \frac{[(6,99 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(300 \text{ m})]}{\frac{3,14}{4} \times (0,0002 \text{ m})^2}$$

$$R = 667,8 \Omega$$

Latihan 2.2

Sebuah kabel dari tembaga (*copper*) dengan diameter dan panjang tertentu memiliki nilai hambatan kabel tersebut adalah 5Ω pada temperatur 10°C , maka hitunglah nilai hambatannya pada temperatur 90°C .

Penyelesaian

Dari Tabel 2.5, diperoleh nilai α untuk kabel tembaga adalah $+0,0039 \Omega / ^\circ\text{C}$.

$$R_t = R_0[1 + \alpha\Delta t]$$

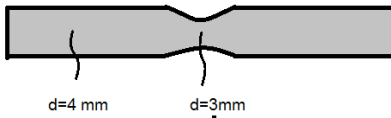
$$R_{90^\circ\text{C}} = 5 \Omega \left[1 + \left(0,0039 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \times (90 - 10)^\circ\text{C} \right) \right]$$

$$R_{90^\circ\text{C}} = 6,56 \Omega$$

Latihan 2.3

Sebuah kabel dari perak berdiameter 4 mm terjadi kerusakan pada satu titik sehingga diameter efektif pada titik yang rusak adalah 3 mm. Kabel tersebut dialiri arus 2,6 Ampere. Hitung flux arus listrik pada kabel yang normal dan yang rusak tersebut.

Penyelesaian



Flux arus pada kabel berdiameter 4 mm:

$$J_{4\text{mm}} = \frac{I}{A}$$

$$J_{4\text{mm}} = \frac{2,6 \text{ A}}{\frac{3,14}{4} \times (4\text{mm})^2}$$

$$J_{4\text{mm}} = 0,207 \text{ A/mm}^2$$

Flux arus pada kabel berdiameter 3 mm:

$$J_{3\text{mm}} = \frac{I}{A}$$

$$J_{3\text{mm}} = \frac{2,6 \text{ A}}{\frac{3,14}{4} \times (3\text{mm})^2}$$

$$J_{3\text{mm}} = 0,39 \text{ A/mm}^2$$

Kesimpulan: Kabel dengan luas penampang yang lebih kecil menerima flux arus yang lebih besar daripada kabel dengan luas penampang yang lebih besar.

2.6. Resistance Calculator

Saat ini, telah tersedia beberapa kalkulator online yang dapat digunakan untuk menghitung nilai tahanan/ resistansi suatu penghantar, baik untuk menghitung tahanan karena ukuran kawat maupun karena perubahan temperatur. Dalam buku ini, akan dicontohkan penggunaan *resistance calculator online* dari EndMemo, URL <http://www.endmemo.com/physics/resistance.php> untuk menghitung nilai tahanan karena ukuran kawat dan URL <http://www.endmemo.com/physics/resistt.php> untuk menghitung nilai tahanan karena perubahan

temperatur. Cara penggunaan *resistance calculator online* dari EndMemo adalah sebagai berikut.

1. Menghitung tahanan karena ukuran kawat

Buka URL <http://www.endmemo.com/physics/resistance.php>, kemudian akan ditampilkan *home page* sebagai berikut.

Spek

R

Unit

Resistance Calculator

Length of the Wire: mm

Wire Cross Area: mm²

Resistivity: Ω.mm

Resistance: Ohm (Ω)

Calculate Clear

Resistance formula is:
 $R = \rho L/A$

Where:

- ρ : Resistivity constant of the material, in $\Omega.m$
- L : Length of the wire, in meter
- A : Cross sectional area of the wire, in m^2
- R : Resistance, in ohms (Ω)

Gambar 2.9 Tampilan *home page* EndMemo resistance calculator

Dengan kabel seperti pada latihan 2.1, masukkan spek kabel untuk menghitung nilai tahanan, kemudian tekan tombol “Calculate”.

Resistance Calculator

Length of the Wire: 300 m

Wire Cross Area: 0.0000000314 m²

Resistivity: 0.0000000699 Ω.m

Resistance: 667.83439490446 Ohm (Ω)

Calculate Clear

Resistance formula is:
 $R = \rho L/A$

Where:

- ρ : Resistivity constant of the material, in $\Omega.m$
- L : Length of the wire, in meter
- A : Cross sectional area of the wire, in m^2
- R : Resistance, in ohms (Ω)

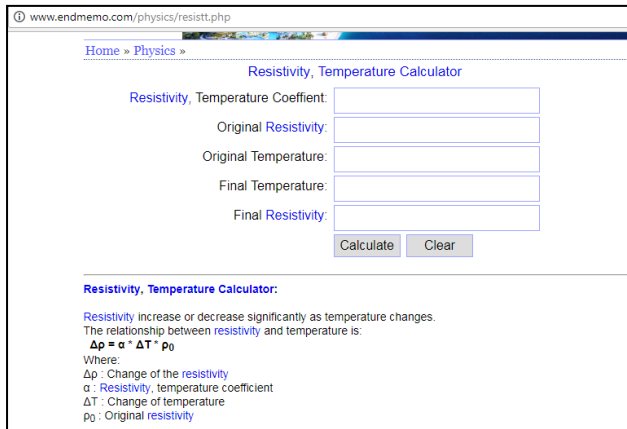
Gambar 2.10 Hasil perhitungan EndMemo resistance calculator

Sekarang, kita bisa membandingkan hasil perhitungan manual pada latihan 2.1 dengan hasil simulasi online dengan EndMemo

resistance calculator. Sebagai catatan, satuan/unit yang digunakan harus konsisten, dalam meter atau milimeter.

2. Menghitung tahanan karena perubahan temperatur

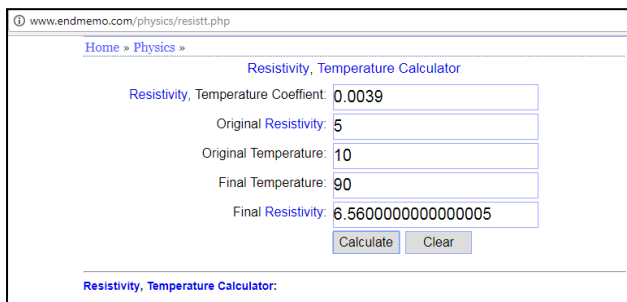
Buka URL <http://www.endmemo.com/physics/resistt.php>, kemudian akan ditampilkan *home page* sebagai berikut.



The screenshot shows the web interface of the EndMemo Resistivity-Temperature Calculator. The browser address bar displays "www.endmemo.com/physics/resistt.php". The page has a navigation link "Home » Physics »" and a title "Resistivity, Temperature Calculator". There are five input fields: "Resistivity, Temperature Coefficient:", "Original Resistivity:", "Original Temperature:", "Final Temperature:", and "Final Resistivity:". Below these fields are "Calculate" and "Clear" buttons. A section titled "Resistivity, Temperature Calculator:" contains explanatory text: "Resistivity increase or decrease significantly as temperature changes. The relationship between resistivity and temperature is: $\Delta\rho = \alpha \cdot \Delta T \cdot \rho_0$ ". It also defines the variables: $\Delta\rho$: Change of the resistivity, α : Resistivity, temperature coefficient, ΔT : Change of temperature, and ρ_0 : Original resistivity.

Gambar 2.11 Tampilan *home pape* EndMemo resistivity-temperature calculator

Dengan kabel seperti pada latihan 2.2, masukkan spek kabel untuk menghitung nilai tahanan, kemudian tekan tombol "Calculate".



This screenshot shows the same calculator interface as Gambar 2.11, but with numerical values entered and the result calculated. The input fields contain: "Resistivity, Temperature Coefficient: 0.0039", "Original Resistivity: 5", "Original Temperature: 10", "Final Temperature: 90", and "Final Resistivity: 6.5600000000000005". The "Calculate" button is highlighted, indicating it has been pressed. The explanatory text and formulas from the previous image are still visible at the bottom.

Gambar 2.12 Hasil perhitungan EndMemo resistivity-temperature calculator

Bandingkan hasil perhitungan manual pada latihan 2.2 dengan hasil simulasi online dengan *EndMemo resistivity-temperature calculator*.

2.7. Hukum Ohm



Hukum Ohm ditemukan oleh “Georg Ohm”, pertama kali muncul di buku yang terkenal 'Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet (The Galvanic Circuit Investigated Mathematically) pada tahun 1827, dimana dia memberikan teori kelistrikannya yang lengkap.

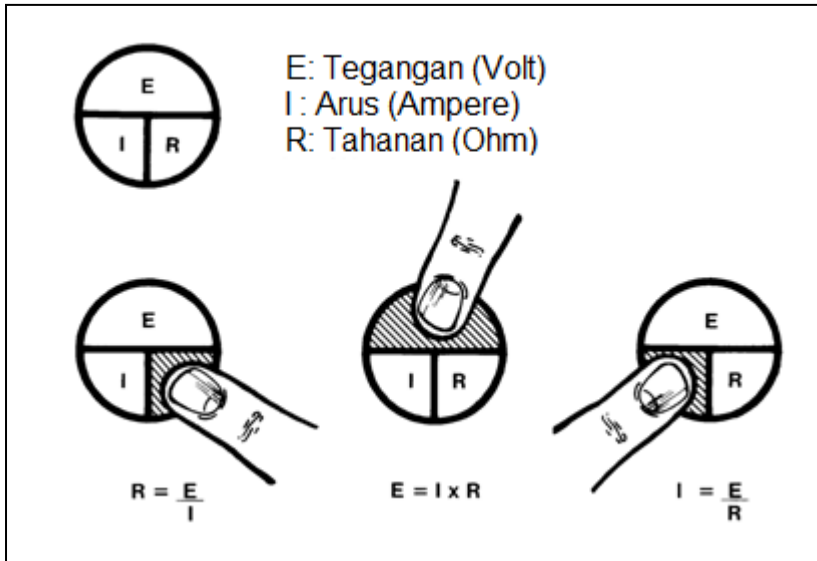
Ada hubungan sederhana antara tegangan, arus, dan tahanan pada rangkaian listrik. Memahami hubungan ini penting untuk diagnosa dan perbaikan masalah kelistrikan yang cepat dan akurat. Hubungan ketiga besaran listrik ini dinamakan Hukum Ohm.

Hukum Ohm mengatakan: Arus dalam rangkaian berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan dan berbanding terbalik dengan jumlah tahanan. Ini berarti jika tegangan naik, aliran arus akan naik, dan sebaliknya. Juga, saat tahanan naik, arus turun, dan sebaliknya. Hukum Ohm dapat dimanfaatkan dengan baik dalam pemecahan masalah listrik. Penggunaan Hukum Ohm lebih praktis hanya dengan menerapkan konsep yang ada:

Sumber tegangan tidak terpengaruh oleh arus atau hambatan, terlalu rendah, normal, atau terlalu tinggi. Jika sumber tegangan terlalu rendah, arus akan turun dan jika sudah normal, arus akan naik. Jika tahanan rendah, arus akan menjadi tinggi. Jika tegangan terlalu tinggi, arus juga akan tinggi.

Arus listrik dipengaruhi oleh tegangan atau hambatan. Jika tegangan tinggi atau tahanan rendah, arus akan tinggi. Jika tegangan rendah atau tahanan tinggi, arus akan rendah.

Resistansi/tahanan tidak terpengaruh oleh tegangan atau arus. Jika nilai tahanan terlalu rendah, arus akan tinggi pada tegangan berapapun. Jika tahanan terlalu tinggi, arus akan rendah pada tegangan yang tetap.

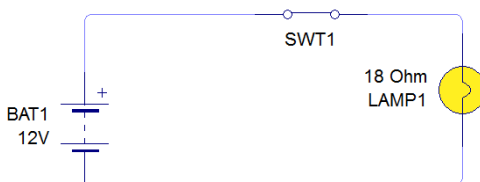


Gambar 2.13 Hukum Ohm

Latihan 2.4

Sebuah sirkuit sederhana terdiri dari baterai, lampu, dan kontak. Jika tegangan baterai 12V dan tahanan filamen lampu 18Ω , hitung besar arus yang mengalir.

Penyelesaian



$$I = \frac{E}{R} = \frac{12V}{18\Omega} = 0.6667A$$

2.8. Daya dan Kerja

Tegangan dan arus bukan pengukuran daya listrik. Daya listrik diukur dalam watt. Daya (P) sama dengan arus (I) kali tegangan (E).

$$P = I \times E$$

Sedangkan kerja (W) diukur dalam *Watt-seconds* atau *Watt-hours*, adalah ukuran energi yang digunakan dalam periode waktu tertentu. Kerja adalah Daya (P) kali detik atau jam (t).

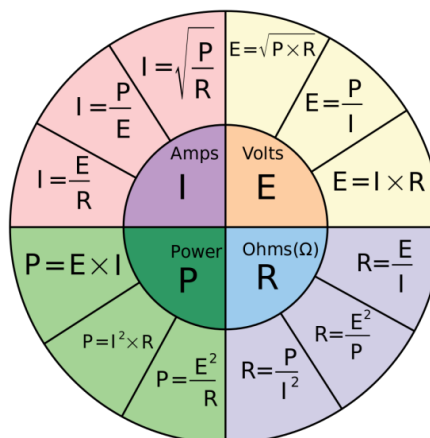
$$W = P \times t$$

Energi listrik bekerja ketika diubah menjadi energi panas, energi pancaran (cahaya), energi audio (suara), energi mekanis (gerak), dan energi kimia.

Tabel 2.6 Konversi satuan daya listrik

Power	Basic Unit	Units for Very Small Values	Units for Very Large Values	
Symbol	W	mW	kW	MW
Pronounced As	Watt	Milliwatt	Kilowatt	Megawatt
Multiplier	1	0.001	1,000	1,000,000

Hubungan tegangan, arus, tahanan, dan daya listrik disajikan sebagai berikut.

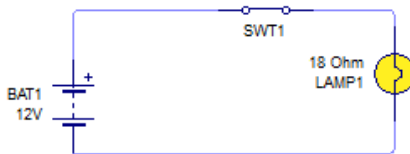


Gambar 2.14 Formula tegangan, arus, tahanan, dan daya

Latihan 2.5

Sebuah sirkuit sederhana terdiri dari baterai, lampu, dan kontak. Jika tegangan baterai 12V dan tahanan filamen lampu 18 Ω , hitung daya lampu tersebut.

Penyelesaian



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

$$I = \frac{12V}{18\Omega}$$

$$I = 0.6667A$$

$$P = E \times I$$

$$P = 12V \times 0.667A$$

$$P = 8 \text{ VA (watt)}$$

Jika lampu tersebut menyala 24 jam, berapakah kerja sirkuit lampu tersebut?

$$W = P \times t$$

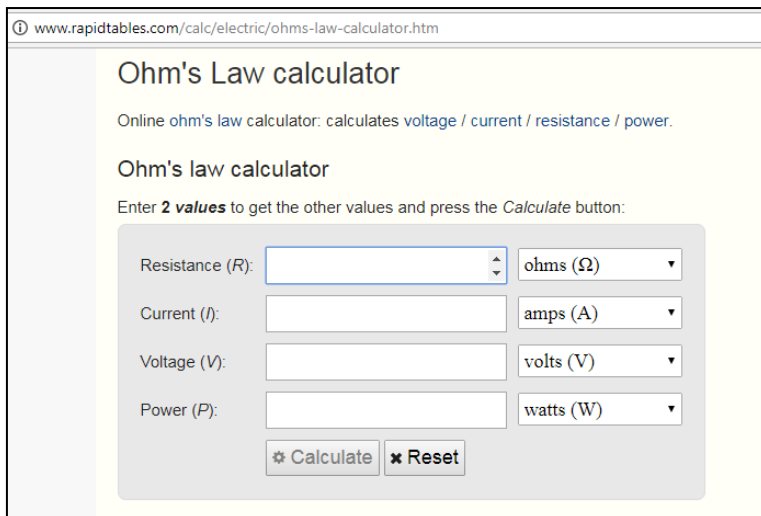
$$W = 8 \text{ W} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 192 \text{ W} \cdot \text{jam (0,192 kwh)}$$

2.9. Ohm Law Calculator

Sama halnya dengan *resistance* dan *resistivity*, untuk menghitung hubungan tegangan, arus, tahanan, dan daya juga telah tersedia *online Ohm law calculator*. Salah satu *Ohm law calculator* tersedia

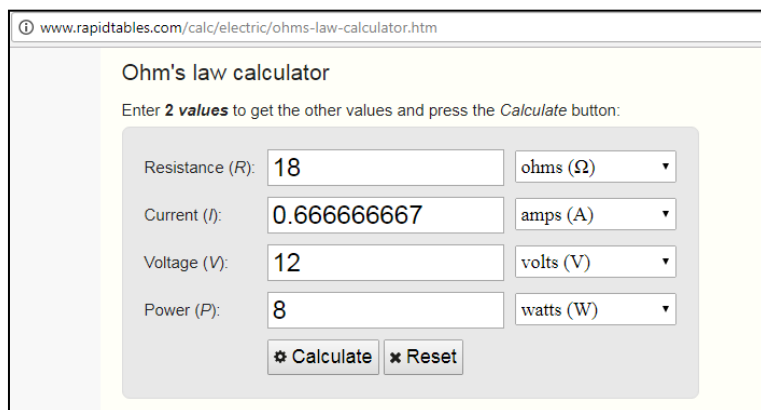
di <http://www.rapidtables.com/calc/electric/ohms-law-calculator.htm>. Berikut contoh penggunaannya.



The screenshot shows the 'Ohm's Law calculator' interface on the website www.rapidtables.com/calc/electric/ohms-law-calculator.htm. The page title is 'Ohm's Law calculator'. Below the title, it says 'Online ohm's law calculator: calculates voltage / current / resistance / power.' and 'Ohm's law calculator'. It instructs the user to 'Enter 2 values to get the other values and press the Calculate button:'. There are four input fields: 'Resistance (R):', 'Current (I):', 'Voltage (V):', and 'Power (P):'. Each field has a unit dropdown menu: 'ohms (Ω)', 'amps (A)', 'volts (V)', and 'watts (W)' respectively. At the bottom of the input area are two buttons: 'Calculate' and 'Reset'.

Gambar 2.15 Home page Ohm law calculator

Setelah terbuka, masukkan nilai tegangan dan tahanan sesuai latihan 2.5. Hasilnya sebagai berikut.

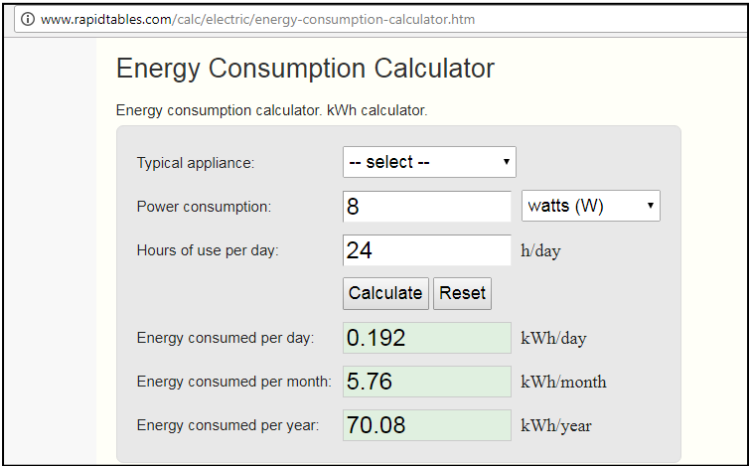


The screenshot shows the 'Ohm's law calculator' interface with calculated results. The page title is 'Ohm's law calculator'. Below the title, it says 'Enter 2 values to get the other values and press the Calculate button:'. The input fields are now populated with values: 'Resistance (R): 18', 'Current (I): 0.666666667', 'Voltage (V): 12', and 'Power (P): 8'. The unit dropdown menus remain: 'ohms (Ω)', 'amps (A)', 'volts (V)', and 'watts (W)'. At the bottom of the input area are two buttons: 'Calculate' and 'Reset'.

Gambar 2.16 Contoh perhitungan dengan Ohm law calculator

Sekarang, bandingkan hasil kalkulator online seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16 dengan perhitungan manual.

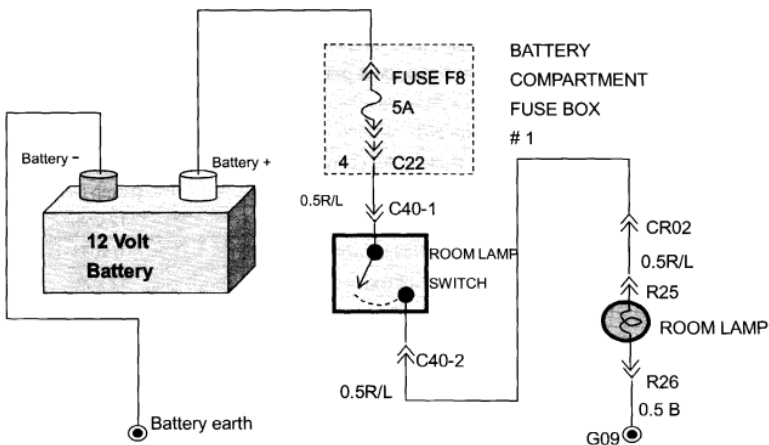
Selanjutnya, untuk mengetahui konsumsi energi (kerja) dari contoh kasus pada latihan 2.5, bisa digunakan *Energy Consumption Calculator* (<http://www.rapidtables.com/calc/electric/energy-consumption-calculator.htm>). Hasilnya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.17 Contoh perhitungan *energy consumption*

2.10. Evaluasi

- 1. Sebuah rangkaian seperti gambar dibawah ini:



Kondisi 1 : sebelum lampu menyala (Lamp OFF).

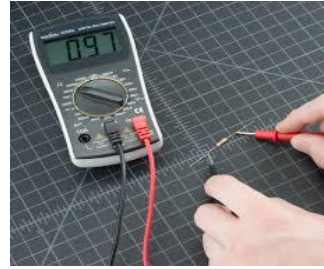
- a. Tegangan antara "C40-1" dan "Baterai earth" adalah _____ volt.
- b. Tegangan antara "C40-2" dan "G9" adalah _____ volt.
- c. Tegangan antara "R25" dan "R26" adalah _____ volt.

Kondisi 2 : Setelah lampu menyala (Lamp ON)

- a. Tegangan antara "Baterai positive" dan "R25" adalah _____ volt.
 - b. Tegangan antara "R25" dan "Baterai earth" adalah _____ volt.
 - c. Tegangan antara "R26" dan "Baterai earth" adalah _____ volt.
2. Jelaskan mengapa pada sambungan kabel yang kendur menyebabkan panas.
 3. Tiga buah kabel dari tungsten, copper, dan carbon dengan diameter 0,18mm dan panjang 400m. Hitunglah nilai tahanan kabel tersebut.
 4. Tiga buah kabel dari silver, aluminium, dan platinum pada temperatur 20°C memiliki nilai tahanan masing-masing 18 Ω . Kemudian ketiganya dipanaskan, hitunglah nilai tahanan ketiga kabel tersebut pada 100°C.
 5. Lakukan validasi dengan *EndMemo resistance calculator online* terhadap soal nomor 3.
 6. Lakukan validasi dengan *EndMemo resistivity-temperature calculator online* terhadap soal nomor 4.
 7. Sebuah sirkuit sederhana terdiri dari baterai, lampu, dan kontak. Jika tegangan baterai 12V dan tahanan filamen lampu 30 Ω , hitung arus (I) yang mengalir pada filamen dan daya (P) lampu tersebut.
 8. Dengan soal nomor 7, lakukan validasi dengan *Ohm law calculator*.
 9. Dengan soal nomor 7, jika baterai diganti dari 12V dengan 6V dan 24V, berapakah daya lampunya.

10. Dengan soal nomor 9, lakukan validasi dengan *Ohm law calculator*.
11. Dengan soal nomor 10, lakukan analisis mengapa ketika tegangan baterai dinaikkan 2 kali atau diturunkan setengahnya, daya lampu naik dan turun melebihi kenaikan/penurunan tegangannya.

BEE-03



Pengukuran Besaran Listrik

3.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

BEE-K-03-01 Menjelaskan konsep pengukuran tegangan, arus, dan tahanan dengan *permanent magnet moving coil* (PMMC).

Skill Objectives:

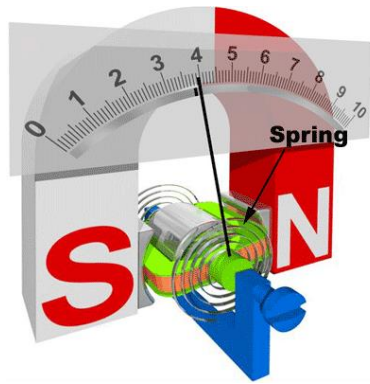
BEE-S-03-01 Menggunakan multimeter analog untuk mengukur tegangan, arus, dan tahanan.

BEE-S-03-02 Menggunakan multimeter digital untuk mengukur tegangan, arus, dan tahanan.

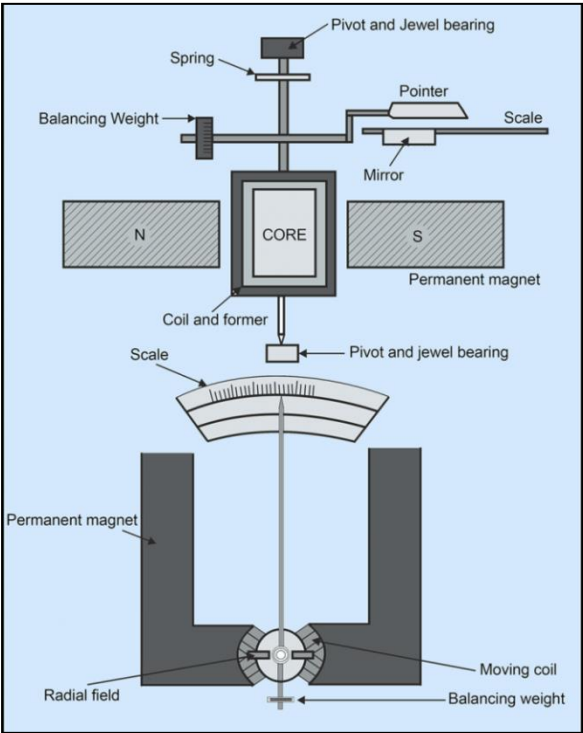
3.2. Pendahuluan: Konsep Dasar PMMC

Multimeter merupakan alat ukur besaran listrik yang bekerja dengan kumparan putar magnet permanen (*permanent magnet moving coil*, PMMC). Alat ukur kumparan putar adalah merupakan salah satu pengubah besaran listrik kedalam gerakan jarum. Alat ukur kumparan putar (*Moving Coil Meter*) juga sering disebut dengan d'Arsonval meter. Alat ukur kumparan putar hanya digunakan untuk mengukur besaran listrik arus searah. Prinsip kerja dari pengubahan dari besaran

listrik ke gerakan jarum berdasarkan sistem induksi. Beberapa literatur dirangkum untuk menjelaskan konsep PMMC [13]-[17].



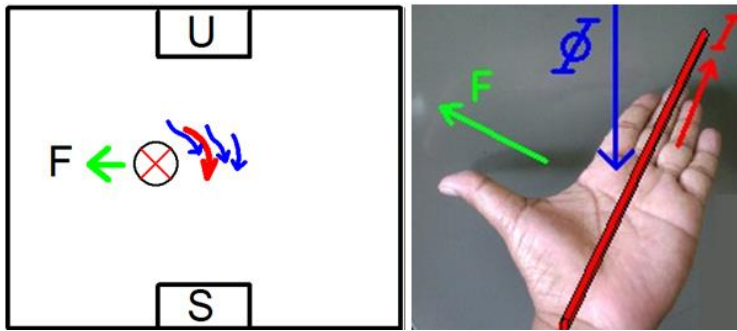
Gambar 3.1 Konsep alat ukur kumparan putar (PMMC)



Gambar 3.2 Detail bagian-bagian alat ukur kumparan putar (PMMC)

3.2.1. Fleming Role

Interaksi antara medan induksi dan bidang yang dihasilkan oleh magnet permanen menyebabkan torsi yang membelokkan, yang menghasilkan rotasi.



Gambar 3.3 Fleming role

Gaya F yang akan tegak lurus terhadap arah aliran arus (I) dan arah medan magnet, sesuai dengan aturan tangan kiri fleming yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$F = NBIL$$

dimana :

N : Jumlah lilitan kawat pada koil

B : fluks di celah udara

I : arus dalam koil

L : panjang koil

Secara teoritis, torsi (torsi elektromagnetik) adalah sama dengan perkalian gaya dengan jarak sampai titik referensi. Oleh karena itu, torsi pada sisi kiri silinder $T_L = NBIL \times W/2$ dan torsi di sisi kanan silinder $T_R = NBIL \times W/2$.

Selanjutnya, total torsi, $T = T_L + T_R$

$$T = NBILW, \text{ atau}$$

$$T = NBIA$$

Dimana, A adalah luasan coil efektif ($A = L \times W$)

3.2.2. Torsi Kontrol

Torsi elektromagnetik pada PPMC diproduksi oleh aksi pegas yang melawan torsi defleksi sehingga pointer bisa berhenti pada titik di mana kedua torsi ini sama (torsi elektromagnetik = torsi pegas pegas). Nilai torsi kontrol tergantung pada desain mekanik pegas spiral dan suspensi strip. Torsi pengontrol adalah berbanding lurus dengan sudut defleksi kumparan. Sehingga, Torsi kontrol $C_t = C\theta$ dimana θ = sudut [radian] dan C = konstanta pegas [Nm/rad].

Torsi ini memastikan jarum penunjuk (pointer) berada pada posisi keseimbangan (pada posisi diam) dalam skalator tanpa berosilasi untuk menghasilkan pembacaan yang akurat. Di PMMC, saat koil bergerak dalam *magnetic field*, arus eddy terbentuk di inti (core), dimana koil dililitkan atau di sirkuit koil itu sendiri yang menentang gerakan koil sehingga menghasilkan pelambatan pointer sampai pada posisi stabil.

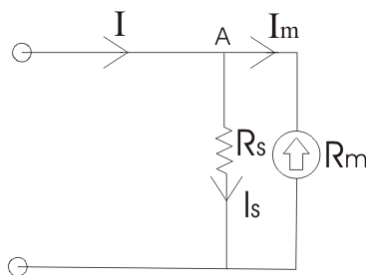
Bila arus mengalir melalui koil, ia menghasilkan medan magnet yang sebanding dengan arus (contoh kasus: ammeter). Torsi membelokkan (*deflecting torque*) dihasilkan oleh aksi elektromagnetik arus di koil dan medan magnet. Bila torsi seimbang, *moving coil* akan berhenti dan defleksi sudutnya mewakili jumlah arus listrik yang diukur terhadap referensi tetap, yang disebut skala. Jika bidang magnet permanen seragam dan garis pegas linier, maka defleksi pointer juga linier.

3.2.3. Aplikasi PMMC

1. Ammeter:

PMMC bisa digunakan sebagai ammeter (kecuali untuk rentang arus yang sangat kecil). *Moving coil* terhubung melintasi *shunt resistor* rendah yang sesuai, sehingga hanya sebagian kecil arus utama yang mengalir melalui koil. *Shunt resistor* terdiri dari sejumlah pelat tipis yang terbuat dari logam paduan, yang biasanya bersifat magnetis dan memiliki koefisien resistansi

temperatur rendah, yang dipasang di antara dua blok tembaga besar. Sebuah resistor dengan paduan yang sama juga ditempatkan secara seri dengan koil untuk mengurangi kesalahan karena variasi temperatur. Karena defleksi berbanding lurus dengan arus maka skala dibuat seragam pada meter untuk pengukuran arus.



Gambar 3.4 Konsep pengukuran arus pada PMMC

Persamaan yang berlaku untuk Ammeter PMMC adalah:

$$I_s \cdot R_s = I_m \cdot R_m$$

Dimana:

I_m = arus defleksi dari alat ukur

I_s = arus yang melewati tahanan pengali (shunt)

R_m = tahanan dalam alat ukur

R_s = tahanan pengali (shunt)

Dari gambar 3.4, Arus I dipecah menjadi dua komponen pada titik A. Dua komponen tersebut adalah I_s and I_m . Oleh karena itu,

$$I_s = I - I_m$$

Dan selanjutnya,

$$m = \frac{I}{I_m} = 1 + \frac{R_m}{R_s}$$

Dimana m adalah kekuatan pengali pada shunt.

Sebagai catatan, resistansi dari shunt ini tidak boleh berbeda pada temperatur yang lebih tinggi, shunt resistor ini harus

memiliki nilai koefisien temperatur yang sangat rendah. Properti penting yang harus dimiliki adalah bahwa shunt resistor harus mampu dilewati arus tinggi tanpa kenaikan temperatur.

2. Voltmeter

Bila PMMC digunakan sebagai voltmeter, koil dihubungkan secara seri dengan resistansi tinggi. Fungsinya sama seperti kasus Ammeter. *Moving coil* yang sama dapat digunakan sebagai Ammeter atau Voltmeter, tergantung pengaturannya.

Pada voltmeter (*DC volt meter*), tahanan shunt atau shunt resistor dipasang seri dengan kumparan putar magnet permanen (*permanent magnet moving coil*, PMMC) yang berfungsi sebagai pengali (*multiplier*).

Tahanan pengali mengubah gerakan d'arsonval (kumparan putar magnet permanen) menjadi sebuah voltmeter arus searah. Tahanan pengali membatasi arus ke alat ukur agar tidak melebihi arus skala penuh (I_{dp}). Sebuah voltmeter arus searah mengukur beda potensial antara dua titik dalam sebuah rangkaian arus searah. Dengan demikian, volt meter dihubungkan secara paralel terhadap sebuah sumber tegangan atau komponen rangkaian. Biasanya terminal-terminal alat ukur ini diberi tanda positif dan negatif karena polaritasnya harus ditetapkan. Nilai tahanan pengali yang diperlukan untuk memperbesar batas ukur tegangan ditentukan sebagai berikut.

$$V = I_m (R_s + R_m)$$

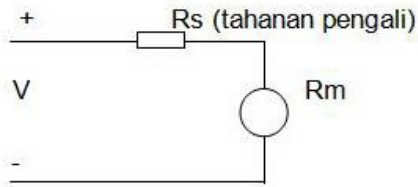
Dimana:

V = tegangan range maksimum dari instrumen

I_m = arus defleksi dari alat ukur

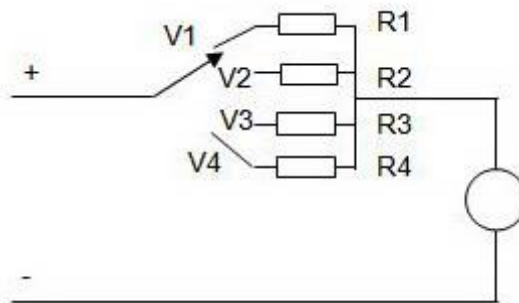
R_m = tahanan dalam alat ukur

R_s = tahanan pengali (shunt)



Gambar 3.5 Konsep pengukuran tegangan DC pada PMMC

Biasanya, untuk batas ukur sampai 500V, tahanan pengali (shunt) dipasang didalam kotak voltmeter. Untuk tegangan yang lebih tinggi, pengali tersebut dipasang pada sepasang probe kutub diluar kotak yakni untuk mencegah kelebihan panas dibagian dalam voltmeter.



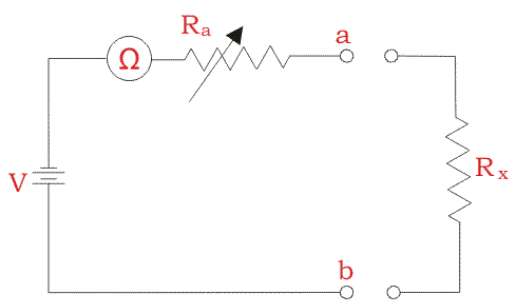
Gambar 3.6 Volt meter dengan selektor ganda

Penambahan sejumlah pengali beserta sebuah saklar rangkuman (selektor) membuat instrumen mampu digunakan untuk sejumlah rangkuman tegangan. Sebuah voltmeter rangkuman ganda yang menggunakan sebuah sakelar empat posisi (V1, V2, V3, dan V4) dan empat pengali (R1, R2, R3, dan R4), dapat digunakan untuk mengukur empat range pengukuran.

3. Ohmmeter:

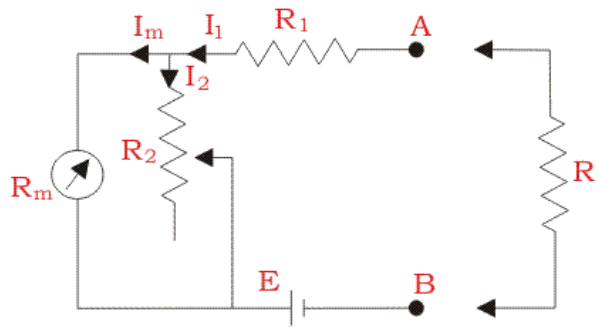
Ohm meter digunakan untuk mengukur resistansi rangkaian listrik dengan menerapkan tegangan pada resistansi dengan bantuan baterai. Sebuah galvanometer digunakan untuk menentukan aliran arus melalui resistansi. Skala galvanometer

ditandai dalam ohm dan karena resistansi bervariasi, karena tegangan tetap, arus yang melalui meteran juga akan bervariasi. Bila resistansi yang diukur sangat tinggi, maka arus di sirkuit akan sangat kecil dan pembacaan instrumen tersebut diasumsikan maksimal untuk diukur. Bila ketahanan yang diukur adalah nol maka pembacaan instrumen diatur ke posisi nol yang memberi tahanan nol.



Gambar 3.7 Konsep pengukuran tahanan pada PMMC

Ohmmeter Tipe Seri

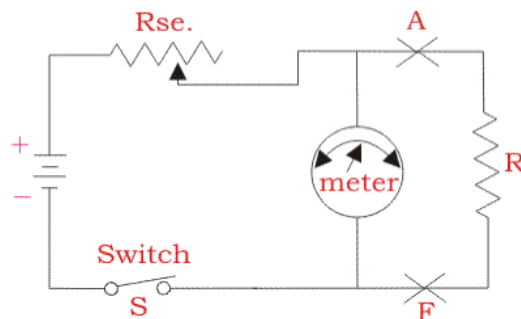


Gambar 3.8 Konsep Ohm meter tipe seri

Ohmmeter tipe seri terdiri dari resistor pembatas arus R_1 , resistor pengubah Nol R_2 , sumber tegangan (EMF) E , resistansi internal gerakan D'Arsonval R_m dan resistansi yang akan diukur R . Bila tidak ada tahanan yang akan diukur, arus yang ditarik oleh sirkuit akan maksimal dan meter akan menunjukkan

defleksi. Dengan menyesuaikan R_2 , meteran disesuaikan dengan nilai arus skala penuh karena resistansi akan menjadi nol pada saat itu. Pointer akan menunjuk angka 0. Sekali lagi, saat terminal AB dibuka, resistansi sangat tinggi dan hampir nol arus akan mengalir melalui sirkuit. Dalam hal ini defleksi pointer adalah nol yang ditandai pada nilai resistansi yang sangat tinggi. Jadi resistansi antara nol ke nilai yang sangat tinggi ditandai dan karenanya bisa diukur. Jadi, ketika sebuah tahanan diukur, nilai arus akan sedikit kurang dari maksimum dan defleksi dicatat sehingga resistansi diukur. Metode ini bagus namun memiliki keterbatasan tertentu seperti penurunan tegangan baterai dengan penggunaannya sehingga penyesuaian harus dilakukan untuk setiap penggunaan.

Ohmmeter tipe Shunt



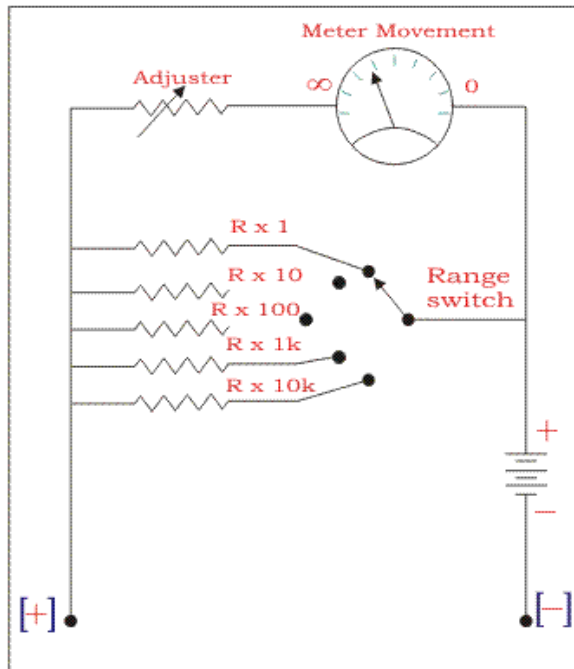
Gambar 3.9 Konsep Ohm meter tipe shunt

Pada Ohmmeter tipe shunt, ada baterai dan resistor yang dapat disesuaikan dan dihubungkan secara seri dengan sumbernya. Ohmmeter dihubungkan secara paralel dengan tahanan yang akan diukur. Bila tahanan yang akan diukur adalah nol, terminal A dan F terhubung langsung sehingga arus yang melalui meteran akan menjadi nol. Posisi nol dari meter menunjukkan resistansi menjadi nol. Bila resistansi terhubung sangat tinggi, maka arus kecil akan mengalir terminal AF dan karenanya arus berskala penuh diperbolehkan mengalir melalui meter dengan menyesuaikan resistansi seri yang terhubung dengan

baterai. Bila resistansi yang diukur dihubungkan antara A dan F, pointer menunjukkan defleksi yang menunjukkan nilai resistansi. Dalam kasus ini, masalah baterai mungkin akan timbul, namun bisa ditanggulangi dengan menyesuaikan resistansi. Meteran juga mungkin akan menunjukkan kesalahan pembacaan karena penggunaan yang berulang.

Multi range Ohmmeter

Ohmmeter harus mampu mengukur range tahanan yang luas. Dalam hal ini, kita harus memilih range selektor yang sesuai dengan kebutuhan. Untuk itu, adjuster disediakan sehingga kita bisa menyesuaikan pembacaan awal menjadi nol. Resistansi yang diukur dihubungkan sejajar dengan meteran. Bila resistansi adalah nol atau hubung singkat, tidak ada arus yang mengalir melalui meter dan tidak ada defleksi. Misalkan kita harus mengukur resistansi di bawah 1 ohm, maka range switch dipilih pada kisaran 1 ohm. Kemudian resistansi tersebut dihubungkan secara paralel dan defleksi meter yang sesuai dicatat. Untuk resistansi 1 ohm, hal itu menunjukkan defleksi skala penuh namun untuk resistansi lain bahwa 1 ohm itu menunjukkan defleksi yang kurang dari nilai muatan penuh dan nilai tahanan dapat diukur. Ini adalah metode yang paling sesuai untuk semua ohmmeter karena kita bisa mendapatkan pembacaan yang akurat berbagai range pengukuran.



Gambar 3.10 Konsep multi range Ohm meter

3.2.4. Keunggulan dan kelemahan PMMC

Keuntungan:

- PMMC hanya membutuhkan daya yang kecil dan memiliki akurasi yang tinggi.
- Memiliki skala terbagi secara merata (*uniform divided scale*) dan bisa sampai busur 270 derajat.
- PMMC memiliki rosio torsi terhadap berat yang sangat baik.
- PMMC dapat dimodifikasi sebagai ammeter atau voltmeter dengan resistor yang sesuai.
- PMMC memiliki karakteristik redaman yang efisien dan tidak terpengaruh oleh medan magnet liar.
- PMC tidak menghasilkan kerugian akibat histeresis.

Kerugian

- Instrumen *moving coil* hanya dapat digunakan pada aplikasi D.C, karena pembalikan arus menghasilkan pembalikan torsi pada koil.
- PMMC lebih mahal dibandingkan dengan instrumen *moving coil iron*.
- PMMC rentan menunjukkan kesalahan ukur akibat hilangnya sifat kemagnetan pada magnet permanennya.

3.2.5. Error pengukuran

PMMC memiliki error dalam pengukuran. Hal ini disebabkan antara lain karena:

Efek Temperatur: Kesalahan dalam pembacaan PMMC dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Koefisien temperatur kawat tembaga pada *moving coil* adalah 0,0039 per °C kenaikan temperatur. Karena koil memiliki koefisien temperatur yang lebih rendah, maka akan memiliki laju kenaikan temperatur yang lebih cepat yang akan menghasilkan peningkatan resistansi yang menyebabkan kesalahan.

Bahan dan umur pegas: Faktor lain yang dapat menyebabkan kesalahan pada pembacaan PMMC adalah kualitas dan kontraksi pegas. Pegas yang sudah lelah tidak mampu menahan pointer untuk menunjukkan pembacaan yang benar, sehingga menimbulkan kesalahan pembacaan.

Kekuatan Magnet: Seiring dengan bertambahnya usia, efek panas dan getaran akan mengurangi efek magnet permanen yang akan menghasilkan kesalahan pada pembacaan.

3.3. Menggunakan Multimeter Analog

Multimeter analog adalah alat ukur besaran listrik yang memiliki banyak fungsi pengukuran. Pada multimeter terdapat fungsi pengukuran tegangan, arus, hambatan dan kapasitansi. Dalam perkembangannya multimeter menggunakan komponen

aktif elektronik yang biasanya berfungsi sebagai penguat. Multimeter analog jenis ini dinamakan multimeter elektronik analog [18].

Sebelum Anda menggunakan multimeter untuk mengukur tahanan, Anda harus memahami tindakan pencegahan kerusakan sebagai berikut [19]:

- Jangan meletakkan tumpukan alat atau apapun di atas multimeter. Box multimeter terbuat dari plastik dan kaca yang mudah pecah.
- Jangan menempatkan multimeter Anda di tempat yang mungkin membuatnya jatuh ke lantai.
- Jangan sampai multimeter Anda basah dan jangan menyimpannya di tempat yang lembab. Jika multimeter terkena air, buka kotaknya dan biarkan terbuka sampai sampai kering.
- Matikan multimeter saat tidak dipakai. Jangan biarkan probe tertancap dan berserakan.
- Jangan menempatkan multimeter dekat dengan benda-benda yang mengandung magnet, ini dapat menurunkan akurasi multimeter secara permanen.
- Jangan menempatkan atau menyimpan multimeter di tempat yang terlalu panas. Temperatur tinggi akan merusak multimeter secara permanen.
- Jangan sampai kehabisan baterai.
- Setiap jenis dan model multimeter mungkin memiliki prosedur perawatan yang berbeda, baca baik-baik SOP penggunaannya yang terdapat pada kotak multimeter.

3.3.1. Mengukur Tegangan DC (Voltase)

Dasar-dasar mengukur tegangan DC [20]:

1. Probe merah adalah positif dan probe hitam adalah negatif.
2. Ada tiga skala pembacaan:
 - Skala 10 digunakan untuk posisi selektor 10V dan 1000 V.

- Skala 50 digunakan untuk posisi selektor 0.5V dan 50 V.
 - Skala 250 digunakan untuk selektor 2.5V dan 250 V.
3. Pembacaan dimulai dari 0 sebelah kiri ke kanan



Gambar 3.11 Skala pembacaan dan selektor pada multimeter analog untuk mengukur tegangan DC

Beberapa panduan yang harus diikuti saat menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan:

- Mulai mengukur dengan mengarahkan selektor pada kisaran tertinggi untuk nilai tegangan yang tidak diketahui.
- Perhatikan polaritas rangkaian dan penempatan probe nya. Multimeter analog sensitif terhadap probe yang tebal,

probe merah harus pada polaritas positif dan probe hitam pada polaritas negatif dari suatu komponen atau rangkaian.

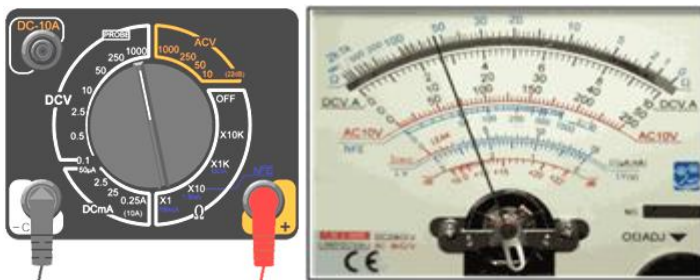
- Mulailah pada selektor tertinggi, kemudian turunkan untuk mengukur nilai tegangan secara akurat.



Gambar 3.12 Cara memilih selektor

Latihan 3.1

Sebuah pengukuran tegangan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tegangan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 50 DCV
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer →10

- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 10 dan 20 → 3 strip (dari 10 sampai 20 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 1)

Nilai tegangan terukur:

$$V = \frac{10 + (3 \times 1)}{100} \text{ [Volt]}$$

$$V = 0,13 \text{ [Volt]}$$

Angka 100 sebagai pembagi karena selektor pada posisi 0,5 sedangkan skalator pada 50.

Latihan 3.2

Sebuah pengukuran tegangan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tegangan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 250 DCV
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer → 50
- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 50 dan 100 → 4 strip (dari 50 sampai 100 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 5)

Nilai tegangan terukur:

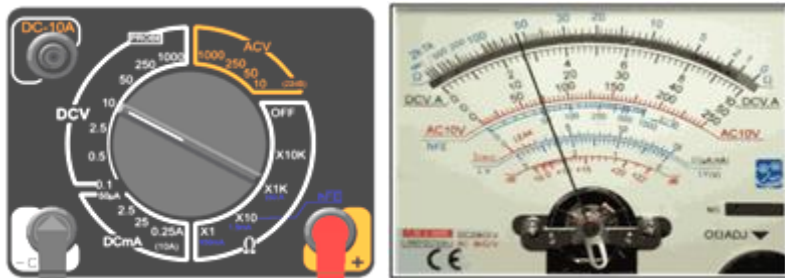
$$V = \frac{50 + (4 \times 5)}{100} \text{ [Volt]}$$

$$V = 0,7 \text{ [Volt]}$$

Angka 100 sebagai pembagi karena selektor pada posisi 2,5 sedangkan skalator pada 250.

Latihan 3.3

Sebuah pengukuran tegangan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tegangan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 10 DCV
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer → 2
- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 2 dan 4 → 3 strip (dari 2 sampai 4 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 0,2)

Nilai tegangan terukur:

$$V = \frac{2 + (3 \times 0,2)}{1} \text{ [Volt]}$$

$$V = 2,6 \text{ [Volt]}$$

Latihan 3.4

Sebuah pengukuran tegangan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tegangan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 50 DCV
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer → 20
- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 20 dan 30 → 4 strip (dari 20 sampai 30 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 1)

Nilai tegangan terukur:

$$V = \frac{20 + (4 \times 1)}{1} \text{ [Volt]}$$

$$V = 24 \text{ [Volt]}$$

Latihan 3.5

Sebuah pengukuran tegangan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tegangan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 10 DCV
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer → 4

- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 4 dan 6 → 4 strip (dari 4 sampai 6 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 0,2)

Nilai tegangan terukur:

$$V = 4 + (4 \times 0,2) \times 100 \text{ [Volt]}$$

$$V = 480 \text{ [Volt]}$$

Karena selektor pada posisi 1000 DCV sementara skalator pada DCV 10, maka hasil baca dikalikan 100.

3.3.2. Mengukur Tahanan (Resistansi)

Dasar-dasar mengukur tahanan dengan analog multimeter [19]:

- Tempelkan probe bersama beberapa kali untuk melihat gerakan pointer, jika gerakan pointer tersendat, lakukan pemeriksaan.
- Anda harus melihat jarum berada di sisi kiri dalam posisi tak terhingga (Gambar 3.13) dan akan bergerak ke posisi nol saat kedua ujung probe ditempelkan.
- Skala Ohmmeter dibaca dari kiri ke kanan, berbeda dengan pengukuran tegangan yang dibaca dari kanan ke kiri.



Gambar 3.13 Posisi pointer sebelum probe ditempelkan

- Tempelkan kedua probe dan tahan beberapa waktu kemudian gunakan tombol *Zero Ohms Adjust* untuk mengkalibrasi pada posisi 0 (Gambar 3.14)



Gambar 3.14 Kalibrasi Ohmmeter

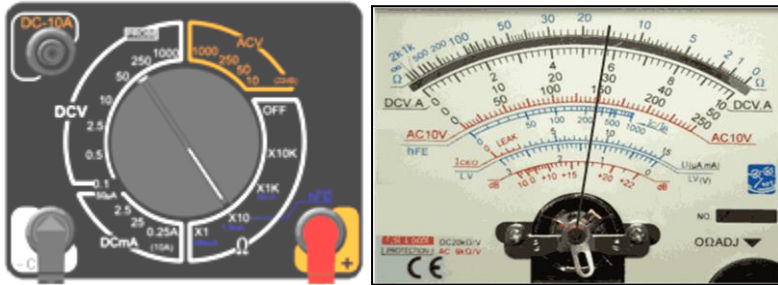
- Gunakan selektor yang tepat untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat.



Gambar 3.15 Selektor range Ohmmeter

Latihan 3.6

Sebuah pengukuran tahanan dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai tahanan terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada $10 \Omega \times 10$
- Hitung angka nominal sebelah kanan pointer $\rightarrow 10$
- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 10 dan 20 $\rightarrow 5$ strip (dari 10 sampai 20 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 1)

Nilai tahanan terukur:

$$R = [10 + (5 \times 1)] \times 10 [\Omega]$$

$$V = 150 [\Omega]$$

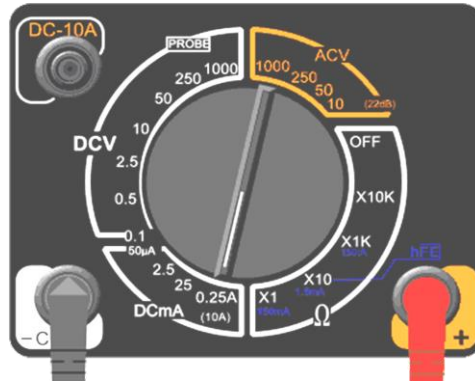
Karena selektor pada posisi $\times 10 \Omega$, maka hasil baca dikalikan 10.

3.3.3. Mengukur Arus

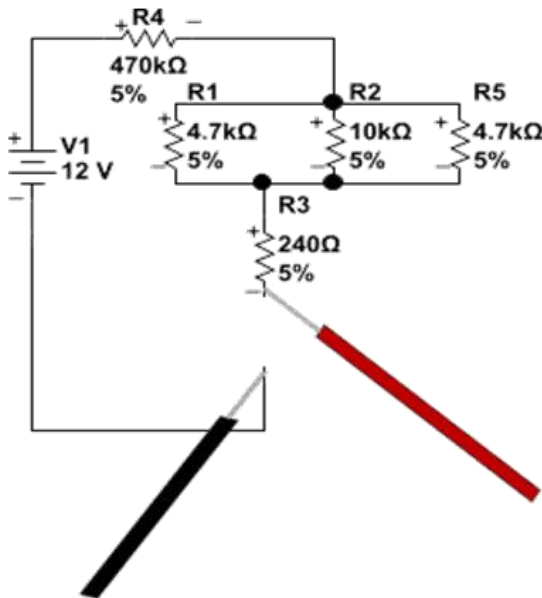
Sebelum melakukan pengukuran arus dengan multimeter, beberapa hal tindakan pencegahan kerusakan harus dipahami [21]:

- Ingat; tegangan diukur melintasi komponen, sedangkan arus mengalir melalui komponen. Anda harus memotong rangkaian dan menempatkan Ammeter secara seri dengan sirkuit dan/atau komponennya.

- Multimeter analog bukan "Digital Multimeter Otomatis"
Perhatikan polaritas komponen pada sirkuit sebelum menempatkan probe. Probe hitam adalah negatif dan probe merah adalah positif.
- Tidak ada salahnya memulai dengan selektor pada tingkat tinggi kemudian menurunkan ke tingkat yang lebih rendah.



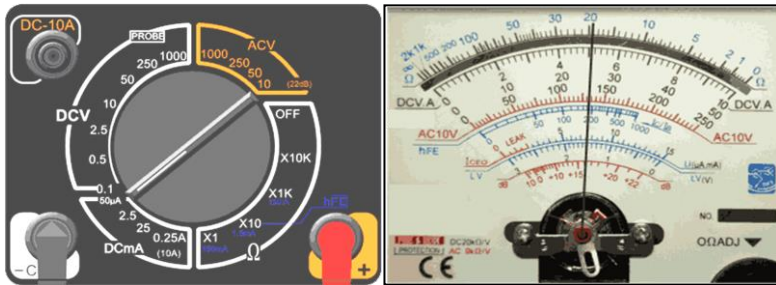
Gambar 3.16 Selektor multimeter untuk mengukur arus



Gambar 3.17 Penempatan probe untuk mengukur arus

Latihan 3.7

Sebuah pengukuran arus dengan multimeter analog ditunjukkan dengan Gambar berikut. Hitung nilai arus terukurnya.



Penyelesaian

- Baca skalator pada 50 DCVA
- Hitung angka nominal sebelah kiri pointer → 20
- Strip yang ditunjukkan pointer antara angka 20 dan 30 → 5 strip (dari 20 sampai 30 ada 10 strip, berarti satu strip nilainya 1)

Nilai arus terukur:

$$I = 20 + (5 \times 1) [\mu A]$$

$$I = 25 [\mu A]$$

Apakah anda menemukannya?

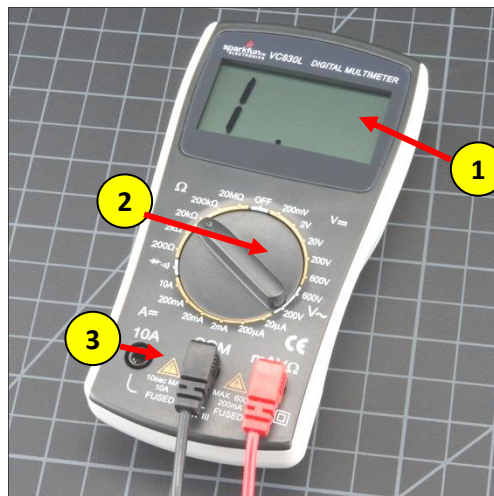
3.4. Menggunakan Multimeter Digital

Multimeter digital memiliki tiga bagian utama, yaitu Display, Selektor, dan Port (Gambar 3.18). Display biasanya memiliki empat digit dan mampu untuk menampilkan tanda negatif. Beberapa multimeter digital dilengkapi dengan pengatur penerangan display untuk tampilan yang lebih baik dalam situasi gelap atau kurang cahaya. Selektor memungkinkan pengguna mengatur multimeter untuk membaca berbagai hal

seperti arus dalam miliamps (mA), tegangan (V) dan tahanan (Ω) [22].

Ada dua probe (merah dan hitam) yang dihubungkan pada kedua port di bagian depan multimeter. Tulisan "COM" singkatan dari *common* dan hampir selalu terhubung ke Ground atau (-) dari sebuah rangkaian.

Probe COM umumnya berwarna hitam. Namun demikian, tidak ada perbedaan antara probe merah dan probe hitam selain warna. Port 10A adalah port khusus yang digunakan saat mengukur arus besar (lebih besar dari 200mA). Port mAV Ω adalah port untuk menancapkan probe merah (positif). Port ini memungkinkan pengukuran arus (sampai 200mA), tegangan (V), dan tahanan (Ω).



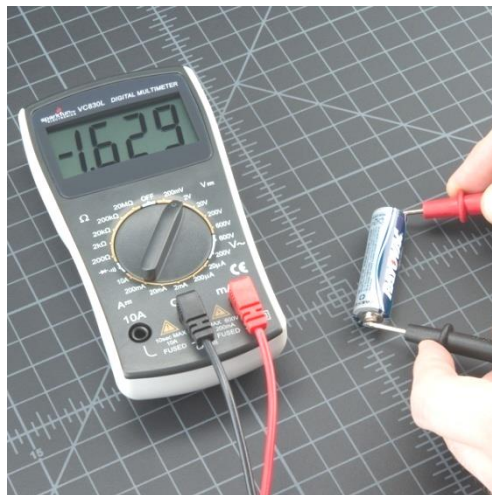
Gambar 3.18 Bagian utama multimeter digital:
(1) Display, (2) Selektor, dan (3) Port.

3.4.1. Mengukur Tegangan DC (Voltase)

Untuk memulai, mari kita mengukur tegangan pada baterai AA. Colokkan probe hitam ke COM dan probe merah ke mAV Ω . Atur multimeter ke "2V" di DC (arus searah). Sambungkan probe

hitam ke (-) baterai dan probe merah ke (+) baterai. Jika baterai yang diukur adalah baru, Anda akan melihat hasil pengukuran sekitar 1,5V pada layar. Perlu diperhatikan, jika Anda mengukur tegangan DC (seperti baterai atau sensor yang dihubungkan ke Arduino), Anda harus mengarahkan selektor ke DCV, bukan ACV.

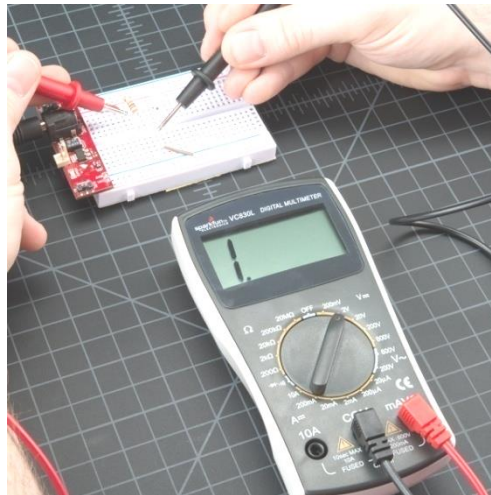
Apa yang terjadi jika probe terbalik?..... Perhatikan Gambar 3.2, Hasil pembacaan tegangan di multimeter menjadi negatif. Multimeter mengukur tegangan mengacu pada probe COM. Tegangan yang ada pada (+) baterai dibandingkan dengan port COM. Jika kita mengganti probe, kita mendefinisikan (+) sebagai titik COM atau nol. Berapa voltase yang ada pada (-) baterai dibandingkan dengan nol? Hasilnya adalah -1.5V. Jadi, besarnya tetap sama, namun arahnya yang berbeda.



Gambar 3.19 Mengukur tegangan DC

Jika Anda menempatkan selektor yang terlalu rendah untuk tegangan yang ingin Anda ukur, multimeter akan menampilkan angka 1. Angka 1 menunjukkan bahwa multimeter mencoba memberi tahu Anda bahwa telah terjadi kelebihan beban (*over*

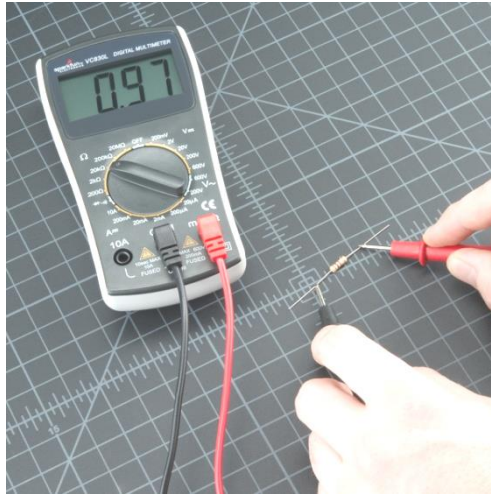
load) atau di luar jangkauan pengukuran. Untuk itu, jika ini terjadi, anda harus mengubah selektor ke setelan yang lebih tinggi berikutnya. Lebih baik, jika range tegangan yang diukur benar-benar belum diketahui, tempatkan selektor pada range tertinggi, kemudian turunkan sampai mendapatkan hasil pengukuran yang paling akurat.



Gambar 3.20 Hasil pengukuran tegangan DC saat terjadi *over load*

3.4.2. Mengukur Tahanan (Resistansi)

Resistor normal memiliki kode warna. Jika Anda tidak hafal nilai setiap kode warna, sekarang ada banyak kalkulator online yang mudah digunakan. Namun, jika tidak ada akses internet, multimeter sangat berguna untuk mengukur nilai tahanan. Pilih satu resistor, kemudian atur selektor multimeter ke $20k\Omega$. Kemudian, tempelkan probe pada kaki-kaki resistor.



Gambar 3.21 Cara pengukuran resistor

Pada pengukuran tahanan, multimeter akan membaca satu dari tiga hal: 0.00, 1, atau nilai resistor sebenarnya. Dalam contoh ini (Gambar 3.21), multimeter membaca 0,97, yang berarti resistor ini memiliki nilai 970Ω , atau sekitar $1k\Omega$ (ingat selektor Anda berada dalam mode $20k\Omega$ atau 20.000 Ohm).

Jika multimeter membaca 1 atau menampilkan OL, itu berarti kelebihan beban (*over load*). Anda harus memindahkan selektor ke range yang lebih tinggi, misalnya $200k\Omega$ atau $2M\Omega$. Jika multimeter menampilkan 0,00 atau hampir nol, maka Anda perlu menurunkan mode dari $20\text{ k}\Omega$ ke $2k\Omega$ atau 200Ω . Perlu diingat bahwa banyak resistor memiliki toleransi 5%. Ini berarti bahwa kode warna mungkin menunjukkan 10.000 Ohm ($10k\Omega$), namun karena perbedaan dalam proses pembuatan, resistor $10k\Omega$ bisa serendah $9,5\text{ k}\Omega$ atau setinggi $10,5\text{ k}\Omega$.

3.4.3. Mengukur Kontinuitas

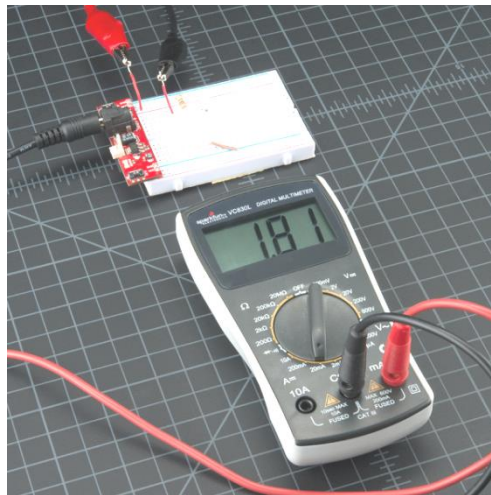
Uji kontinuitas adalah pengujian tahanan antara dua titik. Uji kontinuitas membantu memastikan bahwa suatu rangkaian atau kabel atau sekring tersambung dengan baik atau tidak. Tes ini juga membantu kita mendeteksi jika dua titik terhubung, yang

seharusnya tidak (korsleting). Untuk memeriksa kontinuitas, atur multimeter ke mode 'Continuity'.

3.4.4. Mengukur Arus Listrik

Membaca hasil pengukuran arus adalah salah satu pembacaan yang paling sulit dan paling mendalam di dunia elektronik. Ini rumit karena Anda harus mengukur arus secara seri. Jika tegangan diukur dengan menusukkan probe pada VCC dan GND (secara paralel), untuk mengukur arus Anda harus memotong aliran arus dan meletakkan multimeter secara *in-line* (seri).

Mengukur arus sama seperti tahanan dan tegangan, Anda harus menempatkan selektor pada rentang yang benar. Atur multimeter ke 200mA. Jika Anda menduga bahwa sirkuit yang akan diukur mendekati atau lebih dari 200mA, alihkan probe Anda ke 10A.



Gambar 3.22 Pengukuran arus

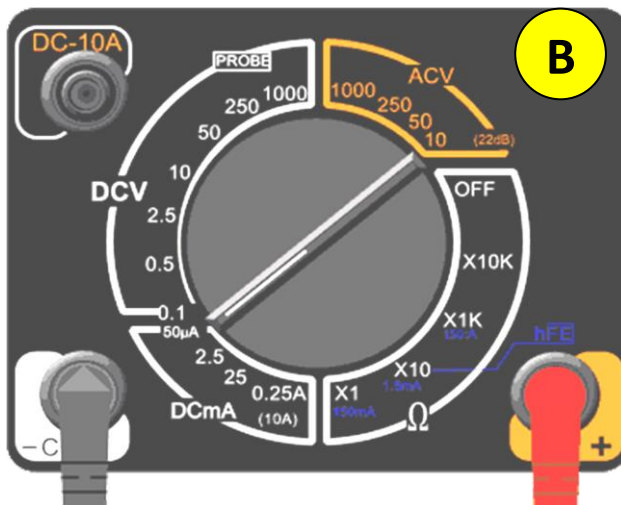
Ada kalanya Anda perlu mengukur arus tinggi seperti motor listrik atau pemanas. Jika Anda mengukur arus lebih dari 200mA di port mA/V Ω , sekering akan putus. Untuk itu, gunakan port 10A untuk mengukur arus yang besar.



Gambar 3.23 Port 10A pada digital multimeter

3.5. Evaluasi

1. Jelaskan konsep pengukuran tegangan, arus, dan tahanan listrik menggunakan PMMC!
2. Sebuah display multimeter analog ditunjukkan pada Gambar berikut. Hitunglah nilai tegangan, arus, dan tahanan yang ditunjukkan gambar A pada semua range selektor dari gambar B!





BEE-04

Hukum Kirchhoff

4.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

- BEE-K-04-01 Menjelaskan konsep Hukum Kirchhoff arus dan hukum kirchhoff tegangan
- BEE-K-04-02 Menjelaskan konsep rangkaian pembagi arus dan rangkaian pembagi tegangan.
- BEE-K-04-03 Menganalisis tegangan, arus, dan resistor equivalen pada rangkaian listrik.

Skill Objectives:

- BEE-S-04-01 Menggunakan *parallel resistor calculator* untuk menghitung resistor equivalen.
-

4.2. Pendahuluan

Lihatlah ECM atau *wiring hardness* sebuah mobil. Pada sebuah ECM, Anda akan menemukan bahwa satu sirkuit tersebut merupakan rangkainan berbagai komponen yang terintegrasi. Sementara pada *wiring hardness*, anda mungkin hanya akan menemukan satu kabel besar yang disambungkan ke (+) baterai, namun pada konektor yang terdapat pada kotak sekring anda akan menemukan puluhan terminal yang saling berhubungan.

Itu artinya, dalam sebuah sistem kelistrikan kendaraan, akan ada ratusan rangkaian pembagi tegangan. Bab ini akan membahas beberapa rangkaian pembagi tegangan yang dirangkum dari beberapa sumber [4], [23], [24].

4.3. Hukum Kirchhoff Arus dan Tegangan

Rangkaian listrik dibagi menjadi rangkaian seri, paralel dan seri/paralel tergantung dari cara penyambungannya. Dalam satu rangkaian, jumlah arus yang masuk dan arus yang keluar adalah sama, juga tegangan yang terpakai dengan tegangan yang turun adalah sama, inilah yang disebut dengan hukum Kirchhoff. Ada dua hukum Kirchhoff, Hukum Kirchhoff Arus (*Kirchhoff Current Law*, KCL) dan Hukum Kirchhoff Tegangan (*Kirchhoff Voltage Law*, KVL).

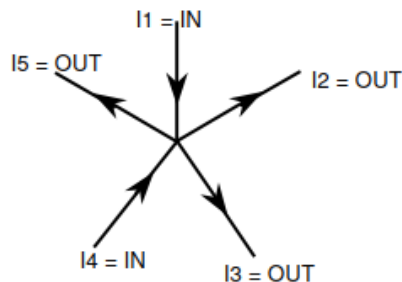
1. Hukum Kirchhoff Arus (hukum Kirchhoff pertama)

Dalam suatu rangkaian, jumlah aliran arus masuk dan jumlah aliran arus keluar adalah sama.

$$\sum I_n = 0$$

$$\text{Aliran arus masuk} - \text{aliran arus keluar} = 0$$

Sekarang, perhatikan Gambar berikut. Ada 5 cabang arus, dimana I_1 dan I_4 adalah arus masuk ke percabangan. Sementara I_2 , I_3 , dan I_5 adalah arus yang keluar dari percabangan.



Dengan hukum Kirchhoff, arus pada percabangan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

Aliran arus masuk = aliran arus keluar

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

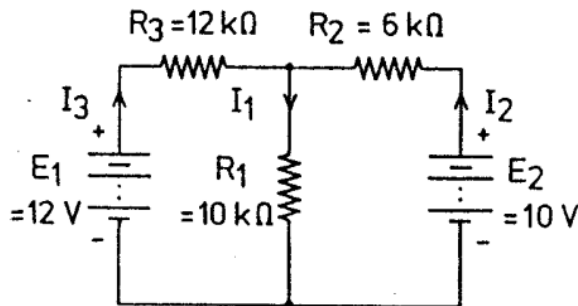
2. Hukum Kirchhoff Tegangan (Hukum Kirchhoff Kedua)

Tegangan sumber pada rangkaian seri sama dengan total masing-masing tegangan yang turun, jumlah penurunan tegangan dan tegangan yang dipakai adalah 0.

$$\sum V_n = 0$$

Sumber Input tegangan - jumlah penurunan tegangan = 0

Mari kita lihat rangkaian sederhana dibawah ini.



Dari contoh rangkaian pada gambar diatas, dengan hukum Kirchhoff dapat dituliskan beberapa persamaan matematis untuk menyatakan hukum Kirchhoff tegangan sesuai loop sebagai berikut.

Loop kiri $-E_1 + R_3 I_3 + R_1 I_1 = 0$

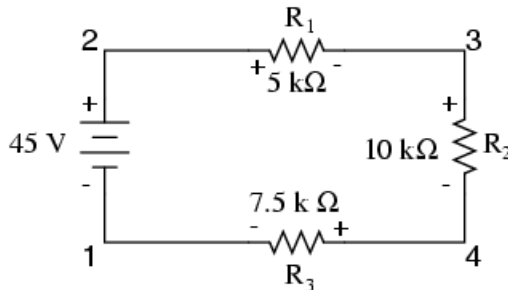
Loop kanan $-E_2 + R_2 I_2 + R_1 I_1 = 0$

Loop luar $-E_1 + R_3 I_3 - R_2 I_2 + E_2 = 0$

Semua komponen pada contoh gambar rangkaian diatas dilewati arus, sehingga sesuai hukum kirchhoff tegangan.

3. Pembuktian Hukum Kirchoof

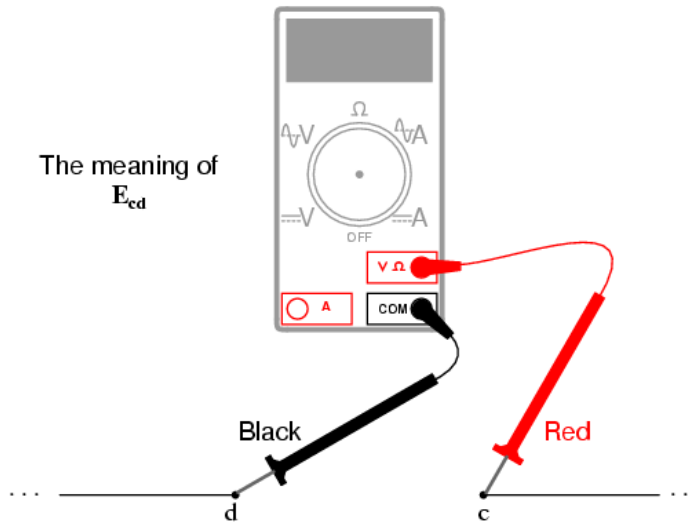
Sekarang, mari kita lihat lagi rangkaian lain dibawah ini.



Jika kita menghubungkan voltmeter antara titik 2 dan 1, probe merah ke titik 2 dan probe hitam ke titik 1, voltmeter akan mencatat +45 Volt. Biasanya tanda (+) tidak ditampilkan. Namun, untuk pelajaran ini, polaritas pembacaan tegangan sangat penting dan kita akan menunjukkan angka positif secara eksplisit:

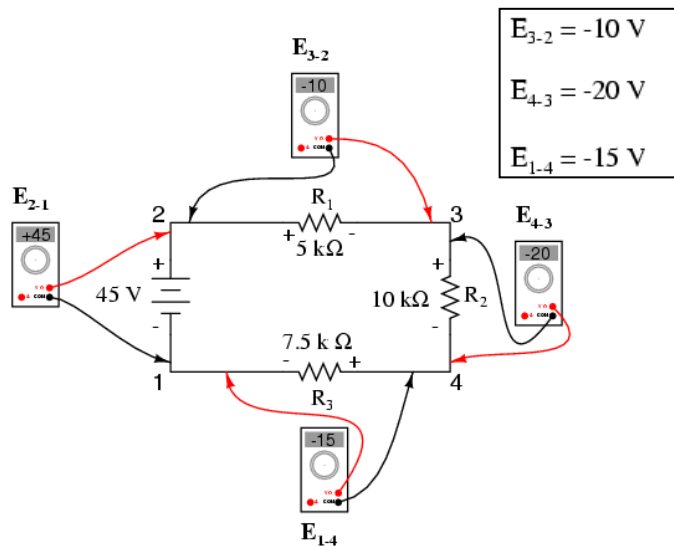
$$E_{2-1} = +45V$$

Bila tegangan ditentukan dengan subskrip ganda (karakter "2-1" pada notasi " E_{2-1} "), itu berarti tegangan pada titik pertama (2) yang diukur mengacu pada titik kedua (1). Tegangan yang ditentukan sebagai " E_{cd} " berarti tegangan seperti yang ditunjukkan oleh voltmeter digital dengan probe merah pada titik "c" dan probe hitam pada titik "d": Tegangan pada "c" mengacu pada "d".



Gambar 4.1 Notasi polaritas

Kemudian, jika kita mengambil voltmeter yang sama dan mengukur penurunan tegangan pada masing-masing resistor (Gambar 4.2), mengelilingi sirkuit searah jarum jam dengan probe merah pada titik di depan dan probe hitam mengarah pada titik di belakang, kita akan mendapatkan bacaan berikut:

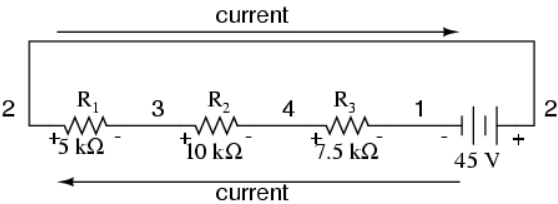


Gambar 4.2 Pengukuran tegangan dengan memperhatikan polaritas

Kita seharusnya sudah terbiasa dengan prinsip umum rangkaian seri yang menyatakan bahwa voltase drop pada setiap komponen sama dengan tegangan total. Mengukur voltage drop dengan cara seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan memperhatikan polaritas (tanda matematis) menunjukkan sisi lain dari hal ini.

E_{2-1}	=	+45V
E_{3-2}	=	-10V
E_{4-3}	=	-20V
E_{1-4}	=	-15V
		0V

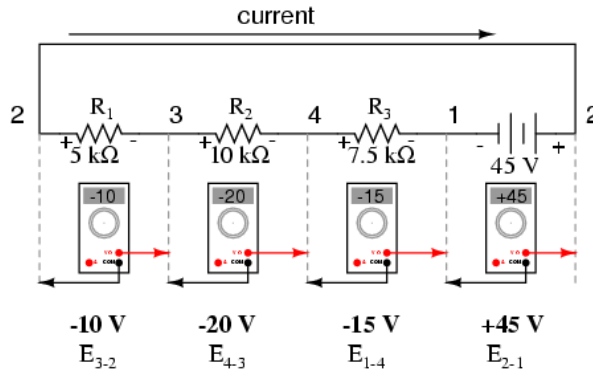
Ini mungkin lebih masuk akal jika kita menggambar ulang rangkaian pada Gambar 4.2, sehingga semua komponen terwakili dalam garis lurus.



Gambar 4.3 Rangkaian resistor dan sumber tegangan secara seri

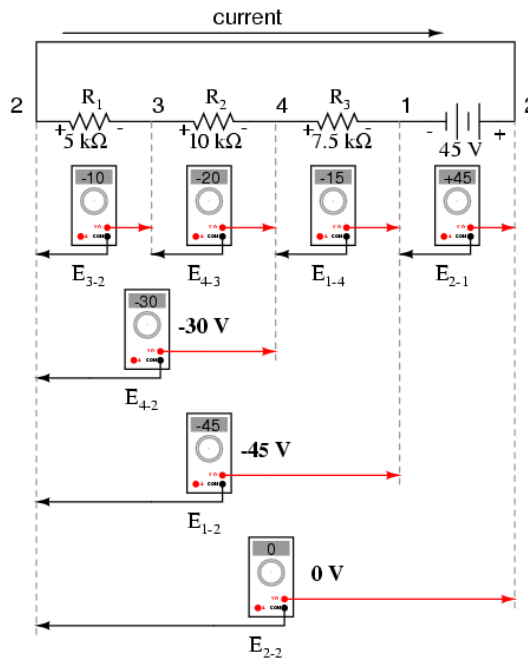
Rangkaian seri pada Gambar 4.3 masih sama dengan Gambar 4.2, hanya dengan komponen yang disusun dalam bentuk yang berbeda. Tegangan baterai negatif di sebelah kiri dan positif di sebelah kanan, sedangkan semua tegangan jatuh resistor berorientasi ke arah lain, positif di sebelah kiri dan negatif di sebelah kanan. Hal ini karena resistor menahan aliran elektron yang didorong oleh baterai. Dengan kata lain, "dorongan" yang diberikan oleh resistor terhadap aliran elektron harus berada pada arah yang berlawanan dengan sumber gaya gerak listrik.

Di sini, kita akan melihat voltmeter digital yang ditunjukkan di setiap komponen di sirkuit ini, probe hitam di sebelah kiri dan probe merah di sebelah kanan, seperti yang ditata secara horisontal sebagai berikut:



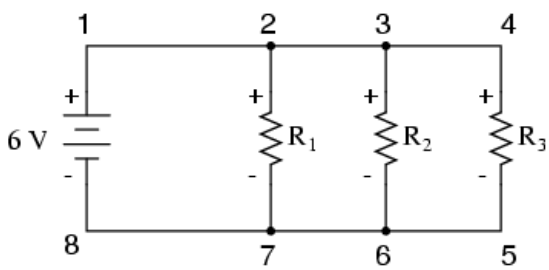
Gambar 4.4 Pengukuran voltage drop pada beban seri

Jika kita mengambil voltmeter yang sama dan membaca tegangan pada kombinasi komponen (Gambar 4.5), dimulai dengan hanya R_1 di sebelah kiri dan maju melintasi keseluruhan rangkaian komponen (R_1+R_2 , $R_1+R_2+R_3$, $R_1+R_2+R_3+E_1$), kita akan melihat bagaimana tegangan menambahkan secara aljabar (ke 0):



Gambar 4.5 Pembuktian hukum kirchhoff pada rangkaian seri

Hukum Kirchhoff Tegangan (KVL) juga akan bekerja untuk konfigurasi rangkaian paralel. Perhatikan bagaimana cara kerjanya untuk rangkaian paralel ini:



Gambar 4.6 Sirkuit pembagi arus

Dalam rangkaian paralel, tegangan pada setiap resistor sama dengan tegangan suplai. Dengan Gambar 4.6, tegangan yang disuplai ke setiap resistor adalah 6 volt. Selanjutnya, tegangan pada loop 2-3-4-5-6-7-2 adalah:

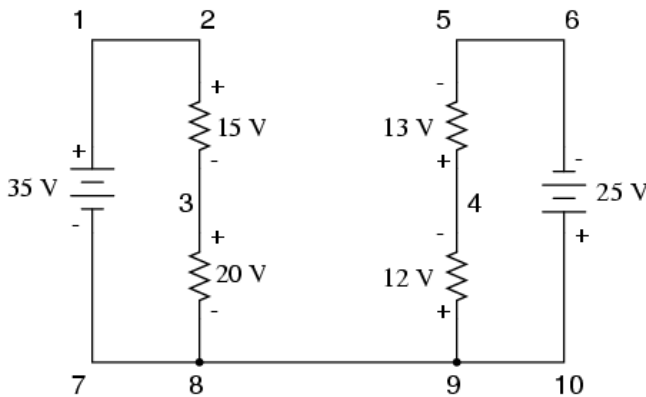
$E_{3-2} = 0\text{ V}$	<i>voltage from point 3 to point 2</i>
$E_{4-3} = 0\text{ V}$	<i>voltage from point 4 to point 3</i>
$E_{5-4} = -6\text{ V}$	<i>voltage from point 5 to point 4</i>
$E_{6-5} = 0\text{ V}$	<i>voltage from point 6 to point 5</i>
$E_{7-6} = 0\text{ V}$	<i>voltage from point 7 to point 6</i>
$+ E_{2-7} = +6\text{ V}$	<i>voltage from point 2 to point 7</i>
$E_{2-2} = 0\text{ V}$	

Perhatikan tegangan akhir (sum) pada E_{2-2} . Karena kita memulai urutan loop pada titik 2 dan berakhir pada titik 2, jumlah aljabar tegangan tersebut akan sama dengan tegangan yang diukur antara titik yang sama (E_{2-2}), yang tentu saja harus nol.

Selanjutnya, "loop" yang kita telusuri untuk KVL tidak harus menjadi jalur arus nyata (sirkuit tertutup). Yang harus kita lakukan untuk mematuhi KVL adalah memulai dan mengakhiri pengukuran pada titik yang sama. Pertimbangkan contoh berikut, dengan menelusuri "loop" 2-3-6-3-2 di rangkaian resistor paralel yang sama (Gambar 4.6).

$$\begin{array}{ll}
 E_{3-2} = 0 \text{ V} & \text{voltage from point 3 to point 2} \\
 E_{6-3} = -6 \text{ V} & \text{voltage from point 6 to point 3} \\
 E_{3-6} = +6 \text{ V} & \text{voltage from point 3 to point 6} \\
 + E_{2-3} = 0 \text{ V} & \text{voltage from point 2 to point 3} \\
 \hline
 E_{2-2} = 0 \text{ V} &
 \end{array}$$

KVL dapat digunakan untuk menentukan tegangan yang tidak diketahui di sirkuit yang kompleks, di mana semua tegangan lain di sekitar "loop" tertentu diketahui. Ikuti rangkaian kompleks berikut ini (sebenarnya dua rangkaian rangkaian digabungkan dengan satu kawat di bagian bawah).



Gambar 4.7 Hukum kirchhoff pada rangkaian kompleks

Untuk membuat masalah lebih sederhana, nilai resistansi pada tiap tiap resistor dihilangkan dan hanya memberi nilai voltage drop pada setiap resistor. Dua rangkaian seri berbagi kawat di antara keduanya (kawat 7-8-9-10), membuat pengukuran tegangan mungkindilakukan antara dua rangkaian. Jika kita ingin menentukan tegangan antara titik 4 dan 3, kita bisa membuat persamaan KVL dengan tegangan antara titik-titik tersebut sebagai yang tidak diketahui.

$$E_{4-3} + E_{9-4} + E_{8-9} + E_{3-8} = 0$$

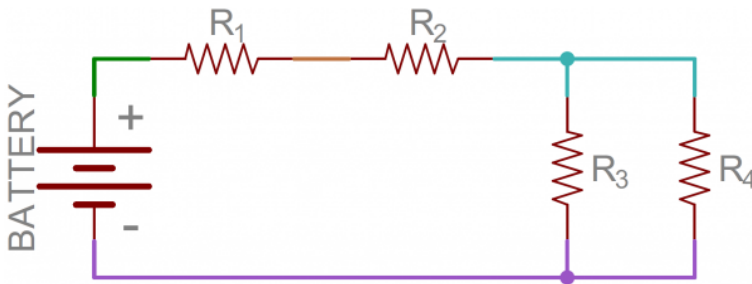
$$E_{4-3} + 12 + 0 + 20 = 0$$

$$E_{4-3} + 32 = 0$$

$$E_{4-3} = -32 \text{ V}$$

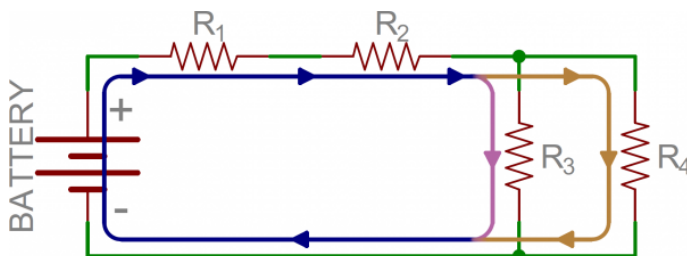
4.4. Konsep Rangkaian Seri

Sirkuit sederhana yang hanya memiliki beberapa komponen biasanya cukup mudah dimengerti oleh pemula. Namun demikian, pada rangkaian yang kompleks, analisisnya bisa menjadi lebih sulit karena melibatkan banyak percabangan, yang dirangkai secara seri dan paralel. Sebelum kita membahas detail tentang rangkaian seri, kita perlu menandai sebuah “simpul”. Simpul adalah persimpangan listrik antara dua komponen atau lebih. Bila rangkaian dimodelkan pada sebuah skema, simpulnya adalah kabel antar komponen tersebut [25].



Gambar 4.8 Contoh skematis dengan empat simpul berwarna

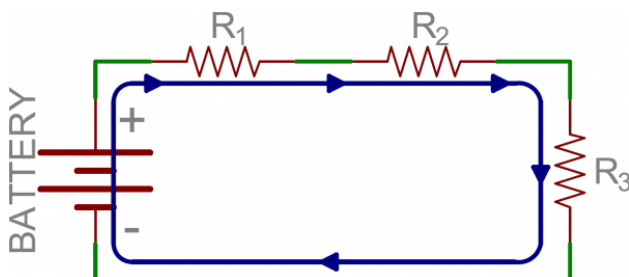
Kita juga perlu memahami bagaimana arus mengalir melalui sebuah rangkaian. Arus mengalir dari tegangan tinggi ke tegangan rendah pada sebuah sirkuit. Sejumlah arus akan mengalir melalui setiap jalur yang bisa ditempuh untuk sampai ke titik tegangan terendah (biasanya disebut *ground*). Dengan menggunakan rangkaian di atas sebagai contoh, berikut adalah cara arus mengalir dari terminal positif baterai sampai ke terminal negatif.



Gambar 4.9 Simpul arus

Perhatikan bahwa di beberapa simpul (seperti antara R_1 dan R_2) arusnya sama seperti pada saat keluar. Pada simpul lain (khususnya persimpangan tiga arah antara R_2 , R_3 , dan R_4) arus utama (biru) terbagi menjadi dua yang berbeda. Itulah perbedaan utama antara seri dan paralel.

Dua komponen atau lebih dikatakan rangkaian secara seri jika mereka memiliki simpul yang sama dan jika arus yang sama mengalir melewatinya. Berikut adalah rangkaian contoh dengan tiga resistor seri.

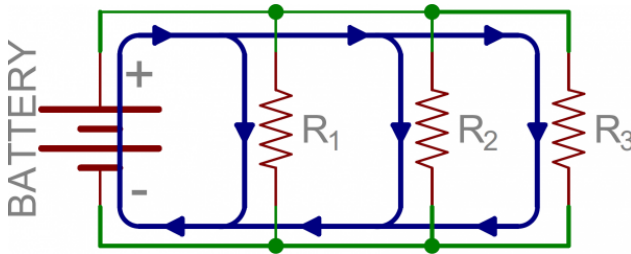


Gambar 4.10 Rangkaian seri

Dari Gambar 4.10, hanya ada satu jalur arus yang mengalir di sirkuit. Arus mengalir dari terminal positif baterai, kemudian akan melewati R_1 . Setelah keluar dari R_1 , arus akan mengalir langsung ke R_2 , lalu ke R_3 , dan akhirnya kembali ke terminal negatif baterai. Perhatikan bahwa hanya ada satu jalur untuk arus listrik. Inilah yang disebut rangkaian seri.

4.5. Konsep Rangkaian Paralel

Jika komponen berbagi dua simpul, maka keduanya adalah rangkaian paralel. Berikut adalah contoh skematik dari tiga resistor yang dirangkai paralel dengan baterai.

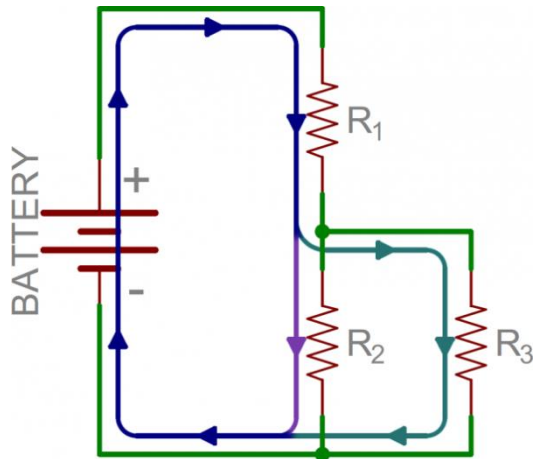


Gambar 4.11 Rangkaian paralel

Dari terminal baterai positif, arus mengalir ke R_1 , R_2 , dan R_3 . Simpul yang menghubungkan baterai ke R_1 juga terhubung ke resistor lain. Ujung lain dari resistor ini juga saling terkait, lalu diikat kembali ke terminal negatif baterai. Ada tiga jalur arus listrik yang berbeda sebelum arus kembali ke baterai. Inilah yang disebut rangkaian paralel. Jika dalam rangkaian seri semua komponen (R) dilewati arus yang sama, rangkaian paralel memiliki tegangan yang sama untuk semua komponen (R).

4.6. Konsep Rangkaian Kombinasi

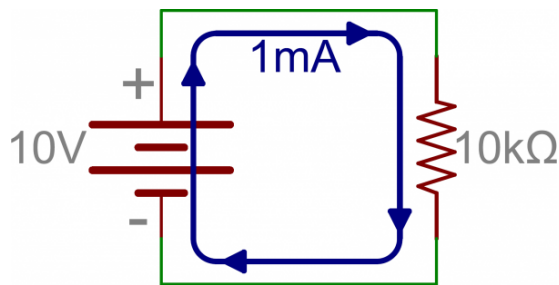
Kenyataannya, dalam sebuah sirkuit terpadu, komponen komponen listrik dirangkai secara seri dan paralel yang terintegrasi. Pada gambar berikut ini, kita kembali melihat tiga resistor dan baterai. Dari terminal baterai positif, arus mengalir ke R_1 . Setelah itu, simpul terpecah, dan arusnya menuju ke R_2 dan ke R_3 . Setelah melalui R_2 dan R_3 , simpulnya diikat kembali dan arus kembali ke terminal negatif baterai.



Gambar 4.12 Rangkaian kombinasi

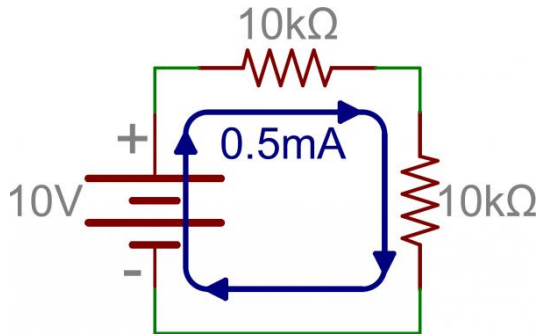
4.7. Tahanan Equivalen pada Rangkaian Seri

Ketika kita menempatkan beberapa resistor dalam sebuah rangkaian, baik secara seri maupun paralel, kita telah mengubah cara arus mengalir melewatinya. Sebagai contoh, jika kita memiliki suplai 10V di resistor 10k, hukum Ohm mengatakan bahwa kita memiliki arus 1mA yang mengalir (Lihat kembali Sub bab 2.7).



Gambar 4.13 Loop arus pada rangkaian

Jika kita kemudian menempatkan resistor 10k Ω lain secara seri dengan yang pertama dan menjaga tegangan sumber tetap 10V, arus akan turun menjadi 0,5 1mA karena resistansinya bertambah dua kali lipat.



Gambar 4.14 Hukum Ohm pada rangkaian seri

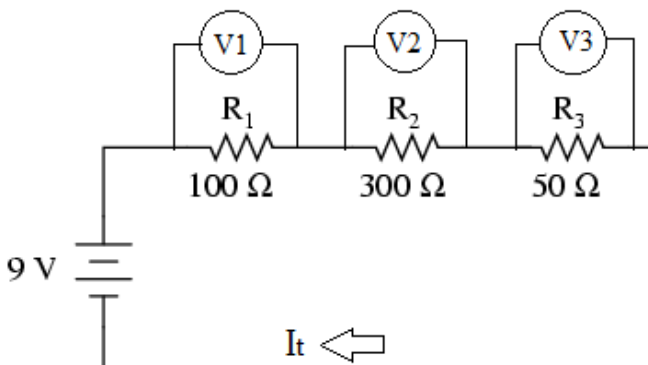
Dengan kata lain, nilai resistansi pada rangkaian seri adalah penambahan dari semua nilai tahanan yang ada.



$$R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots + R_{N-1} + R_N$$

Latihan 4.1

Sebuah rangkain sederhana seperti ditunjukkan dalam gambar berikut. Hitung nilai tahanan equivalen, arus yang mengalir pada rangkaian, dan Voltage drop pada setiap resistor



Penyelesaian

Nilai tahanan equivalen

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_t = 100 + 300 + 50 [\Omega]$$

$$R_t = 450\Omega$$

Arus

$$I = \frac{E}{R_t}$$

$$I = \frac{9}{450}$$

$$I = 0,02A$$

Voltage drop

$$V_1 = IxR_1 = 0,02x100 = 2V$$

$$V_2 = IxR_2 = 0,02x300 = 6V$$

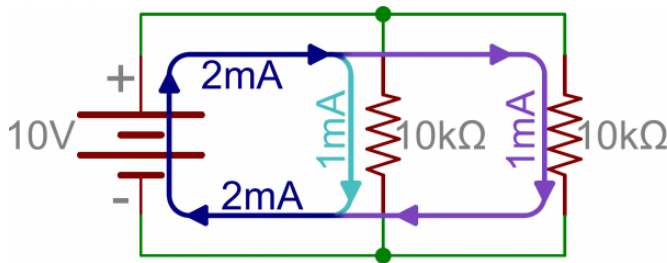
$$V_3 = IxR_3 = 0,02x 50 = 1V$$

$$V_t = 2 + 6 + 1 = 9V$$

$$[\text{Tegangan terpakai} = \text{tegangan sumber (E)}]$$

4.8. Tahanan Equivalen pada Rangkaian Paralel

Bagaimana dengan resistor yang dirangkai secara paralel? Pertimbangkan contoh terakhir di mana kita mulai dengan suplai 10V dan resistor 10k Ω (Gambar 4.13), tapi kali ini kita menambahkan 10k Ω lagi secara paralel, bukan seri. Sekarang ada dua jalur arus listrik. Karena tegangan suplai tidak berubah, Hukum Ohm mengatakan resistor pertama masih akan menarik arus 1mA dan begitu juga resistor kedua, dan sekarang kita memiliki total 2mA yang berasal dari Sumber tegangan 10V. Ini menyiratkan bahwa kita telah mengurangi total hambatan menjadi dua.



Gambar 4.15 Hukum Ohm pada rangkaian paralel

Persamaan untuk menambahkan sejumlah resistor yang dirangkai secara paralel adalah sebagai berikut.

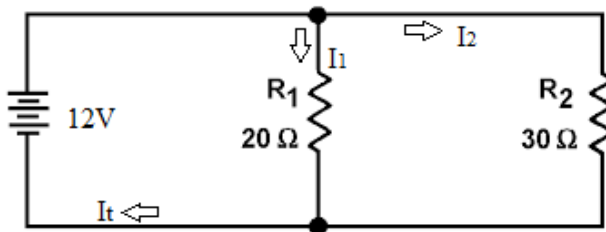
$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_{N-1}} + \frac{1}{R_N}$$

Jika hanya ada dua resistor dapat disederhanakan menjadi

$$R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Latihan 4.2

Sebuah rangkain paralel seperti ditunjukkan dalam gambar berikut. Hitung nilai tahanan equivalen dan arus yang mengalir pada setiap beban.



Penyelesaian

Nilai tahanan equivalen

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

$$R_t = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} [\Omega]$$

$$R_t = 12\Omega$$

Arus total

$$I_t = \frac{E}{R_t}$$

$$I_t = \frac{12}{12}$$

$$I_t = 1A$$

Arus pada I_1 dan I_2 (masuk percabangan)

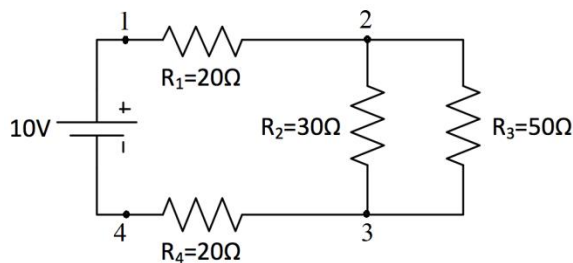
$$I_1 = E/R_1 = 12/20 = 0,6A$$

$$I_2 = ExR_2 = 12/30 = 0,4A$$

[Arus masuk percabangan = arus total (keluar percabangan)]

Latihan 4.3

Sebuah rangkain kombinasi seri-paralel seperti ditunjukkan dalam gambar berikut. Hitung nilai tahanan equivalen, tegangan, dan arus yang mengalir pada setiap titik pengukuran.



Penyelesaian

Nilai tahanan equivalen

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{2,3} = \frac{30 \cdot 50}{30 + 50} [\Omega]$$

$$R_{2,3} = 18,75\Omega$$

$$R_t = R_1 + R_{2,3} + R_4$$

$$R_t = 20 + 18,75 + 20 [\Omega]$$

$$R_t = 58,75\Omega$$

Arus total

$$I_t = \frac{E}{R_t}$$

$$I_t = \frac{10}{58,75} = 0,17A$$

Voltage drop

$$V_{2-1} = I \cdot R_1 = 0,17 \cdot 20 = 3,404V$$

$$V_{3-2} = IxR_{2,3} = 0,17 \cdot 18,75 = 3,192V$$

$$V_{4-3} = IxR_4 = 0,17 \cdot 20 = 3,404V$$

$$[\Sigma \text{Voltage drop} = \text{Tegangan sumber}]$$

Arus yang mengalir pada R_2 dan R_3

$$I_{R2} = \frac{V_{3-2}}{R_2} = \frac{3,192}{30} = 0,106A$$

$$I_{R3} = \frac{V_{3-2}}{R_3} = \frac{3,192}{50} = 0,063A$$

$$I_{R2} + I_{R3} = 0,17A$$

4.9. Parallel Resistor Calculator

Saat ini, banyak aplikasi online yang menyediakan calculator untuk menghitung resistor equivalen pada rangkaian paralel. Salah satunya adalah *Parallel Resistance Calculator* yang

disediakan oleh [www.allaboutcircuits.com](https://www.allaboutcircuits.com/tools/parallel-resistance-calculator/) dengan alamat URL <https://www.allaboutcircuits.com/tools/parallel-resistance-calculator/> [26].

The screenshot shows the 'Parallel Resistance Calculator' web interface. The browser address bar displays 'Secure | https://www.allaboutcircuits.com/tools/parallel-resistance-calculator/'. The page has an orange header with the 'ALL ABOUT CIRCUITS' logo and navigation links for 'ARTICLES', 'FORUM', 'EDUCATION', and 'TOOLS'. The main heading is 'Parallel Resistance Calculator'. Below it, a sub-heading says 'Calculate the total resistance of resistors in parallel with ease!'. The 'Inputs' section contains three fields: 'Number of Resistors' with the value '2' (highlighted with a yellow circle labeled '1'), 'R₁' with the placeholder 'Enter Resistor 1' (highlighted with a yellow circle labeled '2'), and 'R₂' with the placeholder 'Enter Resistor 2' (highlighted with a yellow circle labeled '2'). A red 'Calculate' button is positioned below these inputs. The 'Output' section shows 'Equivalent Resistance' with a placeholder 'Ohms (Ω)' (highlighted with a yellow circle labeled '3').

Gambar 4.16 *Parallel Resistance Calculator*: (1) Jumlah resistor, (2) nilai masing masing resistor, (3) Resistor equivalen

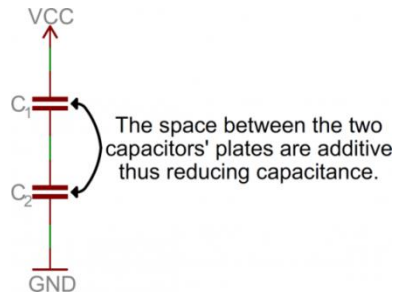
Selanjutnya, dengan soal latihan 4.2, kita masukkan nilai tahanan untuk kedua resistor. Hasilnya sebagai berikut.

This screenshot shows the same calculator interface but with numerical values entered. In the 'Inputs' section, 'Number of Resistors' is '2', 'R₁' is '20' (Ω), and 'R₂' is '30' (Ω). The red 'Calculate' button is visible. In the 'Output' section, the 'Equivalent Resistance' is calculated as '12.00' (Ω).

Gambar 4.17 Hasil penjumlahan resistor equivalen

4.10. Rangkaian Kapasitor

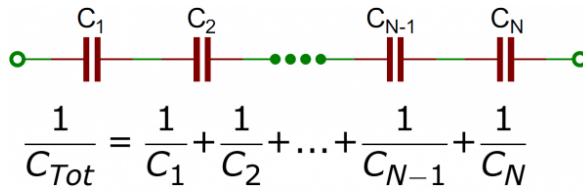
Menggabungkan kapasitor sama seperti menggabungkan resistor, tetapi berlaku persamaan sebaliknya. Kapasitor terdiri dari dua pelat yang saling berdekatan dan fungsinya dasarnya adalah memegang sejumlah elektron. Semakin besar nilai kapasitansi, semakin banyak elektron yang bisa dipegangnya. Jika ukuran pelat dinaikkan, kapasitansi naik karena secara fisik lebih banyak ruang bagi elektron untuk mengendap. Dan jika pelat dipindahkan lebih jauh, kapasitansi turun, karena kekuatan medan listrik di antara mereka turun saat jaraknya bertambah. Misal, kita punya dua kapasitor $10\mu\text{F}$ yang dihubungkan secara seri.



Gambar 4.18 Rangkaian kapasitor seri

Ingat bahwa dalam rangkaian seri hanya ada satu jalur arus yang mengalir. Ini berarti bahwa jumlah elektron yang dikeluarkan dari tutup di bagian bawah adalah sama dengan yang keluar dari tutup di atas sehingga kapasitansi belum meningkat.

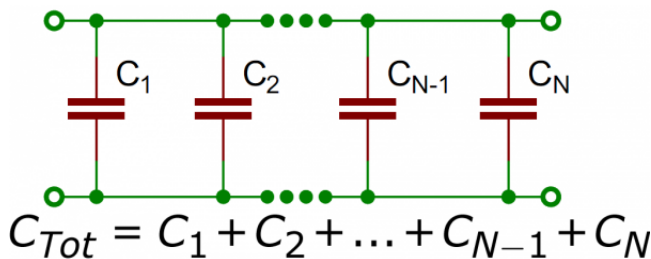
Dengan menempatkan kapasitor secara seri, kita telah secara efektif memasang pelat lebih jauh karena jarak antar pelat dari dua kapasitor ditambahkan secara bersamaan. Jadi kita tidak memiliki $20\mu\text{F}$, atau bahkan $10\mu\text{F}$, tetapi hanya $5\mu\text{F}$. Ini berarti kita menambahkan nilai kapasitor seri dengan cara yang sama seperti menambahkan nilai resistor secara paralel.



Gambar 4.19 Konsep penjumlahan nilai kapasitor seri

Tampaknya tidak ada gunanya menambahkan kapasitor secara seri. Tapi satu hal yang kita dapatkan adalah tegangannya naik dua kali lipat. Sama seperti baterai, saat kita memasang kapasitor secara seri, tegangan akan bertambah.

Menambahkan kapasitor secara paralel seperti menambahkan resistor secara seri, nilainya ditambahkan. Menempatkan kapasitor secara paralel, secara efektif akan meningkatkan ukuran pelat tanpa meningkatkan jarak di antara keduanya. Pelat yang lebih luas berarti kapasitansinya meningkat.



Gambar 4.20 Konsep penjumlahan nilai kapasitor paralel

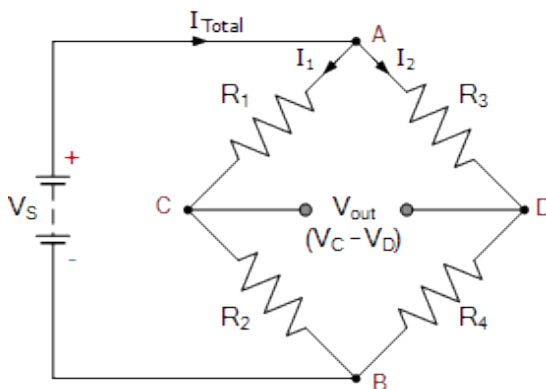
4.11. Wheatstone Bridge

Jembatan Wheatstone awalnya dikembangkan oleh Charles Wheatstone untuk mengukur nilai resistansi yang tidak diketahui dan sebagai alat untuk mengkalibrasi instrumen pengukuran, voltmeter, ammeter, dan lain-lain, dengan menggunakan kawat geser resistif yang panjang [27].

Meski saat ini multimeter digital memberikan cara termudah untuk mengukur resistansi. Jembatan Wheatstone masih dapat digunakan untuk mengukur nilai resistansi yang sangat rendah di kisaran mili-Ohms.

Sirkuit jembatan Wheatstone (atau jembatan resistensi) dapat digunakan di sejumlah aplikasi dan saat ini, dengan amplifier operasional modern, kita dapat menggunakan Sirkuit Jembatan Wheatstone untuk menghubungkan berbagai transduser dan sensor ke rangkaian penguat.

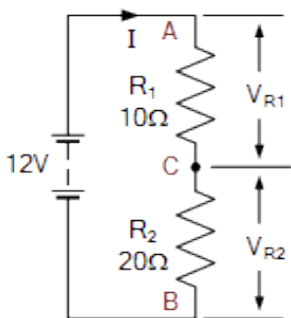
Sirkuit Wheatstone tidak lebih dari dua pengaturan rangkaian paralel yang sederhana yang dihubungkan antara terminal suplai tegangan dan ground yang menghasilkan perbedaan tegangan nol antara dua cabang paralel bila diimbangi. Sirkuit jembatan Wheatstone memiliki dua terminal input dan dua terminal keluaran yang terdiri dari empat resistor yang dikonfigurasi dalam susunan seperti diamond seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Konsep *wheatstone bridge*

Bila seimbang, jembatan Wheatstone dapat dianalisis hanya sebagai dua deret seri secara paralel. Dalam pembahasan resistor seri sebelumnya, kita melihat bahwa setiap resistor dalam rangkaian seri menghasilkan penurunan IR , atau penurunan

voltase pada dirinya sendiri sebagai konsekuensi arus yang mengalir melewatinya seperti yang didefinisikan oleh Hukum Ohms. Mari kita lihat rangkaian seri di bawah ini.



Gambar 4.22 Resistor seri tunggal

Sebagai dua resistor yang dirangkai secara seri, arus yang sama (I) mengalir melalui keduanya. Oleh karena itu, arus yang mengalir melalui kedua resistor secara seri ini diberikan sebagai: V/RT .

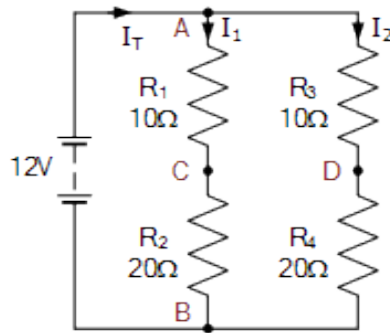
$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{(10\Omega + 20\Omega)} = 0.4A$$

Tegangan pada titik C, yang juga voltage drop pada tahanan yang rendah (R_2) dihitung sebagai:

$$V_{R2} = I \times R_2 = 0.4A \times 20\Omega = 8 \text{ volts}$$

Kemudian kita dapat melihat bahwa tegangan sumber V_S terbagi di antara dua resistor seri yang proporsional dengan resistansinya sebagai $V_{R1} = 4V$ dan $V_{R2} = 8V$. Inilah prinsip pembagian voltase, menghasilkan apa yang biasa disebut pembagi potensial atau rangkaian pembagi tegangan.

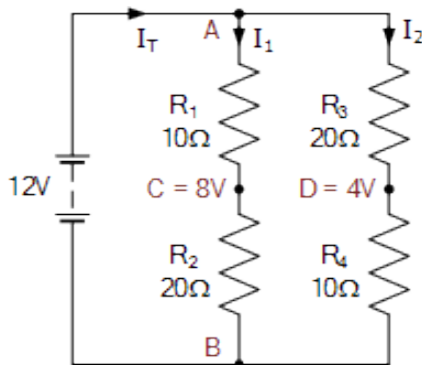
Sekarang, jika kita akan menambahkan rangkaian resistor seri lain dengan menggunakan nilai resistor yang sama secara paralel dengan yang pertama (Gambar 4.22), kita akan memiliki rangkaian berikut.



Gambar 4.23 Resistor seri ganda sejajar

Karena rangkaian seri kedua memiliki nilai resistif yang sama dengan yang pertama, voltase pada titik D, yang juga merupakan voltage drop pada resistor, V_{R4} akan sama sebesar 8 volt. Namun demikian, hal lain yang sama pentingnya adalah bahwa perbedaan voltase antara titik C dan titik D akan menjadi nol volt karena kedua titik sama sama pada nilai 8 volt ($C = D = 8$ volt), maka perbedaan voltasenya adalah: 0 volt. Bila ini terjadi, kedua sisi sirkuit jembatan paralel dikatakan seimbang karena voltase pada titik C sama nilainya dengan tegangan pada titik D dengan perbedaannya menjadi nol.

Sekarang mari kita pertimbangkan apa yang akan terjadi jika kita membalikkan posisi kedua resistor, R_3 dan R_4 pada cabang paralel kedua yang mengimbangi R_1 dan R_2 .



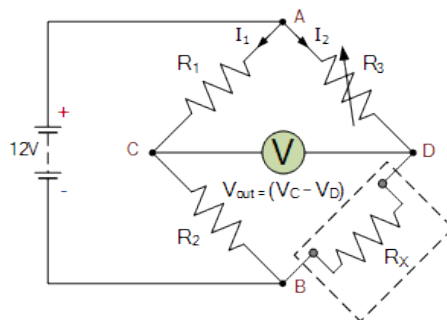
Gambar 4.24 Resistor seri ganda berbalik nilai

Dengan resistor R_3 dan R_4 terbalik, arus yang sama mengalir melalui kombinasi seri dan voltase pada titik D, yang juga merupakan voltage drop pada resistor, V_{R4} akan menjadi:

$$V_{R4} = 0.4A \times 10\Omega = 4 \text{ volts}$$

Sekarang dengan V_{R4} memiliki voltage drop 4 volt, perbedaan voltase antara titik C dan D akan menjadi 4 volt ($C = 8 \text{ volt}$ dan $D = 4 \text{ volt}$). Sehingga, perbedaan voltasenya adalah: $8 - 4 = 4 \text{ volt}$. Hasil *swapping* (pertukaran) dua resistor adalah bahwa kedua sisi atau "arm" dari jaringan paralel berbeda karena menghasilkan voltage drop yang berbeda. Bila ini terjadi, jaringan paralel dikatakan tidak seimbang karena voltase pada titik C berbeda dengan voltase pada titik D.

Dari Gambar 4.24, kita bisa melihat bahwa rasio resistor kedua lengan paralel, ACB dan ADB menghasilkan perbedaan voltase antara 0 volt dan voltase suplai maksimum (tidak seimbang), dan ini adalah prinsip dasar *Sirkuit Jembatan Wheatstone*. Jadi, kita dapat melihat bahwa rangkaian jembatan Wheatstone dapat digunakan untuk membandingkan R_X yang tidak dikenal dengan yang lain dari nilai yang diketahui, misalnya R_1 dan R_2 , memiliki nilai tetap, dan R_3 dapat bervariasi. Jika kita menghubungkan voltmeter, ammeter atau sebuah galvanometer klasik antara titik C dan D, dan kemudian variabel resistor R_3 sampai meter terbaca nol, akan menghasilkan dua lengan yang seimbang dan nilai R_X , (pengganti R_4) sebagai berikut.



Gambar 4.25 Konsep dasar Sirkuit Jembatan Wheatstone

Dengan mengganti R_4 di atas dengan resistansi dari nilai diketahui atau tidak diketahui pada "sensing arm" jembatan Wheatstone yang sesuai dengan R_x dan menyesuaikan resistor lawan (R_3) untuk "menyeimbangkan" jaringan jembatan, akan menghasilkan keluaran tegangan nol. Kemudian kita dapat melihat bahwa keseimbangan terjadi ketika:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} = 1 \text{ (Balanced)}$$

Persamaan Jembatan Wheatstone yang dibutuhkan untuk memberi nilai hambatan yang tidak diketahui (R_x) pada keseimbangan diberikan sebagai:

$$V_{OUT} = (V_C - V_D) = (V_{R2} - V_{R4}) = 0$$

$$R_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{and} \quad R_D = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\text{At Balance: } R_C = R_D \quad \text{So, } \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

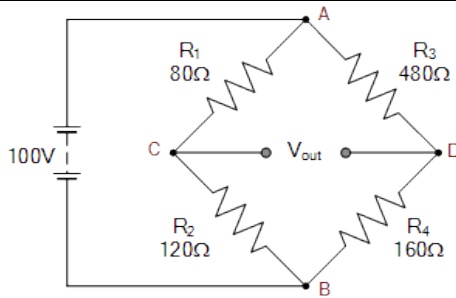
$$\begin{aligned} \therefore R_2(R_3 + R_4) &= R_4(R_1 + R_2) \\ R_2R_3 + \cancel{R_2R_4} &= R_1R_4 + \cancel{R_2R_4} \end{aligned}$$

$$\therefore R_4 = \frac{R_2R_3}{R_1} = R_x$$

Dimana nilai resistor R_1 dan R_2 diketahui sebagai nilai pre-set.

Latihan 4.4

Sebuah Jembatan Wheatstone yang tidak seimbang dibuat seperti gambar berikut. Hitung tegangan keluaran pada titik C dan D dan nilai resistor R_4 yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan rangkaian jembatan.



Penyelesaian

Untuk lengan seri pertama (ACB)

$$V_C = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_s$$

$$V_C = \frac{120\Omega}{80\Omega + 120\Omega} \times 100 = 60 \text{ volts}$$

Untuk lengan seri kedua (ADB)

$$V_D = \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} \times V_s$$

$$V_D = \frac{160\Omega}{480\Omega + 160\Omega} \times 100 = 25 \text{ volts}$$

Tegangan pada titik C-D diberikan sebagai:

$$V_{OUT} = V_C - V_D$$

$$\therefore V_{OUT} = 60 - 25 = 35 \text{ volts}$$

Nilai resistor R_4 yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan jembatan diberikan sebagai:

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{120\Omega \times 480\Omega}{80\Omega} = 720\Omega$$

Kita telah melihat bahwa Jembatan Wheatstone memiliki dua terminal input (A-B) dan dua terminal output (C-D). Bila jembatan seimbang, tegangan pada terminal output adalah 0 volt. Bila jembatan tidak seimbang, tegangan outputnya bisa positif atau negatif tergantung pada arah ketidakseimbangan.

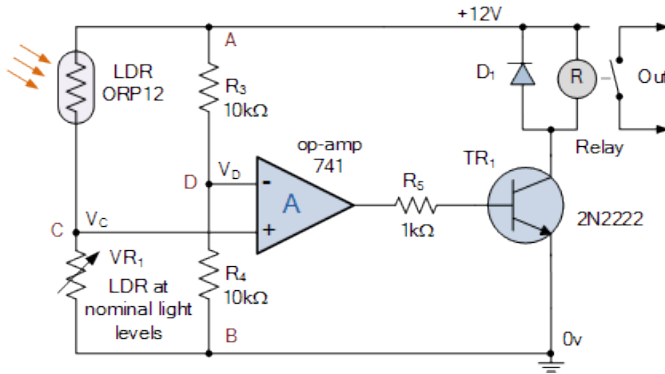
4.12. Contoh Aplikasi Wheatstone Bridge

Sirkuit jembatan yang seimbang menemukan banyak aplikasi elektronika yang berguna seperti untuk mengukur perubahan intensitas cahaya, tekanan, atau ketegangan. Jenis sensor resistif yang dapat digunakan dalam sirkuit jembatan Wheatstone meliputi: sensor fotoresistif (LDR), sensor posisional (potensiometer), sensor piezoresistif (alat pengukur regangan) dan sensor suhu (thermistor's), dll.

Ada banyak aplikasi jembatan Wheatstone untuk sensor berbagai macam kuantitas mekanikal dan elektrik, namun satu aplikasi jembatan Wheatstone yang sangat sederhana ada dalam pengukuran cahaya dengan menggunakan perangkat photoresistive. Salah satu resistor di dalam jaringan jembatan digantikan oleh LDR.

LDR, yang juga dikenal sebagai photocell kadmium-sulfida (CdS), adalah sensor resistif pasif yang mengubah perubahan tingkat cahaya menjadi perubahan resistansi. LDR dapat digunakan untuk memantau dan mengukur tingkat intensitas cahaya, atau apakah sumber cahaya harus menyala atau mati.

Sel Cadmium Sulfida (CdS) khas seperti LDR ORP12 biasanya memiliki nilai resistansi sekitar satu Megaohm ($M\Omega$) dalam cahaya gelap atau redup dan sekitar 900Ω pada intensitas cahaya 100 Lux (ruangan yang terang) sampai sekitar 30Ω di bawah sinar matahari langsung. Kemudian seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya maka resistansi akan berkurang. Dengan menghubungkan LDR ke sirkuit jembatan Wheatstone, kita dapat memantau dan mengukur setiap perubahan pada tingkat cahaya seperti yang ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.26 Aplikasi Jembatan Wheatstone pada LDR

Photocell LDR terhubung ke sirkuit Jembatan Wheatstone seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25 untuk menghasilkan saklar sensitif cahaya yang menyala saat tingkat cahaya yang terbaca di atas atau di bawah nilai yang telah ditentukan, yang ditentukan oleh V_{R1} . Dalam contoh ini V_{R1} adalah potensiometer 22k atau 47k.

Op-amp dihubungkan sebagai komparator tegangan dengan tegangan referensi V_D yang diterapkan pada pin pembalik. Dalam contoh ini, karena R_3 dan R_4 memiliki nilai 10k the yang sama, voltase referensi yang ditetapkan pada titik D akan sama dengan setengah dari V_{cc} . Potensiometer V_{R1} mengatur tegangan V_C , yang diatur ke tingkat cahaya nominal yang diinginkan. Relai akan "ON" bila voltase pada titik C kurang dari tegangan pada titik D.

V_{R1} mengatur voltase pada titik C untuk menyeimbangkan sirkuit jembatan pada tingkat cahaya atau intensitas yang dibutuhkan. LDR dapat berupa perangkat sulfida kadmium yang memiliki impedansi tinggi pada tingkat cahaya rendah dan impedansi rendah pada tingkat cahaya tinggi. Perhatikan bahwa rangkaian dapat digunakan sebagai rangkaian pengalih "light

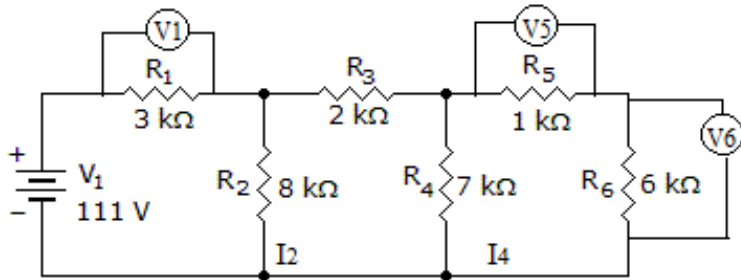
activated" atau "dark activated" hanya dengan mentranspos posisi LDR dan R_3 di dalam desain rangkaian.

Jembatan Wheatstone memiliki banyak kegunaan di sirkuit elektronik selain membandingkan resistansi yang tidak diketahui dengan resistansi yang diketahui. Bila digunakan dengan Amplifier Operasional, sirkuit jembatan Wheatstone dapat digunakan untuk mengukur dan memperkuat perubahan kecil pada resistansi (R_x) misalnya terhadap perubahan intensitas cahaya seperti yang telah kita lihat di atas.

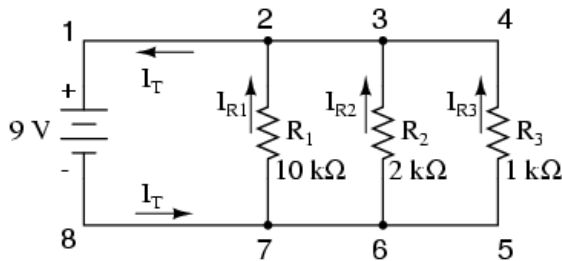
Rangkaian jembatan juga cocok untuk mengukur perubahan resistansi dari jumlah perubahan lainnya. Jadi, dengan mengganti sensor lampu LDR untuk termistor, sensor tekanan, pengukur regangan, dan transduser lainnya, serta menukar posisi LDR dan V_{R1} , kita bisa menggunakannya dalam berbagai aplikasi jembatan Wheatstone lainnya. Juga, sensor resistif lebih dari satu dapat digunakan di dalam empat lengan jembatan yang dibentuk oleh resistor R_1 sampai R_4 untuk menghasilkan rangkaian jembatan "jembatan penuh", "setengah jembatan" atau "rangkai jembatan kuartal" yang memberikan kompensasi termal atau penyeimbangan otomatis jembatan Wheatstone.

4.13. Evaluasi

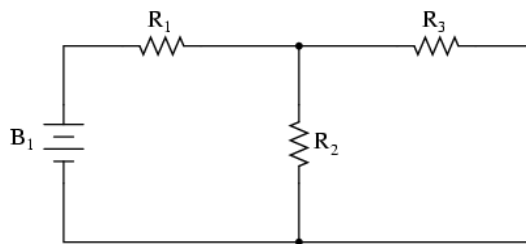
1. Dengan Hukum Kirchhoff, jelaskan konsep sebuah rangkaian seri dan rangkaian paralel.
2. Sebuah rangkaian kombinasi seri-paralel seperti disajikan dalam gambar berikut. Hitung nilai resistor equivalennya, Arus pada I_2 dan I_4 , serta voltage drop pada V_1 , V_5 , dan V_6 .



3. Rangkaian paralel seperti ditunjukkan dalam gambar berikut. Hitung resistor equivalennya, arus I_t , I_{R1} , I_{R2} dan I_{R3} . Kemudian, lakukan validasi resistor equivalennya dengan *Parallel Resistance Calculator*.

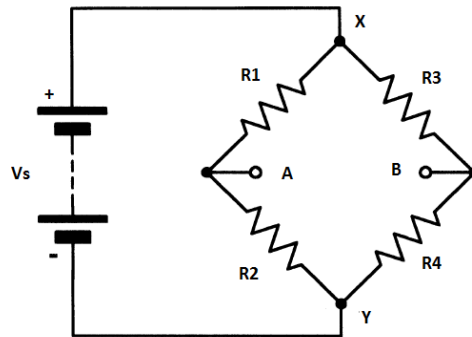


4. Rangkaian seperti pada gambar berikut. Jika tegangan baterai tepat 12V, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$ dan $R_3 = 2\Omega$, berapakah nilai I_{R2} dan I_{R3} ?



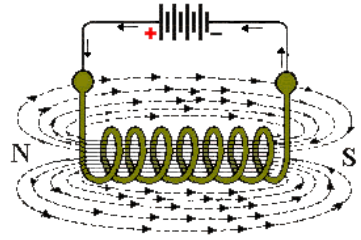
5. Dengan soal nomor 3, anggap bahwa R_1 , R_2 , dan R_3 adalah nilai tahanan untuk tiga buah filamen lampu, hitunglah daya pada R_1 , R_2 , dan R_3 . Kemudian, jika tegangan dinaikkan menjadi 24V, berapakah arus yang mengalir dan daya pada R_1 , R_2 , dan R_3 ?

6. Sebuah Jembatan Wheatstone tidak seimbang memiliki $V_s=120$ volt, $R_1=100\Omega$, $R_2=140\Omega$, $R_3=380\Omega$, dan $R_4=180\Omega$. Hitung tegangan keluaran pada titik A dan B dan nilai resistor R_4 yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan rangkaian jembatan.



BEE-05

Elektromagnetik dan Elektrokimia



5.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

- BEE-K-05-01 Menjelaskan konsep elektromagnetik yang bekerja pada komponen-komponen kendaraan (solenoid, relay, *ignition coil*, generator DC, alternator, motor DC, dan motor stepper).
- BEE-K-05-02 Menjelaskan konsep elektrokimia pada baterai

Skill Objectives:

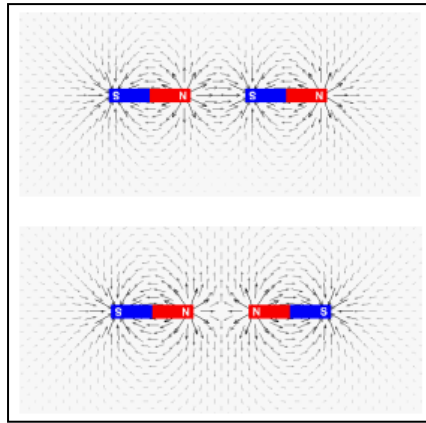
- Tidak ada capaian pembelajaran skill dalam bab ini-

5.2. Pendahuluan

Meskipun yang menggerakkan sebuah mobil adalah mesin yang mengkonversikan energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik, sebuah mesin harus didukung dengan sistem-sistem lain seperti charging system, starting system, ignition system, dan lainnya. Sistem-sistem pendukung mesin dan kendaraan juga mengkonversi energi listrik kedalam energi gerak dan sebaliknya. Untuk itu, pada bab ini akan dibahas tentang konsep elektromagnetik dan elektrokimia yang dirangkum dari berbagai sumber [1], [4], [28]–[30].

5.3. Magnet dan Medan Magnet

Setiap magnet memiliki kutub utara dan kutub selatan. Diantara kedua kutub tersebut, banyak garis magnet yang tidak terlihat dan setiap garis gaya magnet merupakan garis yang independen, tidak ada garis yang dapat melintang atau menyentuh satu sama lain. Gaya menarik yang terbesar ada pada ujung magnetnya. Perhatikan pola garis yang terdapat diantara dua kutub. Garis-garis tersebut adalah cerminan dari suatu garis gaya, atau kutubnya. Garis-garis gaya tersebut lebih terkonsentrasi di kutubnya.



Gambar 5.1 Garis-garis gaya magnet

Banyaknya garis tak terlihat dari gaya magnet yang mengelilingi suatu magnet disebut dengan magnetic flux. Jika magnetnya kuat, garis-garis tersebut akan banyak. Jadi, kepadatan medan flux atau jumlah garis per cm^2 dapat menentukan kekuatan suatu medan magnet.

Magnetic flux density = magnetic flux/area

$$B = \Phi / A$$

Dimana:

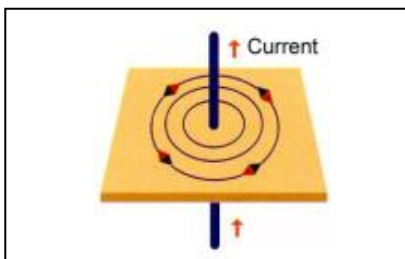
B : medan induksi [Gauss]

Φ : flux garis gaya magnet [Weber], dan

A : adalah luas penampang dalam [cm^2]

5.4. Induksi Magnet

Pada abad 18 dan 19 terdapat penemuan besar mengenai hubungan antara listrik dan magnet. Medan magnet akan selalu terdapat disekitar kawat penghantar listrik (konduktor) yang sedang dilalui arus. Kita bisa membuktikannya dengan percobaan sederhana. Alirkan arus ke kawat penghantar listrik melalui kertas karton. Tempatkan kompas kecil mendekati konduktor, maka kompas akan mengarah ke garis-garis gaya magnet (Gambar 5.2). Jika arus dibalikkan, maka kompas juga akan mengarah terbalik 180 derajat. Hal ini menunjukkan bahwa arah bidang magnet akan tergantung pada arah arus. Menurut teori lama arus, dikatakan bahwa arus mengalir dari positif ke negatif. Dengan memakai aturan tangan kanan seperti pada Gambar 5.3, ibu jari menunjuk ke arah arus sedangkan jari-jari lainnya menunjuk ke medan magnet.

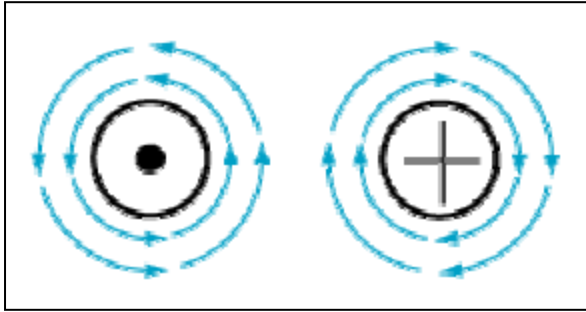


Gambar 5.2 Medan magnet di sekitar arus listrik



Gambar 5.3 Aturan tangan kanan

Pada Gambar 5.4, titik ditengah konduktor adalah titik anak panah, yang menunjukkan arus mengalir mengarah ke depan. Lingkaran anak panah menunjukkan arah dari medan magnetnya. Kaidah ini sangat penting dalam menghantarkan arus bolak-balik, karena penempatan kawat-kawat atau *lead dress* akan mempengaruhi kerja suatu rangkaian listrik. Beberapa konduktor dikelompokkan berpasangan untuk menghilangkan kemungkinan efek panas dan gangguan radio oleh medan magnet yang terbentuk dari aliran arus.



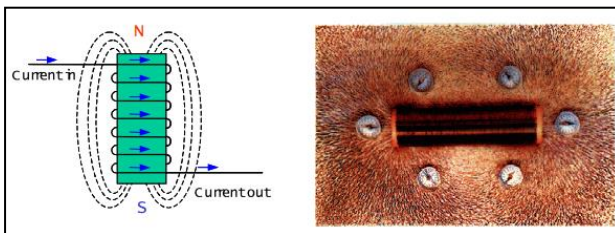
Gambar 5.4 Kaitan antara aliran arus dan bidang magnet

5.5. Aplikasi Elektromagnetik pada komponen Otomotif

Beberapa komponen pada kendaraan menggunakan konsep elektromagnetik, baik sebagai penguat, penggerak, saklar, dan sebagainya. Berikut contoh contohnya.

5.1.1. Solenoid

Bila sebuah konduktor dibalut dalam bentuk sebuah coil, atau solenoid, garis magnetnya akan terpusat di dalam coil, sehingga medan magnetnya menjadi lebih kuat. Skema solenoid menyerupai medan magnet dengan satu kutub utara dan satu kutub selatan. Konsep solenoid disajikan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Konsep solenoid

Kekuatan medan magnet pada suatu solenoid tergantung dari jumlah lilitan kabel di dalam coil dan besarnya arus yang mengalir melalui coil. Perkalian antara arus dan banyaknya lilitan pada coil disebut dengan lilitan amper atau amper gulung (NI), yang merupakan ukuran kekuatan medan magnet. Misalnya jika lilitan amper adalah 500, maka itu adalah angka

kekuatan magnetnya, hasil dari perkalian lilitan dan amper yang totalnya adalah 500. Aplikasi solenoid dalam kendaraan antara lain sebagai berikut.

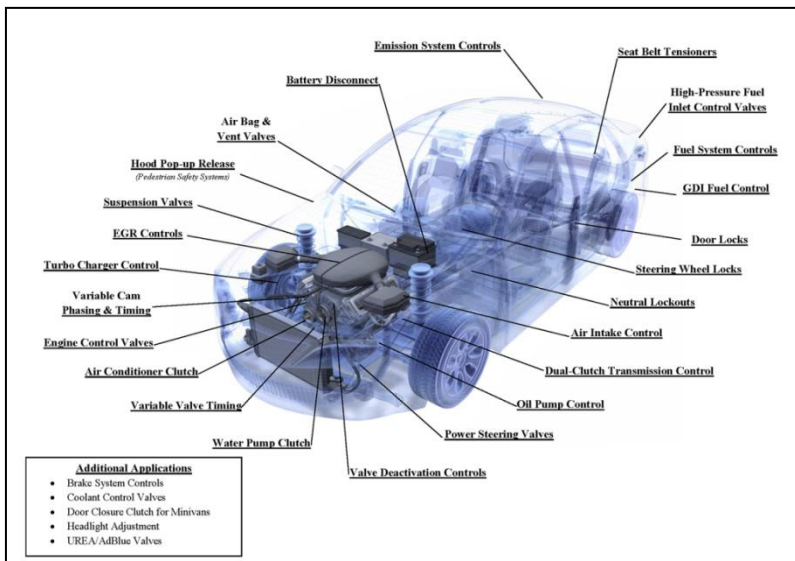


Gambar 5.6 Diesel fuel cut off solenoid

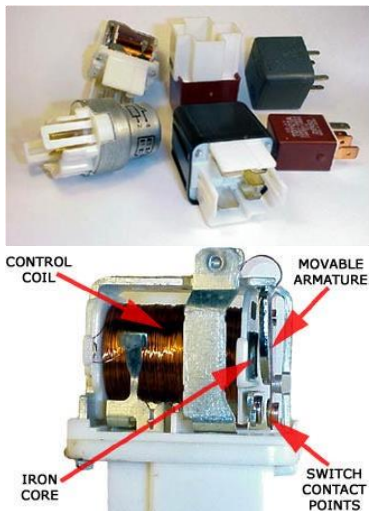


Gambar 5.7 AC Compressor Control Valve

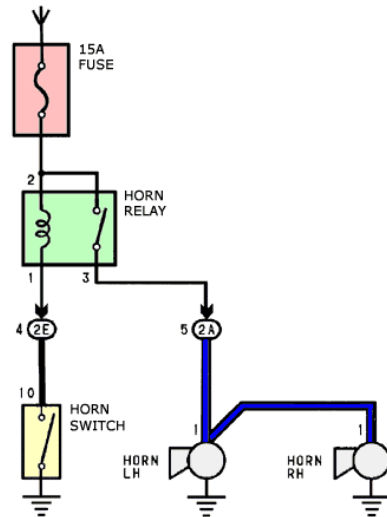
Selanjutnya, aplikasi solenoid yang lebih luas diilustrasikan dalam gambar sebagai berikut.



Gambar 5.8 Aplikasi solenoid pada kendaraan [31]

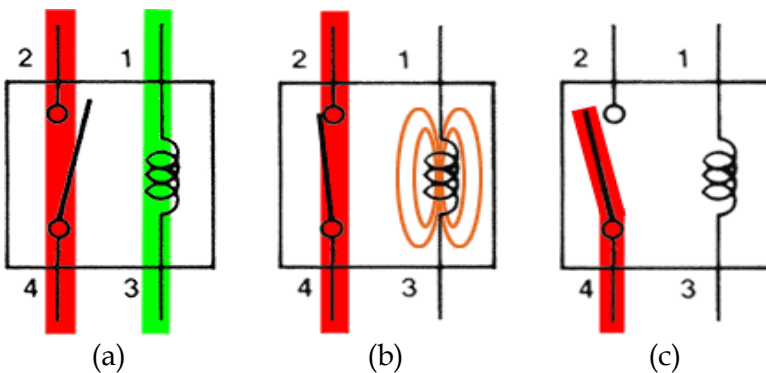


Gambar 5.11 Beberapa jenis relay dan konstruksi umumnya



Gambar 5.12 Penggunaan relay untuk kontrol arus klakson

Semua relay beroperasi menggunakan prinsip dasar yang sama. Sebagai contoh, relay 4 - pin adalah yang umum digunakan. Relay memiliki dua sirkuit, yaitu sirkuit kontrol (ditunjukkan dalam warna hijau) dan sirkuit beban (ditunjukkan dalam warna merah). Rangkaian kontrol memiliki koil kontrol kecil sedangkan rangkaian beban memiliki saklar. Kumparan mengendalikan pengoperasian saklar.

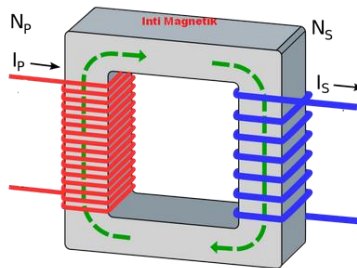


Gambar 5.13 Relay empat pin: (a) arus kontrol dan arus utama, (b) relay aktif, dan (c) relay tidak aktif

Arus yang mengalir melalui kumparan rangkaian kontrol (pin 1 dan 3) menciptakan medan magnet kecil yang menyebabkan saklar tertarik, pin 2 dan 4 terhubung. Saklar, yang merupakan bagian dari rangkaian beban, digunakan untuk mengendalikan rangkaian listrik arus besar. Saat arus kendali dihilangkan, pegas akan menarik saklar untuk membuka ke posisi awal.

5.1.3. Transformator

Transformator adalah suatu komponen yang dipakai untuk mentransfer energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya menggunakan induksi electromagnetic. Sebuah transformator terdiri dari dua grup coil yang digulungkan ke inti besi yang terbungkus, yaitu *primary coil* dan *secondary coil*.

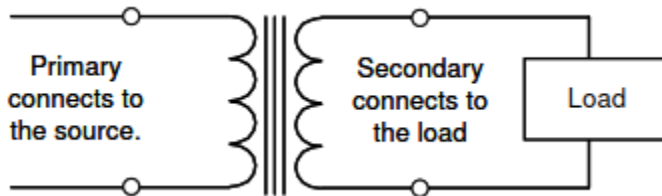


Gambar 5.14 Konsep transformator

Energi pada *secondary coil* adalah hasil dari perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh *primary coil*. Prinsip kerja transformator sama pada pembangkitan *electromotive force*, bedanya pada transformator tidak adanya gerakan fisik. Sebagai gantinya, medan magnet bisa naik dan turun menggantikan gerakan. *Primary coil* membangkitkan medan magnet secara naik-turun (*self induction*) yang memotong konduktor di dalam *secondary coil*. Kemudian, *secondary coil* mempunyai tegangan yang dibiaskan oleh reaksi elektrikal

dari *primary coil*. Prinsip ini disebut dengan *mutual induction* (induksi bersama).

Fungsi transformator adalah untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Oleh karena itu, tegangan akan dinaikkan atau diturunkan adalah berdasarkan rasio jumlah lilitan pada *secondary coil* terhadap *primary coil*. Semakin besar rasionya, semakin besar pula beda tengangan yang dihasilkan.



Gambar 5.15 *Primary coil dan secondary coil*

Dalam transformator berlaku sebuah persamaan matematik sebagai berikut.

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Dimana:

E_p = tegangan pada *primary coil*

E_s = tegangan pada *secondary coil*

N_p = banyaknya lilitan pada *primary coil*

N_s = banyaknya lilitan pada *secondary coil*

Transformator Step-Up

Step-up berfungsi untuk menaikkan atau memperbesar tegangan bolak-balik suatu sumber. Ciri-ciri dari transformator ini adalah:

- Tegangan pada kumparan sekunder lebih besar dari tegangan pada kumparan primer $E_s > E_p$
- Jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih banyak dari kumparan primer $N_s > N_p$
- Arus pada kumparan primer lebih besar dari arus listrik pada kumparan sekunder $I_p > I_s$

Transformator Step-Down

Step-down berfungsi untuk menurunkan atau memperkecil tegangan bolak balik dari suatu sumber. Ciri-ciri *step down* adalah kebalikan dari *step up*, yaitu $E_p > E_s$; $N_p > N_s$; dan $I_p < I_s$.

Efisiensi Transformator

Efisiensi adalah nilai yang menyatakan perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}). Nilai efisiensi transformator dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \cdot 100\%$$

dimana :

η = Efisiensi transformator (%)

P_s = daya pada *secondary coil* (W)

P_p = daya pada *primary coil* (W)

I_s = kuat arus pada *secondary coil* (A)

I_p = kuat arus pada *primary coil* (A)

Apabila efisiensi sebuah transformator sama dengan 100% berarti daya listrik pada *primary coil* sama dengan daya listrik pada *primary coil*.

$$E_p \cdot I_p = E_s \cdot I_s$$

karena

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

maka

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

Transformator yang demikian disebut dengan transformator ideal. Apabila efisiensi transformator kurang dari 100% maka ada daya listrik yang hilang atau disebut rugi daya.

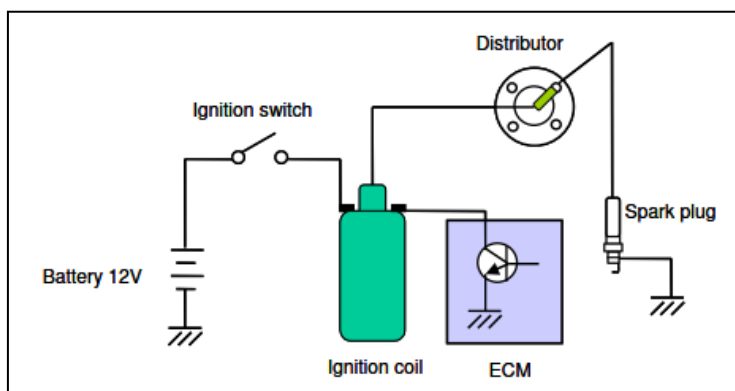
Transformator ini disebut transformator tidak ideal. Besarnya daya yang hilang dirumuskan

$$P_h = P_p - P_s$$

P_h = daya listrik yang hilang atau rugi daya (W)

Salah satu aplikasi transformator pada mobil adalah pada *ignition coil*. *Ignition coil* menghasilkan percikan tegangan tinggi untuk membakar campuran udara-bahan bakar dalam ruang bakar. Komponen ini memakai rasio N_s/N_p yang tinggi untuk mendapatkan tegangan sebesar 30,000 volt atau lebih yang mampu melompati celah busi.

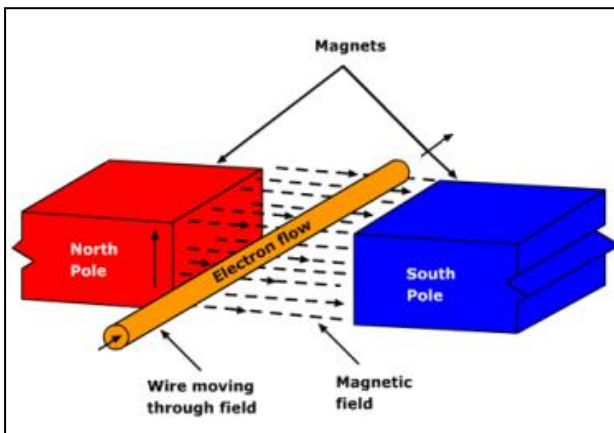
Mobil menggunakan arus tegangan searah atau DC sebesar 12V dari baterai. Gambar 5.16 menunjukkan suatu rangkaian pengapian pada kendaraan. Tegangan baterai 12V dihubungkan secara seri dengan *ignition switch* → ke *ignition coil* → kemudian ke distributor. Distributor secara bergiliran membuka dan menutup sirkuit melalui sebuah igniter. Reaksi tersebut menghasilkan getaran energi listrik yang mengalir ke coil, secara bergantian. Pulsa tersebut yang menaikkan dan menurunkan GGL dalam coil, kemudian menghasilkan reaksi transformator.



Gambar 5.16 Konsep transformator pada *ignition coil*

5.1.4. Generator

Bila sebuah konduktor digerakkan melintasi bidang magnet, maka di dalam konduktor tersebut terdapat *electromotive force* (EMF). Bila konduktor membentuk bagian sirkuit yang sangat dekat maka EMF yang dihasilkan akan mengalirkan arus mengelilingi sirkuit. Disini EMF dibiaskan ke dalam konduktor sebagai hasil dari gerakan melintasi bidang magnet. Efek dari reaksi tersebut dikenal sebagai induksi elektromagnet. Cara lain untuk mengetahui arah arus listrik adalah melalui aturan tangan-kanan yang ditemukan oleh Fleming.

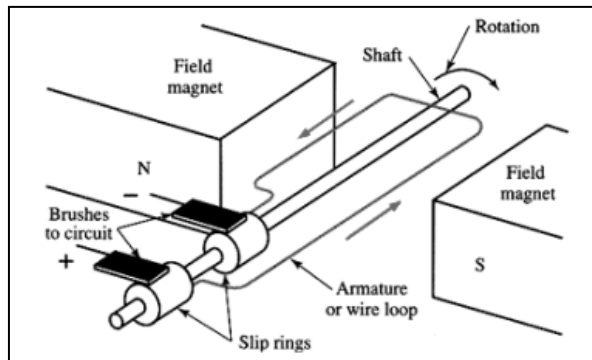


Gambar 5.17 Induksi magnet yang memotong konduktor melalui medan magnet

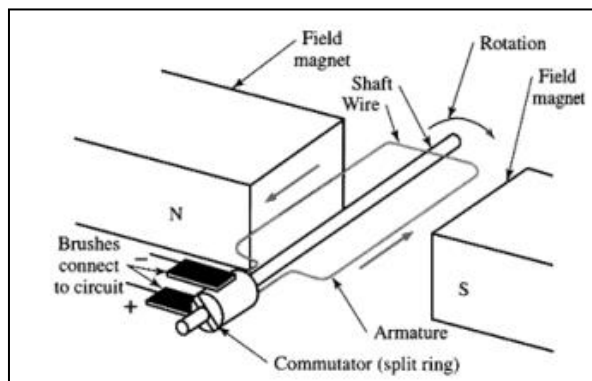
Generator adalah suatu komponen yang berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Perubahannya dapat dilihat pada Gambar 5.17. Revolusi coil (energi mekanis) dirubah ke arus induksi (energi listrik).

Perbedaan utama antara Generator AC dan DC adalah pada pemakaian *slip ring* di dalam generator AC dan pemakaian commutator (*split ring*) di dalam generator DC. Baik *slip ring* dan *split ring* gunanya adalah memberikan koneksi arus listrik dari armatur ke sirkuit beban generator. Dua buah *slip ring*

digunakan pada generator AC. *Slip ring* tersebut berfungsi untuk menjaga koneksi antara sirkuit armatur dan sirkuit bagian luar. Sedangkan pada generator DC, split ringnya terputus sehingga menghasilkan listrik setengah gelombang.

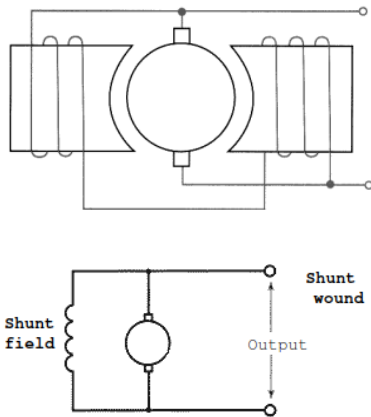


Gambar 5.18 Konsep generator AC

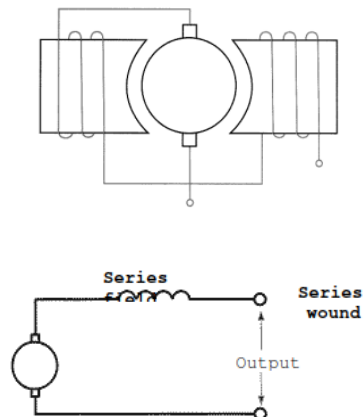


Gambar 5.19 Konsep generator DC

Secara umum, terlihat perbedaan secara konstruksi antara genarator AC dan DC. Generator AC memiliki stator berupa lilitan kabel yang tetap dan rotor berupa magnetnya. Jadi magnet berputar di sekitar kumparan. Sementara itu, generator DC memiliki kumparan yang berputar dengan magnet sebagai statornya.



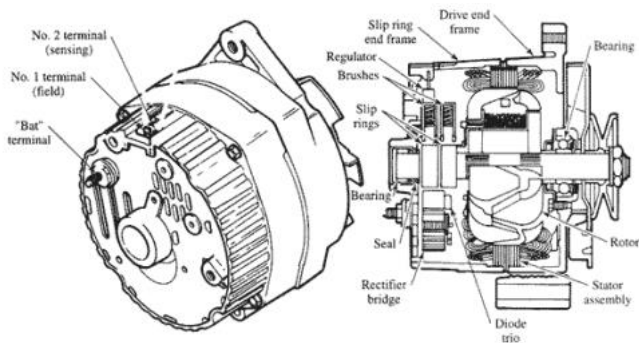
Gambar 5.20 Genarator Shunt



Gambar 5.21 Genarator Serie

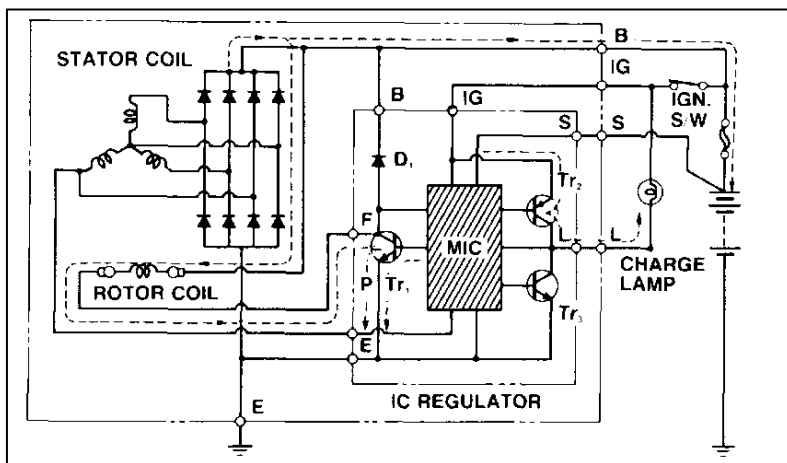
5.1.5. Alternator

Alternator dipakai untuk sistem pengisian pada semua kendaraan. Gambar 5.22 adalah bagian dalam dari alternator, termasuk di dalamnya *voltage regulator* untuk mengatur output. Output dari alternator disearahkan untuk pengisian baterai dan disuplai langsung komponen kelistrikan lainnya. Alternator mempunyai beberapa keuntungan dibanding generator DC. Keuntungan ini termasuk output yang lebih besar pada kecepatan rendah.



Gambar 5.22 Alternator

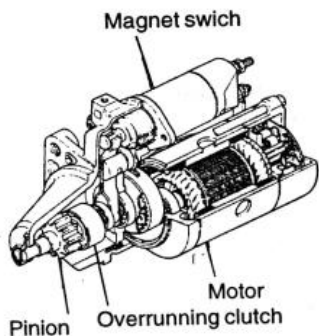
Alternator memiliki tiga bagian utama yaitu rotor, stator, dan rectifier. **Rotor (field coil)** menghasilkan medan magnet. Saat rotor digerakkan oleh putaran pulley, arus mengalir dari *brushes*, melalui *slip ring*, ke *field coil*. Rotor mendapat aliran listrik, kemudian menjadi kutub magnet. **Stator** menghasilkan gaya gerak listrik (*electromotive force*) karena dipengaruhi oleh *rotor core*. Listrik yang dibangkitkan oleh stator dialirkan ke *rectifier*. *Rectifier* berfungsi untuk menyearahkan output stator AC menjadi DC.



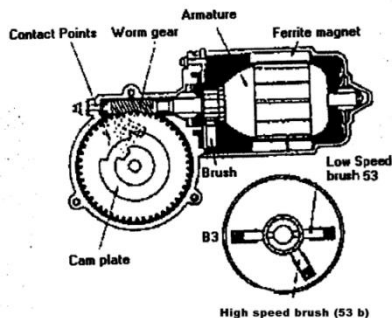
Gambar 5.23 Skema kerja alternator

5.1.6. Motor DC

Selain beberapa komponen yang telah dijelaskan diatas, konsep elektromagnetik pada otomotif juga digunakan pada motor DC. Ada dua jenis motor DC, yaitu stator dengan magnet permanen seperti yang digunakan untuk motor wiper dan stator dengan magnet listrik seperti yang digunakan untuk motor starter. Konsep kerja motor DC adalah kebalikan dari generator DC.



Gambar 5.24 Motor DC dengan magnet listrik



Gambar 5.25 Motor DC dengan magnet permanen

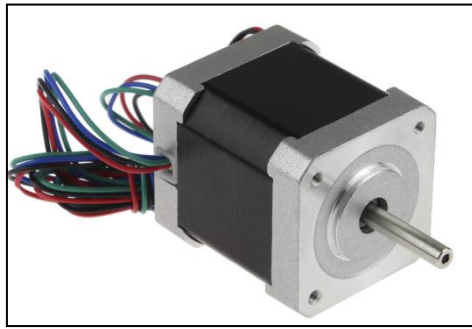
Saat ini, motor DC pada aplikasi otomotif telah digunakan secara luas diantaranya pada pompa bahan bakar, motor kipas radiator, motor kipas condenser AC, motor blower evaporator, motor penggerak power windows, sampai pada motor DC kecil untuk pompa washer, dan lain-lain.

5.1.7. Motor Stepper

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkannya diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Penggunaan motor stepper memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC biasa [32]. Keunggulannya antara lain adalah :

1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.

4. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran).
5. Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.



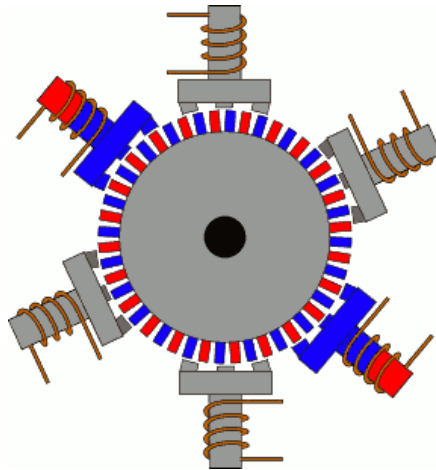
Gambar 5.26 Motor stepper

Motor stepper merupakan perangkat pengendali yang mengkonversikan bit-bit masukan menjadi posisi rotor. Bit-bit tersebut berasal dari terminal-terminal input yang ada pada motor stepper yang menjadi kutub-kutub magnet dalam motor. Bila salah satu terminal diberi sumber tegangan, terminal tersebut akan mengaktifkan kutub di dalam magnet sebagai kutub utara dan kutub yang tidak diberi tegangan sebagai kutub selatan. Dengan terdapatnya dua kutub di dalam motor ini, rotor di dalam motor yang memiliki kutub magnet permanen akan mengarah sesuai dengan kutub-kutub input. Kutub utara rotor akan mengarah ke kutub selatan stator sedangkan kutub selatan rotor akan mengarah ke kutub utara stator.

Prinsip kerja motor stepper mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet. Bila motor DC memiliki magnet tetap pada stator, motor stepper mempunyai magnet tetap pada rotor. Adapun spesifikasi dari

motor stepper adalah banyaknya fasa, besarnya nilai derajat per step, besarnya volt tegangan catu untuk setiap lilitan, dan besarnya arus yang dibutuhkan untuk setiap lilitan.

Motor stepper tidak dapat bergerak sendiri secara kontinyu, tetapi bergerak secara diskrit per-step sesuai dengan spesifikasinya. Untuk bergerak dari satu step ke step berikutnya diperlukan waktu dan menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Salah satu karakteristik motor stepper yang penting yaitu adanya torsi penahan, yang memungkinkan motor stepper menahan posisinya yang berguna untuk aplikasi motor stepper dalam yang memerlukan keadaan start dan stop.



Gambar 5.27 Konsep motor stepper [33]

Tegangan input

Tiap motor stepper mempunyai tegangan rata-rata yang tertulis pada tiap unitnya atau tercantum pada datasheet masing-masing. Tegangan rata-rata ini harus diperhatikan dengan seksama karena bila melebihi dari tegangan rata-rata ini akan menimbulkan panas yang menyebabkan kinerja putarannya tidak maksimal atau bahkan motor stepper akan rusak dengan sendirinya.

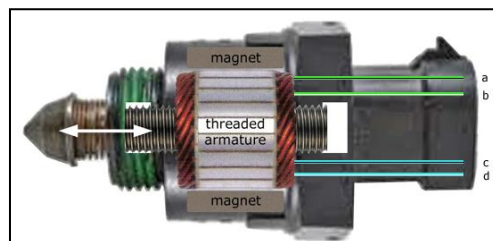
Resistansi

Resistansi per lilitan adalah karakteristik yang lain dari motor stepper. Resistansi ini akan menentukan arus yang mengalir, selain itu juga akan mempengaruhi torsi dan kecepatan maksimum dari motor stepper.

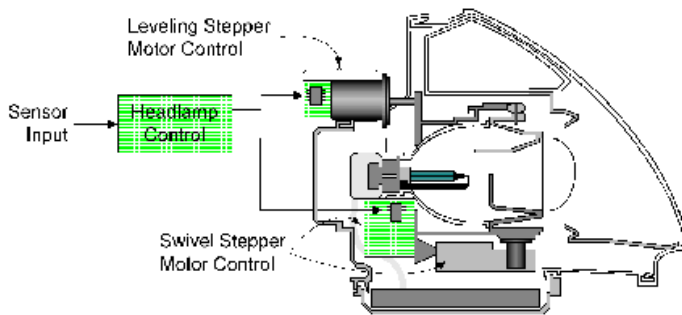
Derajat per step

Besarnya derajat putaran per step adalah parameter terpenting dalam pemilihan motor stepper karena akan menentukan ukuran langkah gerakan yang paling kecil (resolusi). Tiap-tiap motor stepper mempunyai spesifikasi masing-masing, antara lain 0.72° per step, 1.8° per step, 3.6° per step, 7.5° per step, 15° per step, dan bahkan ada yang 90° per step. Dalam pengoperasiannya kita dapat menggunakan 2 prinsip yaitu full step atau half step. Dengan full step berarti motor stepper berputar sesuai dengan spesifikasi derajat per stepnya, sedangkan half step berarti motor stepper berputar setengah derajat per step dari spesifikasi motor stepper tersebut.

Aplikasi motor stepper pada kendaraan diantaranya pada *Idle Speed Control (ISC) Valve* dan pengatur ketinggian lampu depan.



Gambar 5.28 Motor stepper untuk *ISC valve*



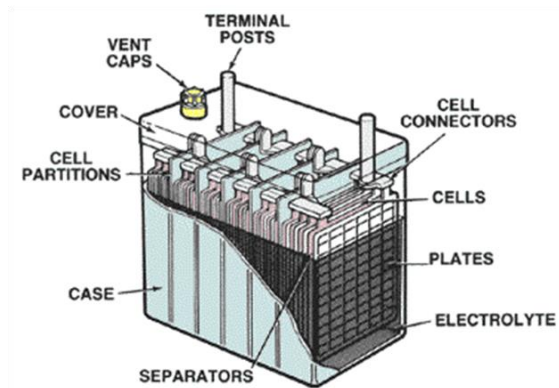
Gambar 5.29 Motor stepper untuk *head lamp auto adjuster*

5.6. Elektrokimia

5.6.1. Baterai Lead acid

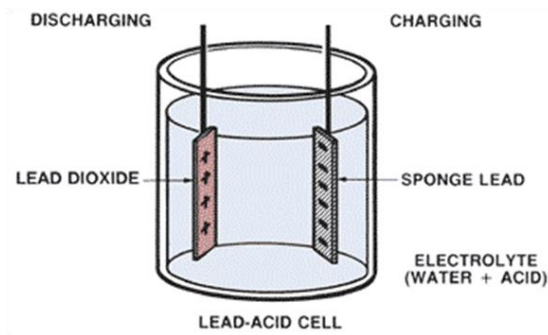
Selain secara elektromagnetik, listrik pada kendaraan juga diperoleh dari proses elektrokimia pada baterai. Baterai lead-acid adalah perangkat elektrokimia yang menghasilkan tegangan dan memberikan arus listrik. Baterai adalah "sumber" utama energi listrik yang digunakan di kendaraan saat ini. Penting untuk diingat bahwa baterai tidak menyimpan listrik, melainkan menyimpan serangkaian bahan kimia, dan melalui proses kimia itulah listrik diproduksi. Pada dasarnya, dua jenis timbal dalam campuran asam bereaksi untuk menghasilkan tegangan listrik. Reaksi elektrokimia ini mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan merupakan dasar untuk semua baterai otomotif.

Baterai mobil mengandung elektrolit asam sulfat encer dan beberapa pelat elektroda positif dan negatif. Karena pelat terbuat dari bahan timbal, jenis baterai ini sering disebut baterai asam timbal (lead-acid). Baterai dipisahkan menjadi beberapa sel (biasanya enam untuk baterai mobil), dan di setiap sel terdapat beberapa elemen baterai, semua dicelupkan dengan larutan elektrolit.



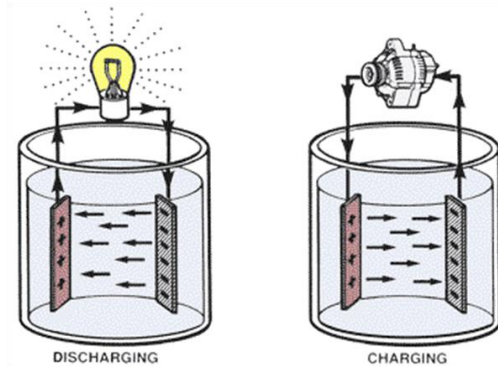
Gambar 5.30 Konstruksi baterai

Dua logam berbeda yang ditempatkan dalam bak asam menghasilkan potensial listrik di kutub-kutubnya. Sel menghasilkan tegangan dengan reaksi kimia antara pelat dan elektrolit. Plat positif terbuat dari bahan Lead Dioxide (PbO_2) sedangkan plat negatifnya terbuat dari bahan Sponge Lead (PB).



Gambar 5.31 Elektroda baterai

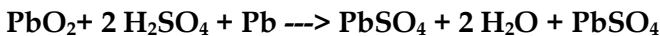
Baterai menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia. Melalui proses reaksi kimia, baterai membangkitkan dan melepaskan listrik sesuai kebutuhan oleh sistem atau perangkat listrik. Karena baterai kehilangan energi kimianya dalam proses ini, baterai harus diisi ulang oleh alternator. Dengan membalik aliran arus listrik pada baterai, proses kimia dibalik, sehingga terjadi pengisian daya baterai. Siklus pemakaian dan pengisian diulang terus menerus dan disebut "battery cycling".



Gambar 5.32 Siklus pengosongan dan pengisian baterai

Reaksi Kimia Pada Saat Discharging

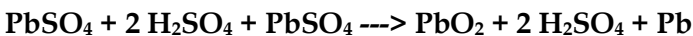
Yang dimaksud discharging adalah penggunaan isi (kapasitas) baterai. Reaksi kimia yang terjadi ialah:



Pada akhir discharging, plat positif dan plat negatif akan menjadi PbSO_4 dan elektrolitnya akan menjadi H_2O .

Reaksi Kimia Pada Saat Recharging

Yang dimaksud recharging adalah proses pengisian baterai. Reaksi kimia yang terjadi ialah:



Akhir dari proses recharging ini, plat positif kembali menjadi PbO_2 dan plat negatifnya Pb , sedangkan elektrolit kembali terbentuk menjadi H_2SO_4 .

Berat jenis adalah salah satu parameter untuk sebuah kapasitas baterai. Sebuah "Hydrometer" atau "Refractometer" membandingkan berat elektrolit dengan air. Elektrolit dalam baterai yang terisi lebih kuat dan lebih berat daripada elektrolit dalam baterai bekas. Elektrolit dalam baterai terisi penuh adalah sekitar 36% asam dan 64% air. Berat jenis air adalah 1.000, dan berat jenis asam sulfat adalah 1,835, yang berarti asam 1,835 kali lebih berat daripada air. Berat jenis elektrolit untuk baterai penuh adalah 1,270.

Selain baterai lead-acid, saat ini telah banyak digunakan *sealed battery* (*free maintenance battery*). Keuntungan utama dari *sealed battery* adalah tidak memancarkan gas korosif selama penggunaan atau pengisian. Tidak seperti baterai basah, *sealed battery* tidak akan menumpahkan asam. *Sealed battery* tidak memiliki tutup yang dapat dilepas yang memungkinkan Anda mengisi kembali elektrolit. Namun, *sealed battery* memiliki katup pengatur tekanan aktif yang terbuka hanya jika terjadi *overheating*. Baik baterai lead-acid maupun *sealed battery*, dalam kendaraan adalah sama, mereka berfungsi untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik.

5.6.2. Baterai *Maintenance Free* (MF)

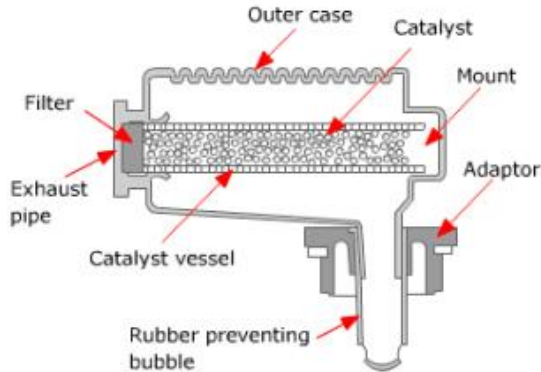
Baterai MF (*Maintenance Free*) juga adalah *lead-acid battery* hasil pengembangan dari baterai biasa untuk melindungi agar elektrolit tidak berkurang karena reaksi gas yang dibangkitkan dari *self-discharge* atau reaksi kimia, dan mengurangi proses perawatan dan pemeriksaan. Keunggulan battery MF adalah sebagai berikut [34]:

- Tidak perlu melakukan pemeriksaan atau mengganti air sulingan.
- Self-discharge sangat kecil.
- Dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama.

Perbedaan mendasar antara baterai MF dan baterai biasa adalah pada material, metode pembuatan dan bentuk grid. Material untuk grid adalah campuran lead-antimony yang mempunyai antimony (Sb) sedikit atau campuran lead-calcium. Antimony, digunakan pada grid baterai biasa, bahan ini digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanis pada grid dan agar proses pembuatan oleh pabrik menjadi lebih mudah.

Baterai MF terbuat dari bahan campuran terdiri dari sedikit antimony atau lead-calcium, maka pengurangan elektrolit dan self-discharge akan terhindari. Metode pembuatan untuk grid

adalah dengan membuat susunan pelat besi melalui proses mekanikal seperti tempaan lembaran baja, sehingga kualitas dan produktivitasnya meningkat. Dengan memakai sebuah catalyst plug untuk memisahkan oxygen dan hydrogen ke air suling, tidak perlu ada lagi penambahan air suling pada baterai MF.



Gambar 5.33 Struktur catalyst plug



Gambar 5.34 Baterai biasa (kiri) dan baterai MF (kanan)

5.7. Evaluasi

1. Dengan sebuah gambar yang dilengkapi dengan aturan fleming, jelaskan kembali konsep kerja solenoid dan relay.
2. Gambarkan dan jelaskan masing-masing dari relay N.O dan N.C, serta beberapa aplikasinya pada kendaraan.

3. Sebuah tranformator memiliki 1.000 lilitan pada *secondary coil* dan 120 lilitan pada *primary coil*. Jika tegangan pada *primary coil* adalah 80V, berapakah tegangan maksimal yang bisa dibangkitkan pada *secondary coil*?
4. Pada transformator tidak ideal, daya listrik primer 840 watt dan sekunder 500 watt. berapa rugi daya dari transformator dan efisiensi transformator tersebut?
5. Dengan sebuah gambar, jelaskan perbedaan antara generator AC dan generator DC.
6. Lakukan observasi pada sebuah mobil, lakukan identifikasi terhadap motor-motor DC yang ada. Kemudian, buatlah tabel yang membedakan karakteristik antara satu motor DC dengan yang lainnya.
7. Jelaskan bagaimana sebuah motor stepper dapat mengatur jumlah aliran udara pada ISC valve dan dapat mengatur ketinggian sorot *head lamp*.
8. Carilah grafik hubungan antara berat jenis elektrolit baterai terhadap kapasitas baterai, jelaskan hubungan antara baterai penuh dan baterai kosong terhadap nilai berat jenisnya.

BEE-06



Semikonduktor dan Tranduser

6.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

- BEE-K-06-01 Menjelaskan konsep dasar kerja komponen semikonduktor
- BEE-K-06-01 Menjelaskan konsep dasar kerja komponen tranduser/sensor

Skill Objectives:

- BEE-S-06-01 Melakukan prosedur pemeriksaan komponen semikonduktor
 - BEE-S-06-02 Melakukan prosedur pemeriksaan tranduser/sensor
 - BEE-S-06-03 Menyusun makalah review teknologi tentang semikonduktor dan tranduser
-

6.2. Pendahuluan

Kendaraan modern telah menggantungkan pada pemakaian komponen semikonduktor dan tranduser untuk kontrol mesin, suspensi, air bag, sirkuit pengaman, dan lain-lain seperti pada Engine Management System (EMS), Antilock Brake System (ABS), Transmission Control System (TCS), SRS airbag, instrumentation system, Body Control Module (BCM).

Mengingat banyaknya penggunaan komponen semikonduktor dan transduser pada peralatan-peralatan kontrol tersebut, sangat penting bagi para teknisi untuk mempelajari dasar elektronika dan material aktif, sehingga bisa melakukan perbaikan dan perawatan pada kendaraan secara cepat dengan logika benar. Para teknisi, harus mempunyai pengetahuan teori dasar elektronika, transduser, komponen-komponennya, dan penerapannya pada kendaraan.

Jika dalam rangkaian listrik arus kuat, membahas fungsi konduktor dan isolator, pada komponen micro-control, bahan semikonduktor memegang peranan penting, sesaat dia menjadi konduktor, dan pada kepentingan lain menjadi isolator yang sangat baik. Diantara material konduktor dan isolator ada yang tidak tergolong kedalam keduanya yang disebut dengan semikonduktor (Lihat sub bab 1.6). Material itu antara lain germanium dan silikon yang digunakan dalam pembuatan dioda dan transistor.

Semikonduktor dapat menjadi konduktor atau nonkonduktor tergantung dari kondisinya (hubungan antara tegangan, arus listrik, temperatur dan sebagainya). Element utama yang paling banyak digunakan adalah silikon (Si) dan germanium (Ge). Konduktor yang tingkat kemurniannya tinggi disebut dengan intrinsic semikonduktor. Silikon dan germanium mempunyai empat elektron valensi. Yaitu struktur kristal elektron, bentuknya menjadi atom yang memiliki empat elektron dengan pasangan atomnya. Karena ikatan pasangannya, material ini menjadi isolator listrik dan memiliki nilai listrik kecil, sehingga tidak dapat digunakan sendiri sebagai material semikonduktor. Oleh karena itu bahan ini digunakan sebagai bentuk semikonduktor impurity dengan menambahkan sedikit element atom lain pada intrinsic atom ini.

Semikonduktor umumnya terdiri dari dua bentuk. Yaitu intrinsic semikonduktor yang berisi impurity di dalam material

kristalnya dan impurity semikonduktor yang perlu penambahan impurity ke dalam intrinsic semikonduktor agar konduktivitasnya meningkat. Secara umum dioda dan transistor termasuk dalam semikonduktor impurity. Semikonduktor impurity juga dikelompokkan dalam dua bagian yaitu tergantung dari penambahan impurity materialnya. Fungsi material impurity di dalam semikonduktor adalah untuk:

- Menambahkan jumlah elektron bebas di dalam semikonduktor, dan
- Menambah hole di dalam semikonduktor.

Jadi diantara semikonduktor impurity, yang impurity-nya ditambah untuk menambah elektron bebasnya disebut dengan negatif semikonduktor, dan penambahan impurity dengan menambah hole disebut dengan positif semikonduktor.

Selain semikonduktor, saat ini *Engine Management System* juga membutuhkan banyak transduser. Transduser berasal dari kata “transducere” dalam bahasa Latin berarti mengubah. Sehingga transduser dapat didefinisikan sebagai suatu piranti yang dapat mengubah suatu energi ke bentuk energi yang lain. Dari sisi pola aktivitasnya, transduser dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Transduser pasif, yaitu transduser yang dapat bekerja bila mendapat energi tambahan dari luar, contohnya adalah thermistor. Untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik yaitu tegangan listrik, maka thermistor harus dialiri arus listrik. Ketika hambatan berubah karena pengaruh panas maka tegangan listrik dari thermistor juga berubah.
2. Transduser aktif, yaitu transduser yang bekerja tanpa tambahan energi dari luar, tetapi menggunakan energi yang akan diubah itu sendiri. Contoh transduser aktif adalah termokopel. Ketika menerima panas, termokopel langsung menghasilkan tegangan listrik tanpa membutuhkan energi dari luar.

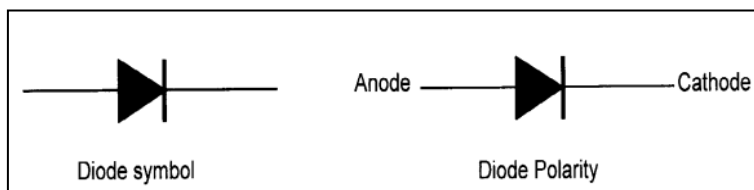
Untuk itu, bab ini akan membahas komponen-komponen semikonduktor dan transduser yang dirangkum dari beberapa sumber [35]–[38].

6.3. Dioda

Dioda adalah bagian komponen semikonduktor yang berfungsi mengalirkan arus listrik dalam satu arah. Seperti telah dikatakan sebelumnya, semikonduktor disebut demikian berdasarkan ciri khasnya. Walaupun transistor juga termasuk dalam jenis semikonduktor, dioda secara khusus diperuntukan untuk arus listrik yang mengalir dalam satu arah.

Selain untuk menyearahkan arus, dioda banyak digunakan untuk fungsi lainnya sebagai berikut :

- Digunakan sebagai pendeteksi untuk menangkap signal frequency radio.
- Digunakan pada switch pengatur arus listrik ON/OFF
- Melindungi sirkuit.



Gambar 6.1 Simbol dioda

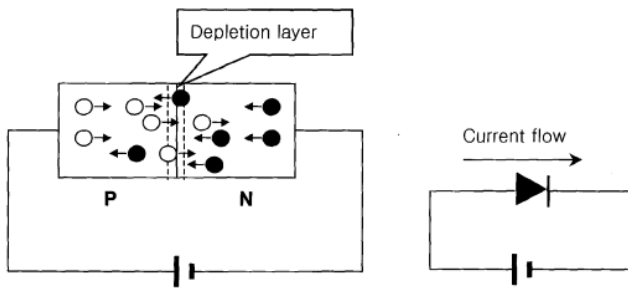


Gambar 6.2 Bentuk fisik dioda

6.3.1. Dioda Arah Maju

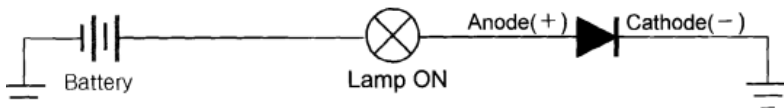
Dioda jenis ini dibuat dengan dua terminal pada kedua sisinya yaitu P-N junction semikonduktor dengan karakteristik mengalirkan arus listrik hanya dalam satu arah. Pada arah depan

sesuai dengan gambar dibawah, bila tegangan positif (+) dipasang pada semikonduktor jenis P dan tegangan negatif (-) dipasang pada semikonduktor tipe N, maka hole dan elektron berlawanan pada sumber listrik kemudian potensi pemisah perbedaan listrik rendah dan juga lapisan deplesi juga dikecilkan. Akibatnya hole dan electron memungkinkan bergerak bersebrangan melewati permukaan junction. Arus listrik mengalir bersamaan dengan pergerakan hole dan electron.



Gambar 6.3 Konsep dioda arah maju

Lampu dapat menyala karena dioda dihubungkan sesuai dengan arah arus listrik.

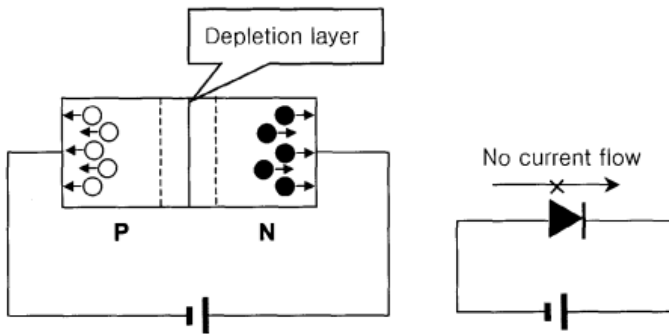


Gambar 6.4 Aplikasi dioda arah maju

6.3.2. Dioda Arah Mundur

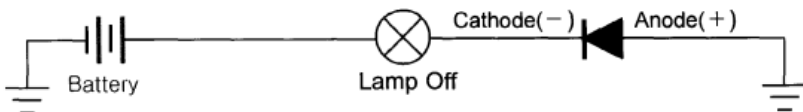
Mari kita lihat pemasangan arah tagangan negatif (-) pada semikonduktor tipe P dan tegangan positif (+) pada semikonduktor tipe N. Kemudian semikonduktor P di hubungkan dengan sumber tegangan negatif (-), sebaliknya semikonduktor N dihubungkan dengan sumber tegangan positif (+). Akibatnya pembatas potensial meningkat dan secara bersamaan lapisan deplesi juga melebar sehingga elektron tidak

dapat bergerak melewati antara kedua jenis semikonduktor. Akibatnya arus listrik tidak dapat mengalir.



Gambar 6.5 Konsep dioda arah mundur

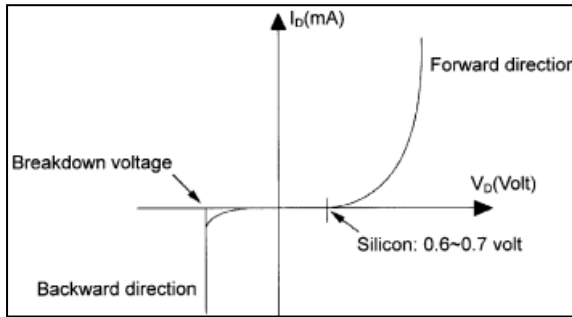
Lampu tidak menyala karena dioda dihubungkan berlawanan arah arus listrik seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 6.6 Aplikasi dioda arah mundur

6.3.3. Karakteristik Dioda

Karakteristik dioda dapat diketahui dengan cara sebagai berikut. Saat tegangan secara bertahap dinaikkan dari 0 V, maka arus listrik akan mengalir secara tiba-tiba sehingga menghasilkan tegangan khusus. Arus listrik dapat mengalir hanya bila tegangan yang diberikan kira-kira lebih dari 0.6~0.7 V. Bila tegangan diberikan dengan arah berbalik, maka arus listrik tidak dapat mengalir pada tegangan khusus yang lebih tinggi, tapi secara tiba-tiba mengalir pada tegangan tertentu. Tegangan pada kondisi ini disebut dengan tegangan breakdown. Dioda bisa rusak apabila dihubungkan dengan arah terbalik dan mendapat tegangan break down.



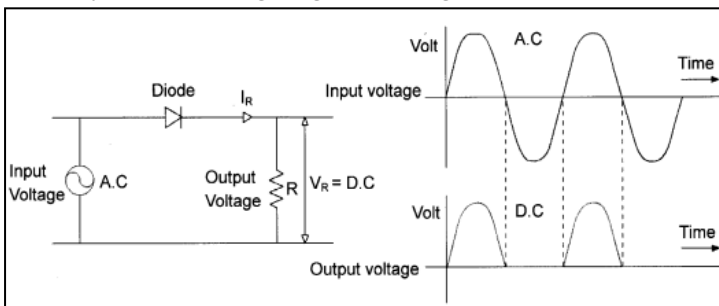
Gambar 6.7 Karakteristik dioda

6.3.4. Kerja Penyearah Dioda

Arus bolak balik dapat disearahkan dengan menggunakan karakteristik arus listrik dengan dioda yang hanya mengalir dalam satu arah. Sirkuit penyearah secara luas dikategorikan kedalam dua jenis yaitu sirkuit penyearah setengah gelombang dan sirkuit penyearah gelombang penuh.

1. Sirkuit penyearah setengah gelombang (*Half-wave rectifier circuit*)

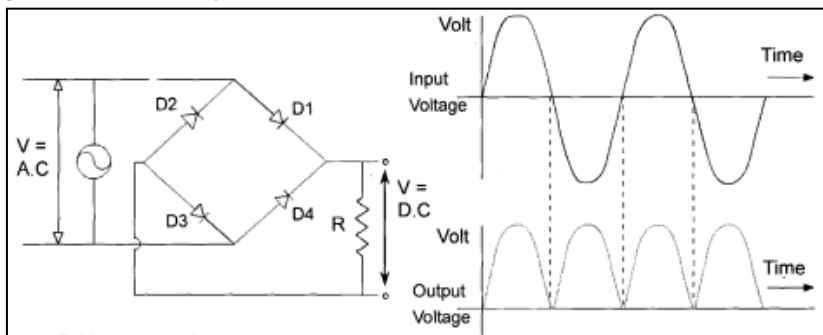
Sirkuit penyearah setengah gelombang bekerja sebagai berikut. Saat diberikan tegangan arus bolak-balik, pada saat tersebut sinyal positif (+) masuk, arus listrik mengalir kearah depan. Namun apabila sinyal yang masuk adalah negatif (-) maka arus listrik tidak dapat mengalir karena arahnya terbalik. Sirkuit yang hanya mengalirkan arus listrik dalam satu sisi disebut dengan sirkuit penyearah setengah gelombang.



Gambar 6.8 Sirkuit penyearah setengah gelombang

2. Sirkuit penyearah gelombang penuh (*Full-wave rectifier circuit*)

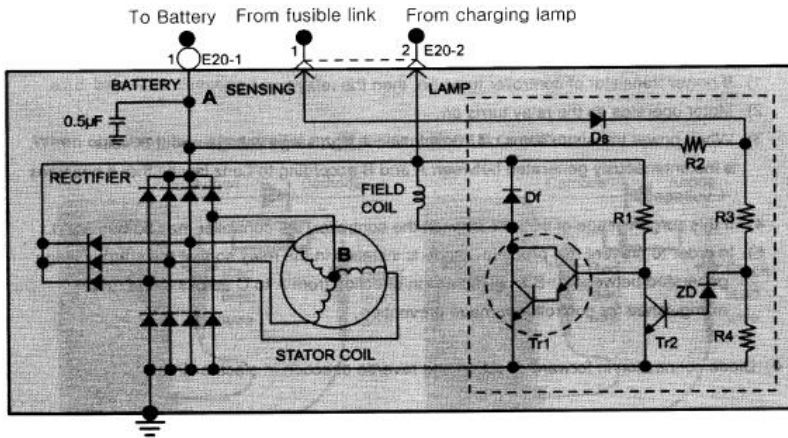
Berikutnya adalah sirkuit penyearah gelombang penuh yaitu saat diberikan arus bolak-balik, arus listrik akan mengalir melalui D1 dan D4 pada saat signal arus listrik setengah gelombang tersebut dirubah menjadi positive (+) sementara ketika arus setengah gelombang mengalir melalui D2 dan D3 adalah negatif (-). Jenis sirkuit yang mengalirkan arus listrik pada kedua sisinya setengah gelombang disebut sirkuit penyearah gelombang penuh. (Walaupun secara sederhana disini diperlihatkan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan perantara, ada juga penyearah gelombang penuh menggunakan transformer center tap, Sirkuit voltage rectifier ganda dan lainnya).



Gambar 6.9 Sirkuit penyearah gelombang penuh

6.3.5. Contoh Aplikasi Dioda

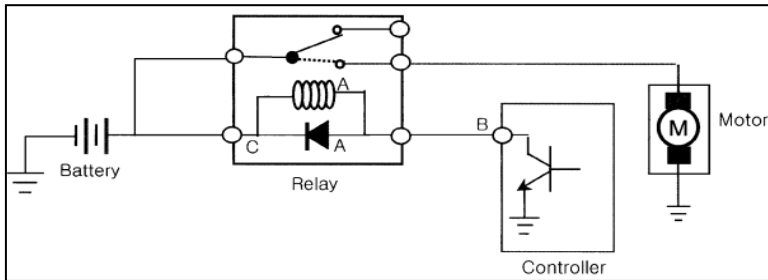
Contoh dioda yang digunakan pada kelistrikan mobil (Alternator rectifier) Tegangan AC yang dihasilkan dari stator coil dirubah menjadi tegangan DC melewati dioda.



Gambar 6.10 Rectifier alternator

Contoh lain adalah dioda dipasang pada relay untuk mencegah gaya balik atau *back electromotive*.

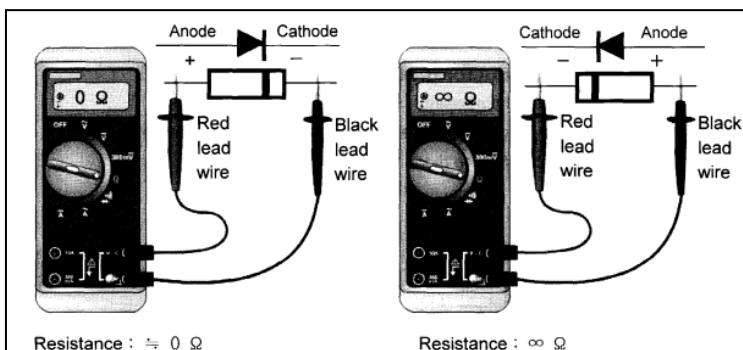
1. Saat power transistor ON, coil relay menjadi induksi electromagnetic.
2. Motor bekerja saat relay dipindah ke ON.
3. Bila power transistor OFF, tegangan tertingginya sekitar 80 volts yang dihasilkan secara instan antara terminal A dan B , dan sesuai dengan hukum Lenz maka tegangannya menjadi tegangan positif.
4. Bila tegangan tertinggi 80 volt tersebut mengalir pada controller maka akan mengakibatkan kerusakan pada controller tersebut.
5. Untuk mencegah hal tersebut, maka relay dipasang dioda untuk mengalihkan tegangan tinggi dari A-B ke A-C melewati dioda dan dinetralkan untuk mencegah kerusakan pada controller.



Gambar 6.11 Dioda untuk mencegah back alaectromotive

6.3.6. Memeriksa dioda menggunakan Digital Multi-Meter

1. Pilih mode sesuai dengan resistant dioda dengan memutar switch digital meter.
2. Disebut normal bila nilai resistansinya kecil saat probe kabel merah dihubungkan dengan dioda anode (+) dan probe kabel hitam dihubungkan dengan cathode (-).
3. Dan juga dikatakan bagus bila resistansinya besar bila pemasangan probe dibalik.
 - Kondisi short: normal bila nilai resistan mendekati 0 ohm saat diukur pada arah sesuai dengan arah arus listrik dan kebalikan arah arus listrik.
 - Kondisi Open: normal bila nilai resistan mendekati ohm takterhingga saat diukur dengan arah arus listrik dan kebalikan arah arus listrik.



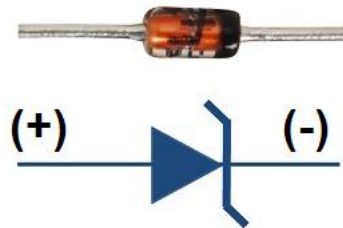
Gambar 6.12 Memeriksa dioda

6.4. Dioda Zener

6.4.1. Karakteristik Dioda Zener

Dioda Zener adalah perangkat semikonduktor silikon yang memungkinkan arus mengalir baik ke arah maju maupun sebaliknya. Dioda terdiri dari sambungan p-n khusus, dirancang untuk melakukan arah sebaliknya bila voltase tertentu tercapai.

Dioda Zener memiliki *breakdown voltage* terbalik yang terdefinisi dengan baik, di mana ia mulai menghantarkan arus, dan beroperasi terus menerus dalam mode bias balik tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, penurunan voltase dioda tetap konstan pada berbagai voltase, fitur yang membuat dioda Zener cocok untuk digunakan dalam regulasi voltase.

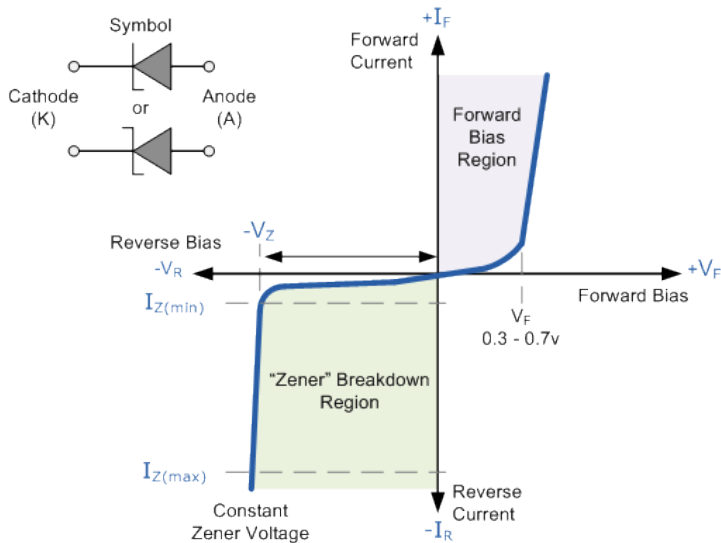


Gambar 6.13 Simbol dioda Zener

6.4.2. Cara Kerja Dioda Zener

Dioda Zener beroperasi seperti dioda normal saat berada dalam mode bias maju, dan memiliki voltase turn-on antara 0,3 dan 0,7 V. Namun, bila terhubung dalam mode terbalik, yang biasa dilakukan pada sebagian besar aplikasinya, sebuah Arus kebocoran kecil bisa mengalir. Seiring meningkatnya tegangan balik ke tegangan pemecah yang telah ditentukan sebelumnya (V_z), arus mulai mengalir melalui dioda. Arus meningkat sampai maksimum, yang ditentukan oleh resistor seri, setelah itu

stabil dan tetap konstan pada rentang tegangan terapan yang luas.



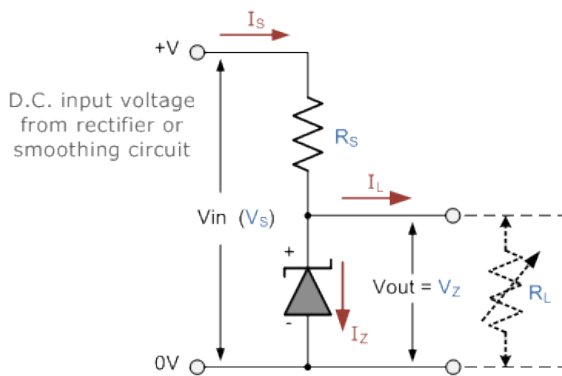
Gambar 6.14 Karakteristik I-V Dioda Zener

Dioda Zener digunakan dalam mode "reverse bias" atau *reverse breakdown*, yaitu anoda dioda terhubung ke suplai negatif. Dari kurva karakteristik I-V di atas, kita dapat melihat bahwa dioda zener memiliki suatu daerah dalam karakteristik bias terbaliknya hampir dengan tegangan negatif konstan, terlepas dari nilai arus yang mengalir melalui dioda dan tetap hampir konstan meski dengan perubahan besar pada arus yang melewati. Selama arus dioda zener tetap berada di antara arus pemecah $I_{Z(min)}$ dan nilai arus maksimum $I_{Z(max)}$.

Kemampuan mengendalikan diri ini dapat digunakan untuk mengatur atau menstabilkan sumber tegangan terhadap variasi pasokan atau beban. Kenyataan bahwa tegangan yang melewati dioda di "breakdown region" hampir konstan menjadi karakteristik penting dioda zener karena dapat digunakan pada jenis aplikasi pengatur voltase yang paling sederhana.

6.4.3. Dioda Zener Regulator

Zener Dioda dapat digunakan untuk menghasilkan output tegangan stabil dengan fluktuasi rendah pada kondisi arus beban yang bervariasi. Dengan melewati arus kecil melalui dioda dari sumber tegangan, melalui resistor pembatas arus yang sesuai (R_S), dioda zener akan mengalirkan arus yang cukup untuk mempertahankan penurunan voltase V_{out} .



Gambar 6.15 Dioda Zener regulator

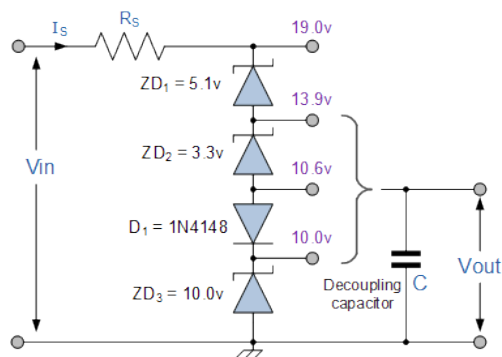
Resistor (R_S) dihubungkan secara seri dengan dioda zener untuk membatasi aliran arus melalui dioda dengan sumber tegangan (V_S). Tegangan yang distabilkan (V_{out}) diambil dari seluruh dioda zener. Dioda zener dihubungkan dengan terminal katoda yang terhubung ke positif suplai DC sehingga bias balik dan akan beroperasi dalam kondisi breakdown-nya. Nilai resistor (R_S) ditentukan sehingga membatasi arus maksimal yang mengalir di sirkuit.

Dengan tidak adanya beban yang terhubung ke sirkuit, arus beban akan menjadi nol, ($I_L = 0$), dan semua arus sirkuit melewati dioda zener yang pada gilirannya akan menghilangkan daya maksimumnya. Juga, nilai resistor seri (R_S) yang kecil akan menghasilkan arus dioda yang lebih besar saat resistansi beban R_L terhubung.

Beban dihubungkan secara paralel dengan dioda zener, sehingga tegangan pada R_L selalu sama dengan tegangan zener, ($V_R = V_Z$). Ada arus zener minimum yang stabilisasi voltasenya efektif dan arus zener harus tetap berada di atas nilai ini, yang beroperasi di bawah beban breakdown regionnya setiap saat. Batas atas arus tentu saja tergantung pada daya perangkat. Tegangan suplai (V_S) harus lebih besar dari (V_Z).

6.4.4. Dioda Zener Tegangan

Disamping mampu menghasilkan output tegangan stabil tunggal, dioda zener juga dapat dihubungkan bersamaan secara seri bersama dengan dioda sinyal silikon normal untuk menghasilkan berbagai nilai tegangan referensi yang berbeda seperti yang ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 6.16 Dioda zener tegangan

Nilai dari masing-masing dioda Zener dapat dipilih agar sesuai dengan aplikasi, sedangkan dioda silikon akan selalu turun sekitar 0,6 - 0,7 V dalam kondisi bias maju. Tegangan suplai (V_{in}) tentu saja harus lebih tinggi daripada tegangan referensi output terbesar dan pada contoh kita di atas ini adalah 19V.

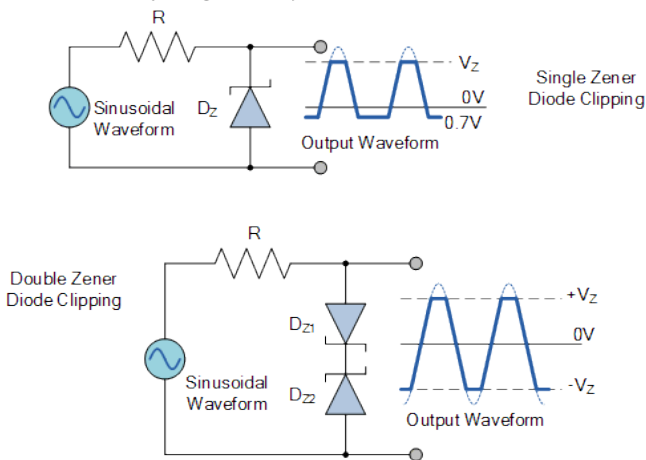
6.4.5. Dioda Zener Clipping

Sejauh ini kita telah melihat bagaimana sebuah dioda zener dapat digunakan untuk mengatur sumber DC konstan tapi

bagaimana jika sinyal inputnya tidak DC tapi bentuk gelombang AC, bagaimana dioda zener bereaksi terhadap sinyal yang terus berubah?

Dioda clipping dan clamping circuits adalah sirkuit yang digunakan untuk membentuk atau memodifikasi bentuk gelombang AC (sinusoid) yang menghasilkan bentuk gelombang bentuk berbeda, tergantung pada pengaturan rangkaian. Dioda clipper sirkuit juga disebut pembatas karena mereka membatasi atau klip-off positif (atau negatif) bagian dari sinyal AC masukan. Sebagai rangkaian clipping atau cut-off, zener digunakan untuk pengamanan sirkuit.

Misalnya, jika kita ingin meng cut-off bentuk gelombang keluaran di 7.5V, kita akan menggunakan dioda zener 7.5V. Jika bentuk gelombang keluaran mencoba melebihi batas 7.5V, dioda zener akan melakukan fungsi "cut-off" kelebihan tegangan dan menjaga output pada 7.5V. Perhatikan bahwa dalam kondisi bias maju, dioda zener masih dioda biasa dan ketika keluaran gelombang AC turun negatif di bawah -0,7V, dioda zener berubah "ON" seperti dioda silikon biasa dan memotong output pada -0.7V seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

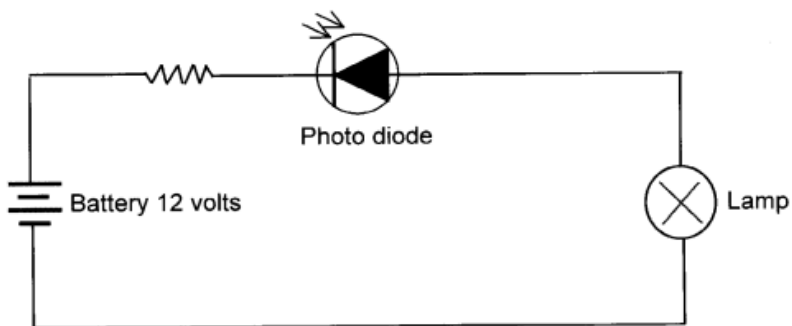


Gambar 6.17 Dioda zener clipping circuit

6.5. Photo Dioda

Pada photo dioda, arus listrik mengalir bila diberikan cahaya pada permukaan PN *junction surface* dimana anode dihubungkan dengan tegangan (+) dan cathode (-) dengan nilai tegangan tertentu. Dan bila tingkat cahaya dirubah, arus listrik berubah sesuai dengan banyaknya cahaya. Pembatas potensi listrik dibuat dalam permukaan PN junction dan menjadi lebih besar bila tegangan yang diberikan dibalik kemudian menjadi isolator.

Bila cahaya diberikan pada permukaan PN junction, perubahan terjadi pada permukaan junction. Secara spontan elektron dan hole diaktifkan oleh energi cahaya cukup lama dari luar, dengan positive (+) ion pada sisi N dan negative (-) ion pada sisi P. Hole dan elektron bebas dipisahkan dari gerakan spontan ion-ion kemudian arus listrik tersebut mengalir. Dioda tersebut digunakan pada sirkuit perubahan cahaya. Dimana bila tegangan yang diberikan tetap konstan, arus listrik mengalir pada sirkuit sesuai dengan kekuatan cahaya yang diterima oleh element.



Gambar 6.18 Penggunaan photo dioda pada saklar lampu otomatis

6.6. Light Emitting Diode (LED)

LED adalah jenis dioda yang paling terlihat, yang memancarkan bandwidth yang cukup sempit dari cahaya tampak pada

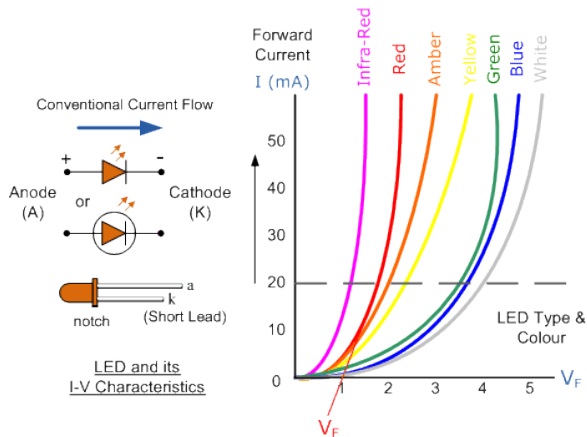
panjang gelombang warna yang berbeda, cahaya infra merah yang tak terlihat untuk kontrol jarak jauh atau cahaya jenis laser saat arus maju melewatinya. LED pada dasarnya hanyalah tipe dioda khusus karena memiliki karakteristik listrik yang sangat mirip dengan dioda PN junction. Ini berarti bahwa LED akan melewati arus ke arah maju namun menghalangi arus dalam arah sebaliknya.

Dioda pemancar cahaya dibuat dari lapisan yang sangat tipis dari bahan semikonduktor. Saat bias maju, sebuah LED akan memancarkan cahaya berwarna pada panjang gelombang spektral tertentu. Ketika dioda bias maju, elektron dari pita konduksi semikonduktor bergabung kembali dengan lubang dari pita valensi yang melepaskan energi yang cukup untuk menghasilkan foton yang memancarkan cahaya monokromatik (warna tunggal). Karena lapisan tipis ini sejumlah foton yang masuk akal dapat meninggalkan persimpangan dan memancarkan produksi yang menghasilkan cahaya berwarna.



Gambar 6.19 Konstruksi LED

Kemudian kita dapat mengatakan bahwa ketika dioperasikan dalam arah bias maju LED adalah perangkat semikonduktor yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya.



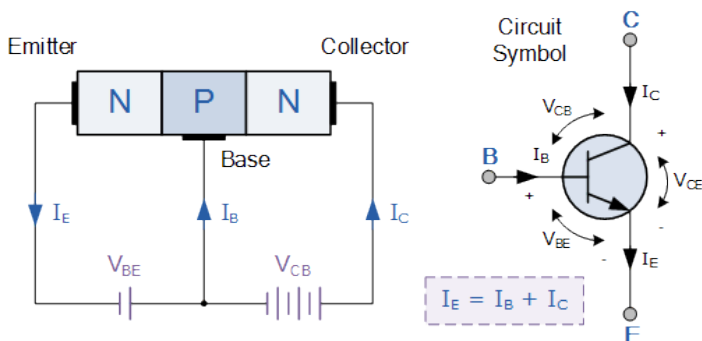
Gambar 6.20 Karakteristik I-V LED

6.7. Transistor

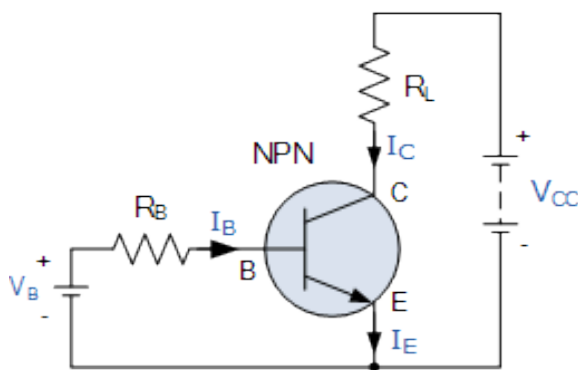
Dilihat dari namanya, transistor berfungsi untuk menyalurkan arus listrik yang besar dengan penggerak arus yang kecil. Transistor terdiri dari dua tipe yaitu; tipe transistor PNP, dimana lapisan tipe N semikonduktor dalam kristal semikonduktor telah disisipkan diantara dua semikonduktor tipe P. Sebaliknya transistor tipe NPN adalah lapisan semikonduktor tipe P disisipkan diantara dua semikonduktor tipe N. Untuk simbol semikonduktor, E adalah terminal emitter, B adalah terminal Basis dan C adalah terminal collector.

6.7.1. Transistor NPN

Konfigurasi transistor yang paling umum digunakan adalah Transistor NPN. Persimpangan transistor bipolar dapat menjadi bias dalam salah satu dari tiga cara yang berbeda - Common Base, Common Emitter dan Common Collector. Dalam sub bab ini, transistor bipolar akan dilihat lebih detail. Transistor NPN Bipolar dengan contoh konstruksi beserta karakteristik arus transistor diberikan sebagai berikut.

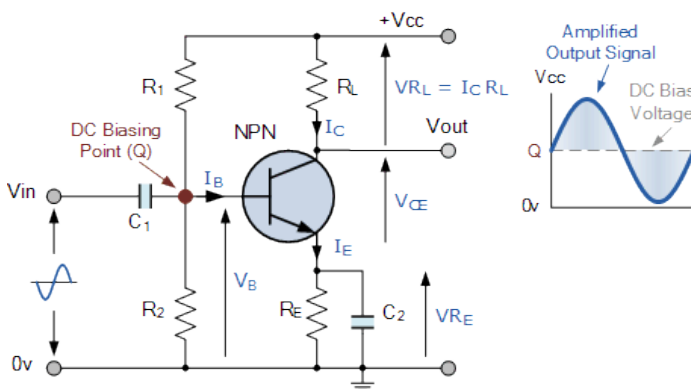


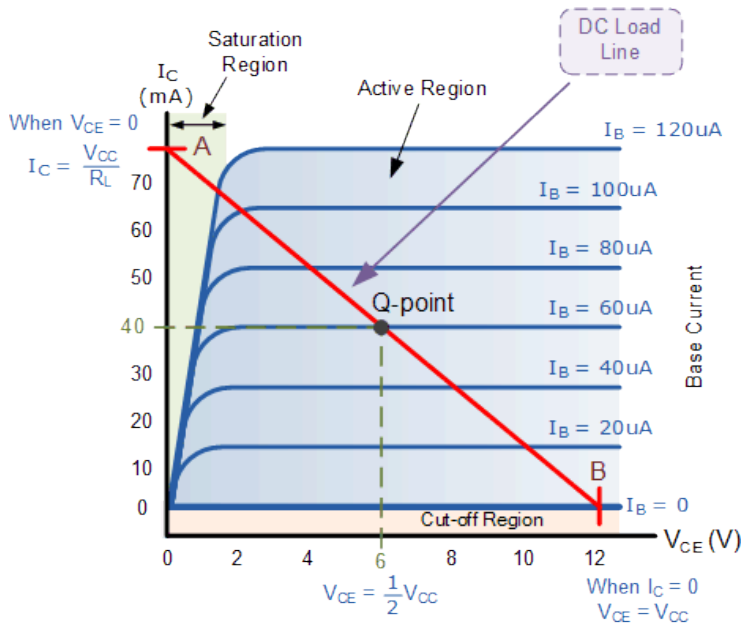
Gambar 6.21 Konfigurasi transistor NPN



Gambar 6.22 Koneksi transistor NPN

Contoh penggunaan transistor NPN adalah pada rangkaian penguat emiter satu tahap (*Single Stage Common Emitter Amplifier Circuit*).



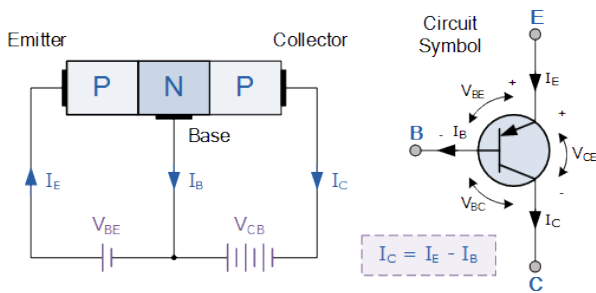


Gambar 6.23 Contoh penggunaan transistor NPN dan karakteristik output kurva transistor bipolar

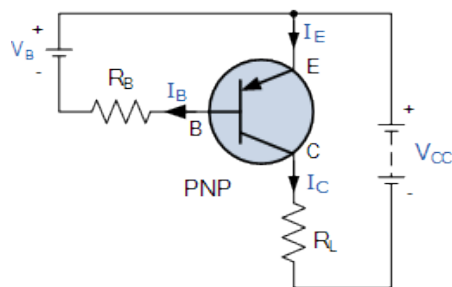
6.7.2. Transistor PNP

Pada dasarnya, transistor tipe PNP kebalikan dari NPN dengan konfigurasi Positif-Negatif-Positif, dengan panah yang juga mendefinisikan terminal Emitor yang mengarah ke dalam simbol transistor. Juga, semua polaritas untuk transistor PNP dibalik yang berarti "masuk" ke Base-nya sebagai lawan transistor NPN yang "sumbernya" mengalir melalui Base-nya. Perbedaan utama antara dua jenis transistor adalah bahwa hole adalah pembawa yang lebih penting untuk transistor PNP, sedangkan elektron merupakan pembawa penting transistor NPN.

Transistor PNP terdiri dari dua bahan semikonduktor tipe-P yang mengapit tipe-N, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 6.24 Konfigurasi transistor PNP



Gambar 6.25 Koneksi transistor PNP

Mengidentifikasi Transistor PNP

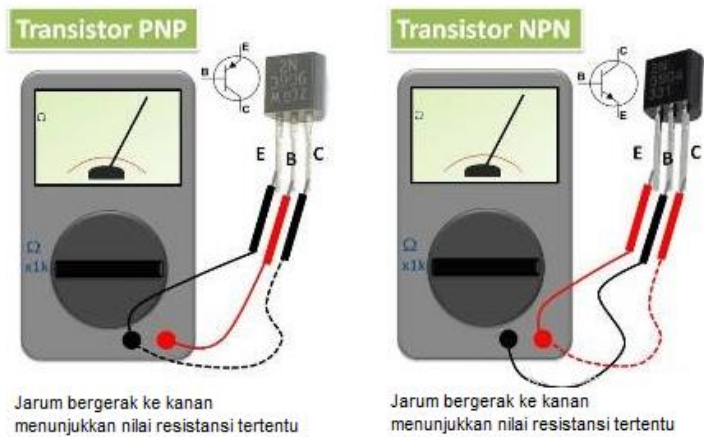
Transistor pada dasarnya terdiri dari dua dioda yang dihubungkan bersamaan dengan back-to-back. Kita dapat menggunakan analogi ini untuk menentukan apakah transistor tipe PNP atau tipe NPN dengan menguji Resistance antara tiga lead yang berbeda, Emitter, Base dan Collector. Dengan menguji setiap pasang transistor yang mengarah ke kedua arah dengan multimeter akan menghasilkan enam tes secara keseluruhan dengan nilai resistansi yang diharapkan pada Ohm yang diberikan di bawah ini.

1. Terminal Emitor-Base: Emitor ke Base harus bertindak seperti dioda normal dan hanya terhubung dalam satu arah saja.

- 2. Terminal Kolektor-Base: Kolektor-Base harus bertindak seperti dioda normal dan hanya terhubung dalam satu arah saja.
- 3. Terminal Emitter-Collector: Emitor-Kolektor tidak boleh terhubung ke arah manapun.

Between Transistor Terminals		PNP	NPN
Collector	Emitter	R_{HIGH}	R_{HIGH}
Collector	Base	R_{LOW}	R_{HIGH}
Emitter	Collector	R_{HIGH}	R_{HIGH}
Emitter	Base	R_{LOW}	R_{HIGH}
Base	Collector	R_{HIGH}	R_{LOW}
Base	Emitter	R_{HIGH}	R_{LOW}

Menguji Transistor dengan multimeter



Gambar 6.26 Menguji Transistor dengan multimeter

6.8. Integrated Circuit (IC)

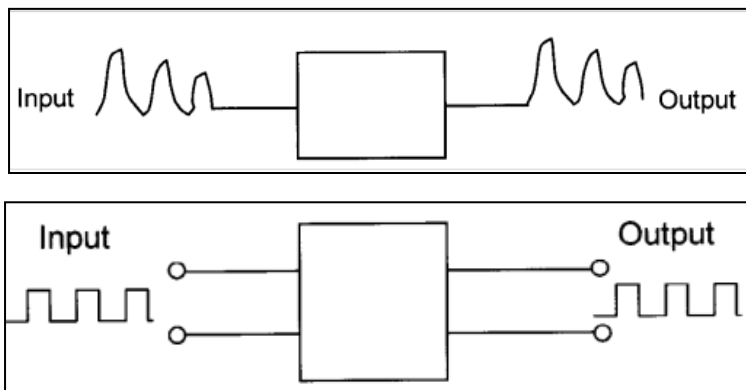
Integrated circuit umumnya terdiri dari beberapa komponen semikonduktor yang dirangkai mejadi satu dengan ukuran yang sangat kecil, atau IC terdiri dari beberapa ratus komponen

seperti resistors, transistor dan element-element lain yang dirakit dalam kesatuan yang utuh, dan berfungsi sebagai perangkat tunggal. Untuk membaca sirkuit yang menggunakan IC, akan sangat penting sekali untuk mengetahui kondisi kerja diagram atau tabel.

IC digolongkan berdasarkan skala Integrasinya :

- SSI (*Small Scale Integrated Circuit*) : kurang dari 100 element.
- MSI (*Medium Scale Integrated Circuit*) : 100 sampai 1,000 element.
- LSI (*Large Scale Integrated Circuit*) : 1,000 sampai 100,000 element.
- VLSI (*Very Large Scale Integrated Circuit*) : 100,000 atau lebih element.

IC juga digolongkan berdasarkan pemakaian dan strukturnya, yaitu IC analog dan IC digital. IC analog menguatkan atau mengontrol banyaknya pulsa analog (kwantitas secara terus-menerus). Output signal selalu berubah secara linier dengan signal input. Tipe IC ini kebanyakan digunakan dalam bentuk sirkuit analog. Sedangkan IC digital hanya melakukan peralihan saja (switching). Tergantung dari kondisi sinyal input ON/OFF, output-nya didapat sebagai sinyal switching ON/OFF.



Gambar 6.27 Karakteristik IC analog (atas) dan IC digital (bawah)

6.9. Thermistor

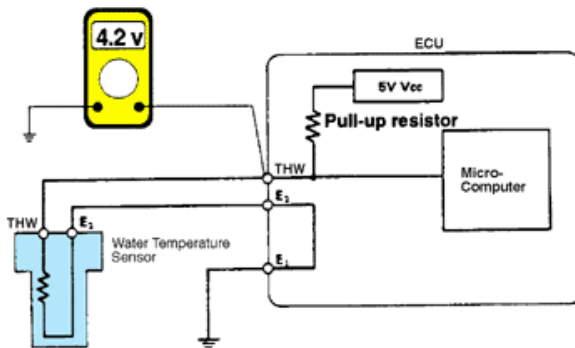
Thermistor adalah sensor temperatur yang cara kerjanya seperti resistor namun nilainya sensitif terhadap temperatur. Thermistor dapat digunakan untuk menghasilkan tegangan analog dengan variasi temperatur sekitar dan dengan demikian dapat disebut sebagai transduser. Hal ini karena menciptakan perubahan sifat listriknya akibat perubahan temperatur.

Thermistor pada dasarnya adalah sebuah terminal transduser termal dua terminal yang terbuat dari oksida logam berbasis semikonduktor yang sensitif dengan ujung penghubung yang dilapisi logam. Hal ini memungkinkannya mengubah nilai resistifnya sebanding dengan perubahan temperatur yang kecil.

Dalam kendaraan, thermistor dipakai untuk *Water Temperature Sensor* (WTS) yang merupakan sensor yang ada pada mesin EFI. Sensor WTS memiliki fungsi untuk mendeteksi temperatur air pendingin. Sensor ini menggunakan thermistor tipe NTC (Negative Coefisien Temperature), yaitu bekerjanya sensor ini adalah ketika temperatur air pendingin naik maka resistansi pada sensor ini akan menurun dan sebaliknya bila temperatur air pendingin ini turun maka resistansinya akan naik. WTS dihubungkan ke ECU (Engine Control Unit), ECU akan memberikan signal tegangan sumber sebesar 5 volt ke sensor melalui terminal THW. Tegangan output dari WTS ini akan berubah-ubah besarnya sesuai dengan nilai tahanan atau resistansi yang ada pada WTS ini, kemudian output signal WTS ini (pada terminal E2) akan dikirim kembali ke ECU dan akan menjadi signal inputan ECU yang nantinya akan digunakan sebagai data masukan untuk mengontrol aktuator-aktuator pada mesin EFI. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar sirkuit kelistrikan sensor WTS di bawah ini .

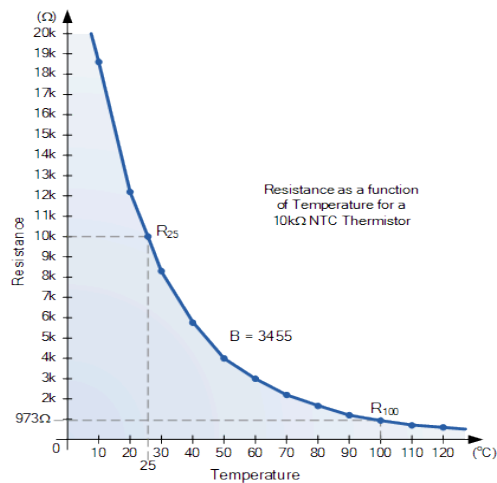


Gambar 6.28 Bentuk fisik thermistor (WTS)



Gambar 6.29 Aplikasi thermistor

Untuk grafik hubungan antara temperatur air pendingin dengan resistansi pada sensor, dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

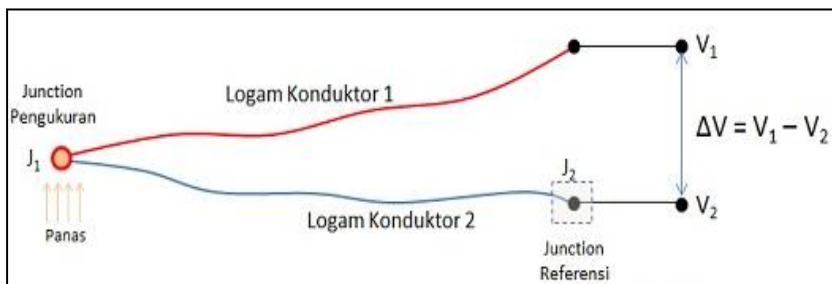


Gambar 6.30 Grafik hubungan temperatur dengan resistansi

6.10. Termokopel

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor temperatur yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur temperatur melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (*junction*) ini dinamakan dengan Efek “*Seeback*”.

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan temperatur konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi temperatur panas. Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, mari kita melihat gambar dibawah ini.

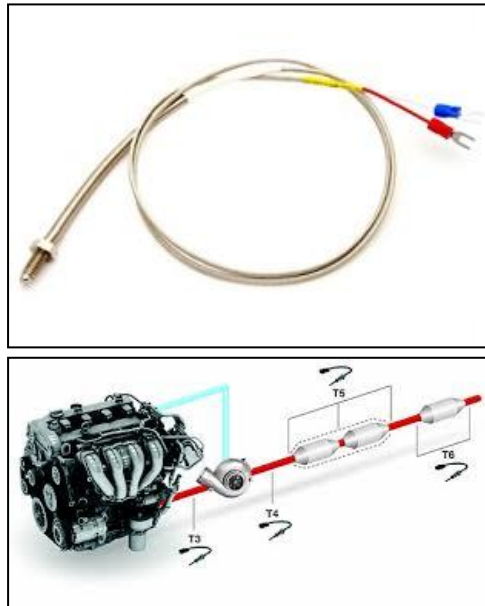


Gambar 6.31 Prinsip kerja Thermokopel

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau *Junction* memiliki temperatur yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan temperatur panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan temperatur diantara dua persimpangan tersebut

yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan temperatur panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh pengukur.

Dalam kendaraan, Thermokopel digunakan untuk mengukur temperatur *Exhaust Gas*, Turbocharger, dan temperatur di dalam kendaraan.



Gambar 6.32 Contoh Thermokopel (kiri) dan penggunaannya (kanan)

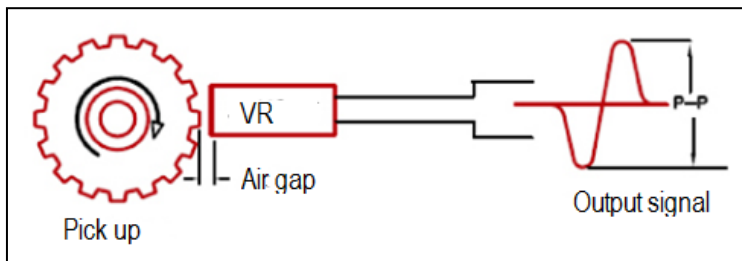
6.11. Variable Reluctance Sensors

Engine Control Unit (ECU) memerlukan masukan untuk menentukan posisi sudut engkol dan/atau sudut camshaft. Untuk bisa mendeteksi sebuah posisi, dilakukan dengan menggunakan sensor yang mengeluarkan tegangan saat medan magnet disekitarnya berubah. Medan magnet diubah dengan

menggunakan roda bergigi yang terbuat dari bahan ferrous. Hal ini kemudian dievaluasi oleh ECU untuk mengetahui seberapa cepat putaran mesin (rpm) dan dimana posisi siklus mesinnya.

Variable Reluctance (VR) Sensor juga dikenal sebagai *mag (magnetic) sensors* yang dibuat dengan lilitan kawat yang mengelilingi magnet permanen, yang mirip dengan solenoid. VR sensor tidak memerlukan sumber tegangan eksternal dan memiliki dua kabel, sinyal dan ground.

Aplikasi pada kendaraan diantaranya untuk sensor kecepatan putar mesin dan posisi crank untuk menentukan pengapian, sensor kecepatan pada transmisi otomatis, dan sensor kecepatan putar roda pada ABS dan sistem kontrol traksi.



Gambar 6.33 Konsep *Variable Reluctance (VR) Sensor*



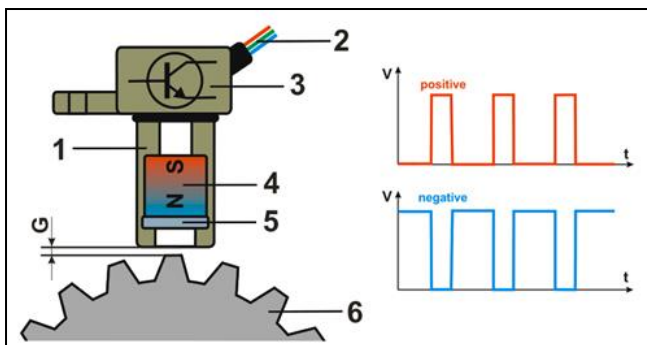
Gambar 6.34 Contoh *crank sensor* dan penempatannya

6.12. Hall Effect

Seperti halnya VR sensor, Hall Effect Sensor digunakan terutama untuk mengukur rpm dan menentukan posisi poros engkol atau camshaft pada *Engine Management System*, serta mengukur kecepatan (rpm) roda pada sistem ABS, sistem ESP, dan lainnya.

Tidak seperti sensor induktif (VR sensor), sinyal output dari sensor Hall effect tidak dipengaruhi oleh laju perubahan medan magnet. Tegangan output yang dihasilkan biasanya berada dalam kisaran mili volt (mV) dan diperkuat tambahan oleh peralatan elektronik terpadu (IC), yang dipasang di dalam sensor itu sendiri [39].

Gambar 3.34 menunjukkan ciri khas dari sensor Hall Effect. Sinyal tegangan keluaran biasanya ada dalam pulsa bentuk gelombang digital (bentuk persegi). Sinyal output dari sensor dapat berupa positif atau negatif dengan tegangan puncak biasanya sampai 5 V atau 12 V, tergantung pada jenis elektronik dan persyaratan terpadu dari sistem yang digunakan. Amplitudo sinyal output tetap konstan, hanya frekuensi yang meningkat secara proporsional dengan rpm. Tidak seperti sensor induktif yang menghasilkan sinyal voltase dengan sendirinya, sensor Hall effect harus disuplai tambahan oleh voltase eksternal yang dibutuhkan untuk IC. Tegangan penyuplai biasa (+ Vcc) 5 V, namun dalam beberapa kasus dapat 12 V.



Gambar 6.35 Prinsip kerja Hall Effect (1. Sensor housing, 2. Output signal wires, 3. Coaxial coated protection, 4. Permanent magnet, 5. Inductive coil, 6. Pole pin, 7. Trigger wheel, G. Air Gap)

6.13. Pressure Transducer

Dalam sebuah mesin, ada banyak *pressure transducer/ pressure sensor*, diantaranya adalah sensor tekanan bahan bakar, sensor tekanan turbocharger, tekanan EGR, tekanan minyak rem, dan tekanan manifold. Meskipun penempatan dan keperuntukannya berbeda, konsep sensor tekanan adalah sama, mengubah tekanan (fisika) menjadi bentuk listrik. Salah satu jenis *pressure sensor* yang populer adalah *Manifold Absolute Pressure (MAP) Sensor*.

MAP Sensor mendeteksi tekanan udara di saluran masuk mesin dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dikirim ke ECU untuk mengatur campuran stoikiometri. MAP Sensor dikelompokkan dalam 2 kelompok sesuai dengan rentang tekanannya:

Depresi : 10 - 130 kPa.

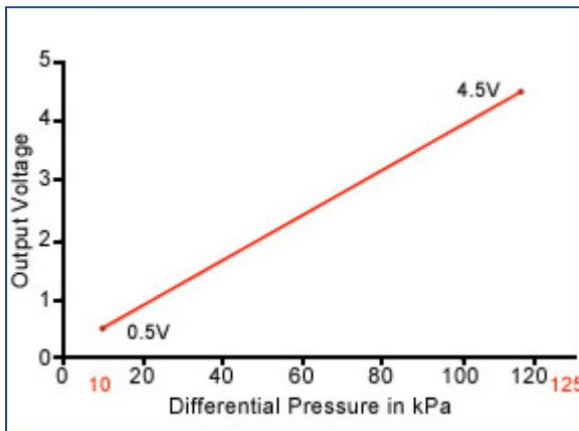
Over-pressure : $10 - 130 \text{ kPa} \leq P_2 \leq 400 \text{ kPa}$

MAP Sensor terletak langsung pada intake manifold atau terhubung dengannya melalui selang fleksibel. MAP Sensor harus tahan terhadap kondisi pemasangan kritis dan harus mampu beroperasi pada suhu antara -40°C sampai $+120^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya, MAP sensor juga harus tahan terhadap hidrokarbon.



Gambar 6.36 MAP sensor

Elemen MAP sensor adalah tipe piezoresistif yang dikonfigurasi sebagai jembatan Wheatstone, yaitu, hambatan listriknya bervariasi sesuai dengan deformasi mekanik membran. Unsur sensor diintegrasikan ke dalam DIS tipe MEMS yang menguatkan, melakukan kompensasi termal, dan kondisi sinyal. Elektronik digital yang tergabung memungkinkan kita memprogram sinyal output antara 0 - 5 V, tergantung pada persyaratan yang kita butuhkan di setiap referensi.



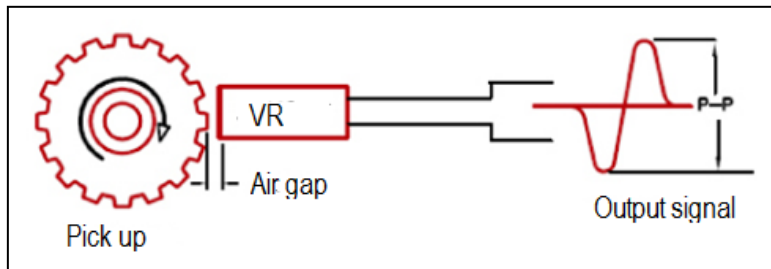
Gambar 6.37 Karakteristik MAP sensor

6.14. Evaluasi

1. Jelaskan bagaimana prosedur memeriksa sebuah dioda, bagaimana hasil pembacaan resistansinya jika sebuah dioda baik dan rusak. Kemudian, interpretasikan hasilnya.
2. Seperti pada soal nomor 1, lakukan pada sebuah transistor NPN dan PNP.
3. Lakukan observasi ke Laboratorium, buatlah eksperimen sederhana untuk memeriksa sebuah water temperature sensor. Buatlah grafik x-y untuk menggambarkan hubungan kenaikan temperatur terhadap perubahan nilai tahanan

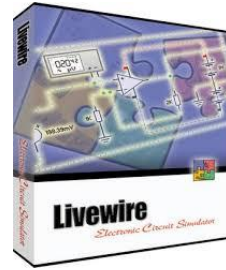
sebuah water temperature sensor. Lakukan diskusi bagaimana logika nilai resistensi water temperature sensor berubah terhadap temperatur.

4. Dengan konsep yang ada dibawah ini, bagaimana anda menguji sebuah VR sensor dengan sebuah multimeter analog.



5. Buat sebuah review teknologi dengan mengambil sebuah video dari channel Youtube tentang “bagaimana MAP sensor bekerja”. Buat sebuah makalah pendek (500 kata) dengan menyertakan beberapa gambar yang di-screenshoot dari Video tersebut.

BEE-07



Simulasi Rangkaian Listrik dan Elektronika

7.1. Learning Outcomes

Knowledge Objectives:

BEE-K-07-01 Menjelaskan menu-menu yang ada pada Livewire Pro.

Skill Objectives:

BEE-S-07-01 Menggunakan Livewire Pro untuk menggambar sirkuit kelistrikan

BEE-S-07-02 Menggunakan Livewire Pro untuk menggambar sirkuit elektronika

BEE-S-07-03 Menggunakan Livewire Pro untuk mensimulasikan rangkaian listrik dan elektronika, lengkap dengan pengukurannya

BEE-S-07-04 Mengkonversi rangkaian elektronika ke PCB board

BEE-S-07-05 Membuat rangkaian elektronika untuk pengendali

7.2. Pendahuluan

Livewire adalah laboratorium elektronik simulasi yang menggunakan animasi dan suara untuk mendemonstrasikan prinsip-prinsip sirkuit elektronik. Switch, transistor, dioda, sirkuit terpadu dan ratusan komponen lain semuanya dapat dihubungkan bersamaan untuk menyelidiki konsep tersembunyi seperti tegangan, arus dan hambatan. Sirkuit bisa dirancang secara tak terbatas dan tidak ada koneksi/sambungan yang longgar atau komponen yang salah yang perlu dikhawatirkan.

Livewire merupakan *software* yang sederhana, *user interface* langsung membantu Anda untuk membuat sirkuit dengan cepat dan mudah. Ambil komponen yang Anda butuhkan dan hubungkan keduanya menggunakan kabel cerdas. Buat penyesuaian akhir pada sirkuit Anda dengan memindahkan komponen agar rapi dan kompak.

Livewire akan menjaga semua koneksi dan melakukan *re-route* seperlunya, kemudian tekan tombol 'play' untuk memulai simulasi. Livewire terintegrasi dengan PCB Wizard 3. Ini berarti bahwa ketika Anda telah menggambar dan mensimulasikan sebuah sirkuit, Anda dapat mentransfernya ke PCB Wizard 3 dengan sekali klik pada sebuah tombol. PCB Wizard 3 kemudian akan secara otomatis menempatkan semua komponen dalam PCB board.

Didukung oleh mesin fisika yang sangat akurat, Livewire mampu memodelkan karakteristik dari sebuah sirkuit. Hal ini dapat mensimulasikan sirkuit besar dan kompleks.

Livewire memiliki seperangkat instrumen virtual simulasi untuk dicoba, serta galeri komponen yang lengkap. Anda bisa melihat LED flash, 7-segment display, motor yang berputar dan sebagainya. Selain itu, memilih tampilan yang berbeda memungkinkan Anda melihat arus yang mengalir di sekitar

sirkuit dan mengamati konsep tersembunyi lainnya seperti tegangan, logika dan arus listrik.

Livewire menawarkan lebih dari 600 komponen simulasi, mulai dari resistor sederhana hingga amplifier operasional CA3140 yang canggih. Untuk masing-masing ada pilihan model ideal untuk mengajarkan konsep dasar atau model dunia nyata (serupa dengan yang ditemukan dalam buku data) untuk merancang sirkuit dan memecahkan masalah.

Livewire menyediakan 7 instrumen virtual untuk menganalisis sirkuit Anda. Mereka termasuk osiloskop (mencatat tegangan dari waktu ke waktu), multimeter (mengukur arus AC dan DC, tegangan dan hambatan), penganalisis logika (menghasilkan grafik tingkat logika), sebuah wattmeter (mengukur daya), generator sinyal (menghasilkan sinyal bentuk gelombang) dan generator kata (menghasilkan rangkaian dengan menghasilkan aliran kata-kata 16-bit).

Livewire dapat dibuat untuk mensimulasikan kesalahan riil untuk membantu mahasiswa belajar tentang teknik pemecahan masalah. Misalnya, Anda bisa menambahkan hubungan pendek atau kebocoran ke transistor, mengisolasi, dan memperbaiki kesalahannya. Pemecahan masalah riil tidak hanya membantu mahasiswa mendapatkan pengalaman berharga dalam memecahkan masalah rangkaian, namun juga mengajarkan lebih banyak tentang bagaimana komponen tertentu dapat berfungsi.

Seperti PCB Wizard 3, spreadsheet “Bill of Materials” dapat diproduksi yang berisi properti yang diberikan ke komponen dalam desain Anda. Livewire memungkinkan Anda menentukan format laporan yang tepat dan memungkinkan untuk menghitung total properti numerik untuk biaya dan sebagainya.

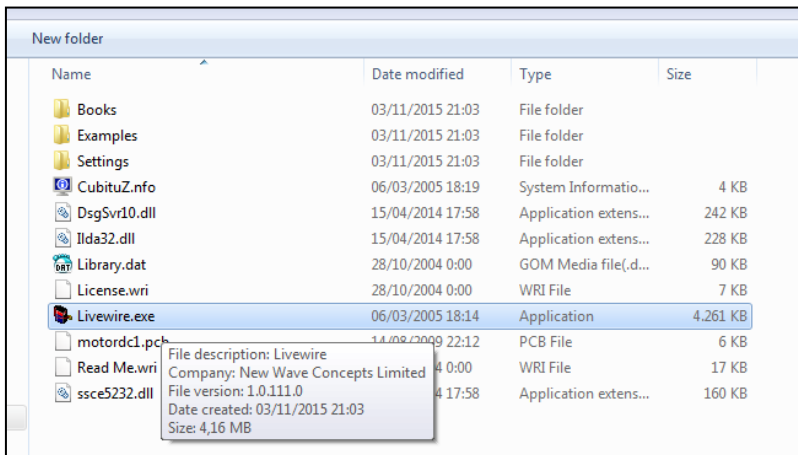
Dengan Livewire, Anda dapat menghasilkan lembar kerja dan catatan kursus yang dapat langsung diakses oleh orang lain. Buku elektronik, seperti yang diketahui, mudah dibuat dengan menambahkan teks, gambar dan grafik ke desain sirkuit sebelum menghubungkannya bersama-sama menggunakan hyperlink.

Pada bab ini, penjelasan tentang penggunaan Livewire dan contoh-contohnya diperoleh dari manual guide/help dari Livewire [40].

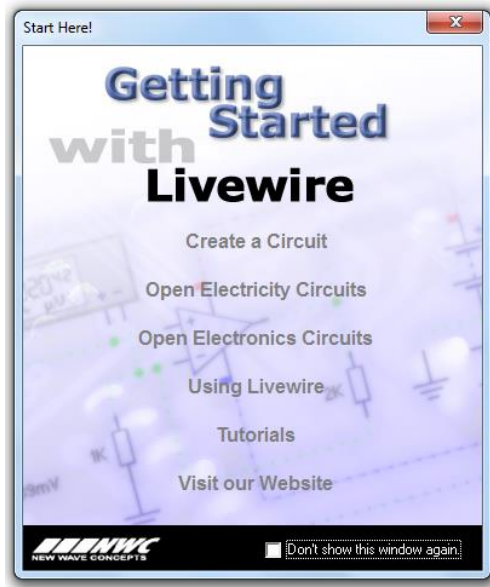
7.3. Menginstal Livewire

Menginstal Livewire ke komputer atau laptop sangat mudah, cukup buka folder Livewire hasil download, kemudian klik dubel pada livewire.exe (Gambar 7.1).

Selanjutnya akan muncul tampilan dengan beberapa pilihan, diantaranya *create circuit*, *open electricity circuits*, *open electricity circuits, using livewire*, *tutorial*, dan *visit our Website*.



Gambar 7.1 Menginstal Livewire



Gambar 7.2 Fitur utama Livewire

Create a Circuit

Menu ini merupakan menu utama Livewire, dimana kita bisa membuat rangkaian listrik dan elektronika dengan komponen-komponen yang lengkap.

Open Electricity Circuits

Menu ini berisi contoh-contoh rangkaian elektrik yang siap dijalankan dalam Livewire.

Open Electronics Circuits

Menu ini berisi contoh-contoh rangkaian elektronika yang siap dijalankan dalam Livewire.

Using Livewire

Menu ini berisi cara untuk menggunakan Livewire (manual)

Tutorial

Berisi interaktif contoh menggunakan Livewire.

Visit our website

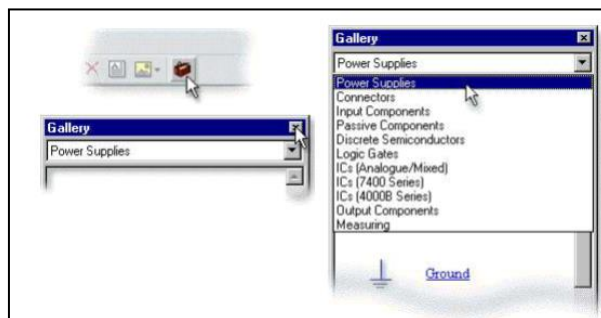
Menu ini berisi link ke halaman utama website Livewire.

7.4. Mulai Menggambar Sirkuit

Diagram sirkuit digambar menggunakan komponen simbol rangkaian yang dihubungkan bersamaan dengan kabel. Anda dapat menambahkan komponen dari Galeri. Mengklik dua kali pada komponen memungkinkan Anda mengubah propertinya. Dengan memilih model tertentu, Anda juga bisa menjadikan komponen ini berfungsi seperti komponen riil. Komponen bisa diberi nomor secara otomatis seperti yang sedang digunakan. Pada sirkuit yang lebih kompleks, terminal membantu menyederhanakan diagram rangkaian dengan mengurangi jumlah kabel yang dibutuhkan. Begitu ditarik, Livewire bisa mensimulasikan dan menghidupkan diagram rangkaian Anda.

7.4.1. Memilih Komponen Dari Galeri

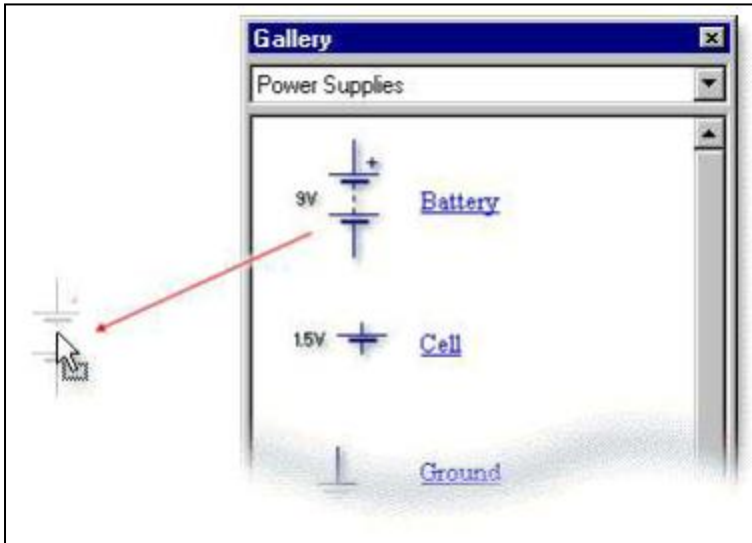
Galeri adalah perpustakaan visual yang muncul di jendela. Ini memungkinkan Anda membuat diagram rangkaian dengan mudah dengan menyeret komponen dan instrumen virtual dari jendela ke dokumen Anda. Klik pada tombol Galeri atau pilih Galeri dari menu View untuk melihat jendela Galeri. Untuk menutup Galeri, klik di tombol Galeri lagi, atau klik tombol Close di judul bar jendela Galeri. Semua komponen dan instrumen virtual dalam Galeri dikelompokkan menurut fungsi mereka untuk menampilkan grup yang berbeda (input komponen, output komponen, pasif komponen, dan lainnya), pilih grup dari daftar drop-down.



Gambar 7.3 Jendela Galeri komponen

7.4.2. Menambahkan Komponen dan Propertinya

Anda dapat menambahkan komponen ke sirkuit dengan menggunakan Galeri. Gerakkan mouse ke simbol yang ingin Anda gunakan. Tekan dan tahan tombol kiri mouse. Dengan tombol kiri mouse masih dipegang, gerakkan mouse untuk menyeret objek ke sirkuit. Kemudian, lepaskan tombol mouse saat simbol sirkuit berada pada posisi yang diinginkan.

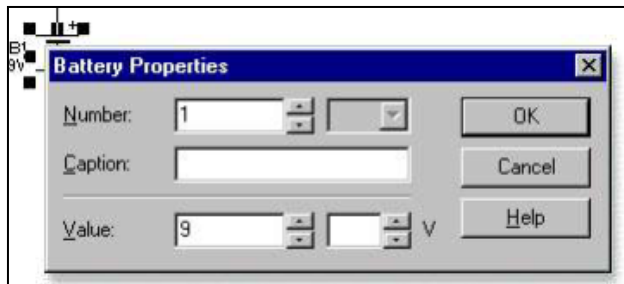


Gambar 7.4 Menambahkan komponen ke lembar kerja

Sebagai komponen yang digunakan, komponen tersebut otomatis diberi nomor. Menyeret baterai kedua (mengikuti dari yang pertama ditunjukkan di atas) akan menjadi 'B2', baterai ketiga akan menjadi 'B3' dan seterusnya. Label di sebelah komponen menunjukkan nilai dan nomor komponen saat ini.

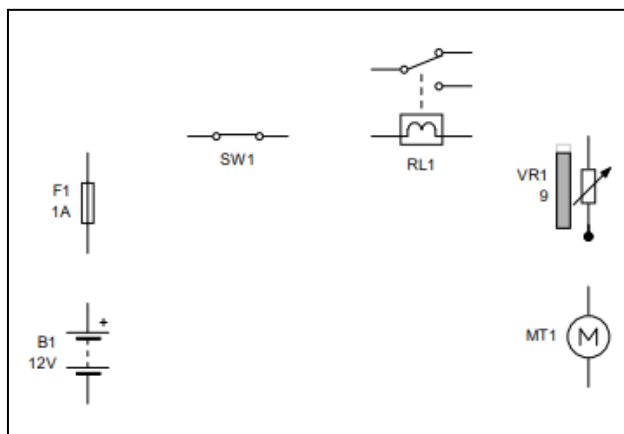
Double-klik pada simbol komponen memungkinkan Anda untuk mengubah propertinya. Perhatikan bahwa sifat tertentu yang tersedia akan bervariasi tergantung pada jenis komponen yang dipilih. Memindahkan mouse ke pin komponen akan menunjukkan nama pin beserta nomor pinnya. Perhatikan bahwa nomor pin akan sesuai dengan jumlah pin pada paket

PCB yang terkait. Dengan sirkuit terpadu (IC), misalnya, nomor akan secara khusus dihubungkan ke nomor pin pada paket dual-in-line (DIL).



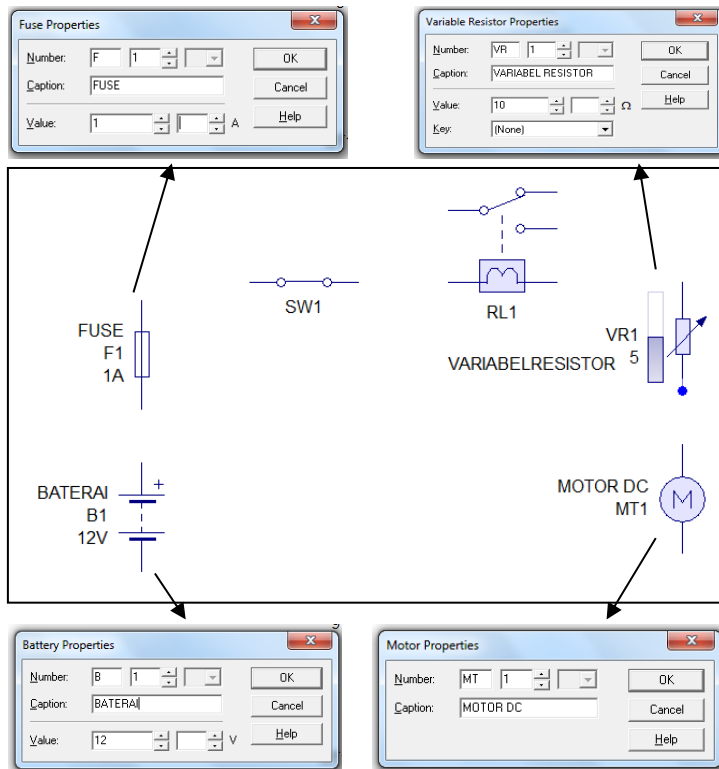
Gambar 7.5 Mengubah properti komponen

Sebagai contoh, kita akan membuat rangkaian sederhana yang terdiri dari sebuah baterai 12V, sekering, saklar, relay, variabel resistor, dan motor DC. Kita bisa menarik komponen-komponen tersebut dari Galeri ke lembar kerja sebagai berikut.



Gambar 7.6 Mamasukkan beberapa komponen ke lembar kerja

Kemudian, kita akan memberikan nama dan properti dari tiap tiap komponen yang kita gambar.



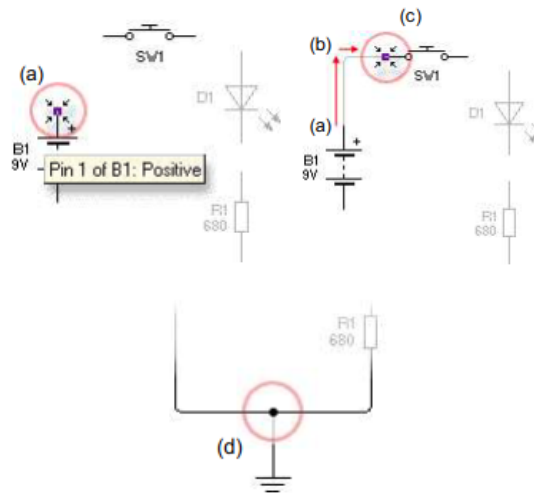
Gambar 7.7 Pemberian nama komponen nan nilainya

7.4.3. Wiring

Setelah komponen elektrik atau elektronika digambar, komponen harus dihubungkan bersama untuk membentuk rangkaian. Untuk menambahkan kabel, gerakan mouse ke pin komponen (a) atau kawat yang ada (d). Di atas pin, petunjuk pop-up akan muncul untuk merinci komponen dan pinnya.

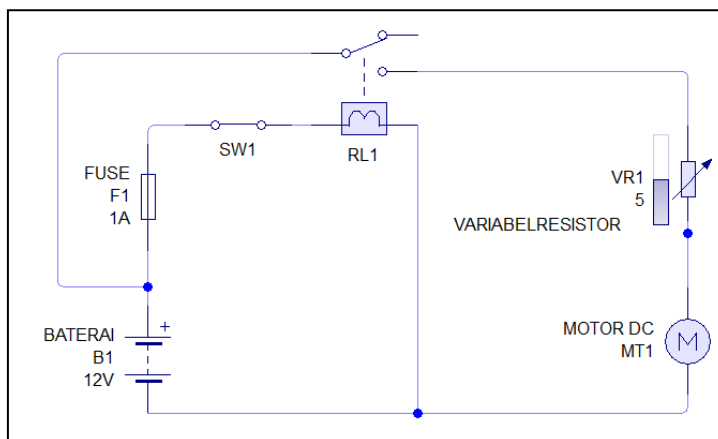
Tekan dan tahan tombol kiri mouse. Dengan tombol mouse yang masih dipegang, gerakan mouse ke tempat ujung kawat. Anda dapat menambahkan belokan ke kawat dengan melepaskan tombol mouse di atas bagian sirkuit yang kosong (b). Menu “undo” akan memungkinkan Anda untuk menelusuri kembali

langkah Anda dan memperbaiki kesalahan. Untuk melengkapi kabel, lepaskan tombol mouse di atas pin komponen lain (c) atau kawat (d). Melepaskan kawat di atas kawat lain secara otomatis akan menambahkan sambungan pada titik penghubung.



Gambar 7.8 Menyambungkan antar komponen dengan kabel cerdas

Dengan contoh yang telah kita buat (Gambar 7.6), kita bisa menggabungkan semua komponen dengan kabel penghantar.

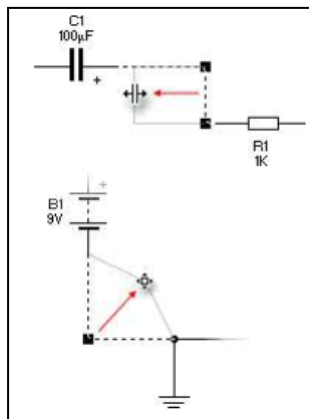


Gambar 7.9 Menggabungkan komponen (wiring)

7.4.4. Mengedit Jalur Kabel

Saat komponen dipindahkan, kabel yang terpasang akan otomatis terpasang kembali. Untuk memindahkan sebagian kabel, pertama klik pada kabel untuk memilihnya dan kemudian pindahkan kabelnya. Kursor akan berubah bentuk. Anda kemudian dapat menyeret sebagian kabel ke kiri, kanan, atas atau bawah.

Untuk kontrol yang lebih baik, simpul individu dalam kawat bisa dipindahkan. Pindahkan simpul dengan menyeret pegangannya ke posisi baru. Anda dapat menambahkan simpul dengan menekan tombol “Ctrl” dan melepaskannya dari kabel dengan tombol kiri mouse. Menekan tombol “Ctrl” sementara mengklik simpul kawat yang ada akan menghapus simpul tersebut.



Gambar 7.10 Mengubah jalur kabel

7.5. Mensimulasikan Sirkuit

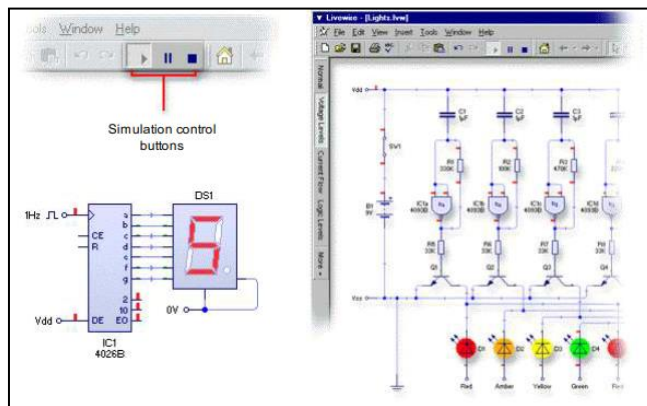
Setelah sirkuit dibuat, selanjutnya adalah menguji apakah sirkuit tersebut berfungsi baik atau tidak. Ini adalah laboratorium virtual, Anda bisa melihat cara kerja rangkaian seperti pada aslinya.

7.5.1. Simulasi

Simulasi adalah proses dimana Livewire menentukan apa yang terjadi di sirkuit Anda. Anda bisa memulai dan menghentikan simulasi dengan menggunakan tombol kontrol simulasi.

- ▶ Klik pada tombol Run untuk mulai mensimulasikan rangkaian Anda.
- || Klik tombol Pause akan menghentikan sementara simulasi.
- Klik pada tombol Stop untuk menghentikan simulasi.

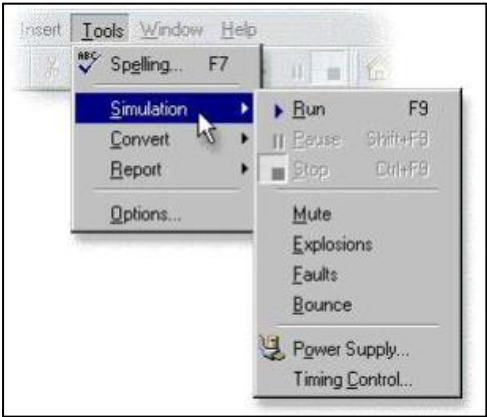
Seiring dengan rangkaian Anda disimulasikan, animasi digunakan untuk menunjukkan tegangan pada setiap komponen, tingkat aliran arus, muatan dan logika, semuanya dapat ditampilkan di layar. Gunakan *Style toolbar* untuk menyelidiki rangkaian Anda. Untuk hasil yang lebih tepat, Anda dapat menggunakan berbagai instrumen virtual, seperti multimeter dan osiloskop, untuk menghasilkan dan mengukur sinyal.



Gambar 7.11 Menu untuk simulasi

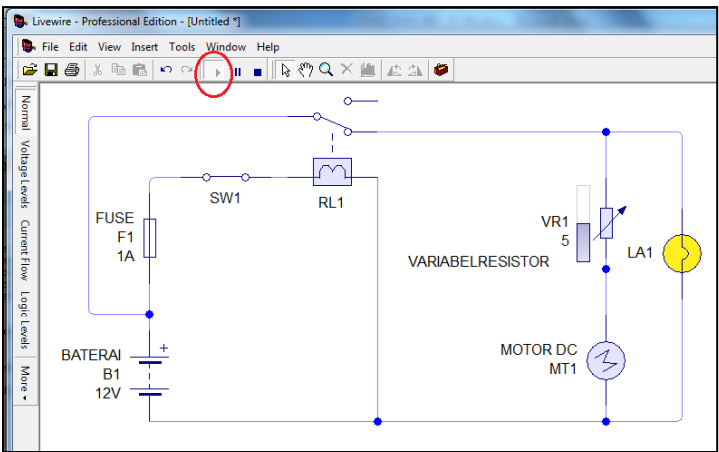
Kontrol yang lebih luas terhadap simulasi rangkaian tersedia dengan memilih **Simulation** dari menu **Tools**. Pilih opsi **Mute** jika Anda ingin menonaktifkan semua efek suara. **Explosion** mengendalikan simulasi komponen maksimum.

Untuk mensimulasikan bounce switch mekanis, aktifkan opsi **Bounce**. Bila diaktifkan, semua saklar akan mengalami kontak terpental saat kontak berubah. Semua komponen digital menggunakan catu daya digital tersembunyi. Memilih *power supply* memungkinkan Anda mengubah voltasenya. Pilih **Timing Control** untuk kontrol atas kecepatan dan akurasi simulasi.



Gambar 7.12 Menu tool

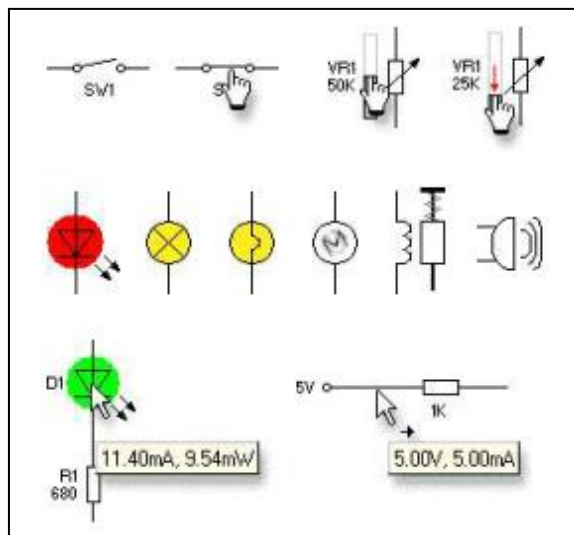
Dengan rangkaian yang telah kita buat, kita menambahkan sebuah lampu kontrol untuk memeriksa rangkaian sudah bekerja.



Gambar 7.13 Mensimulasikan rangkaian

7.5.2. Animasi

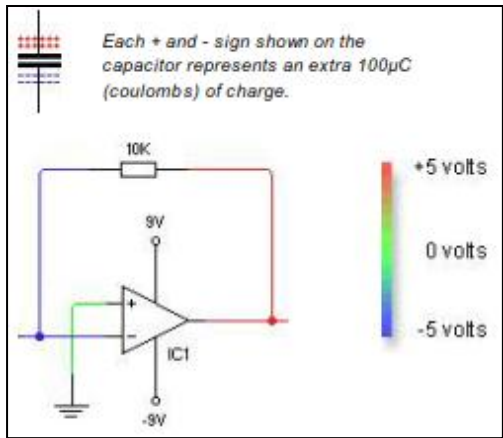
Saat disimulasikan, Livewire menggunakan animasi untuk menggambarkan apa yang terjadi di sirkuit Anda. **Styles** menggabungkan keseluruhan animasi yang ditunjukkan di sini ke dalam berbagai tampilan sirkuit yang telah ditentukan. Komponen input bisa dioperasikan dengan mouse. Klik pada switch dan slider dengan tombol kiri mouse untuk mengoperasikannya. Switch dapat mensimulasikan bounce kontak. Komponen output akan bertindak seolah-olah seperti nyata. Sebagai contoh, lampu akan menyala, motor akan berputar dan buzzers akan berbunyi. Memegang mouse di atas komponen, kawat atau pin juga akan memberikan tampilan pembaca seketika pada saat itu. Bila di atas kabel, kursor juga akan menunjukkan arah aliran arus.



Gambar 7.14 Animasi dari komponen komponen

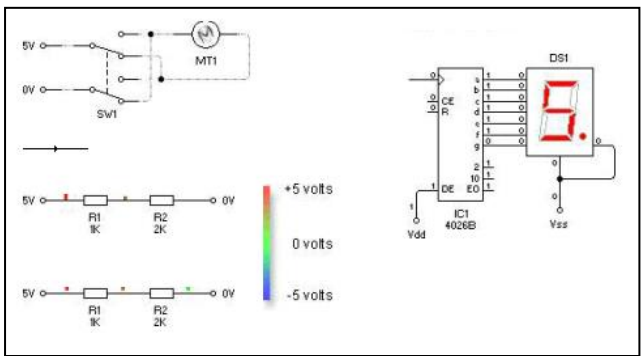
Berbagai pilihan animasi lebih lanjut tersedia dengan memilih Animation dari menu **View**. *Capacitor Charge* akan menunjukkan jumlah muatan listrik pada masing-masing kapasitor. *Voltage Color* menampilkan setiap kawat dalam warna yang mewakili

tegangan pada titik itu. Warna yang ditampilkan akan bervariasi antara merah (untuk 5 volt dan yang lebih tinggi) dan hijau (untuk 0 volt) sampai biru (untuk -5 volt dan di bawahnya).



Gambar 7.15 Animasi lanjutan, bisa membedakan nilai tegangan pada kabel

Current Flow akan menggambarkan arus listrik di sekitar sirkuit dengan menghidupkan titik-titik. **Arrows** saat ini menampilkan panah sederhana pada setiap kawat untuk menunjukkan arah arus. Tingkat Logika menampilkan keadaan logika pada setiap pin komponen. A '1' akan ditampilkan saat sinyal tinggi, '0' saat sinyal rendah dan 'x' saat tingkat logika tidak terdefinisi.



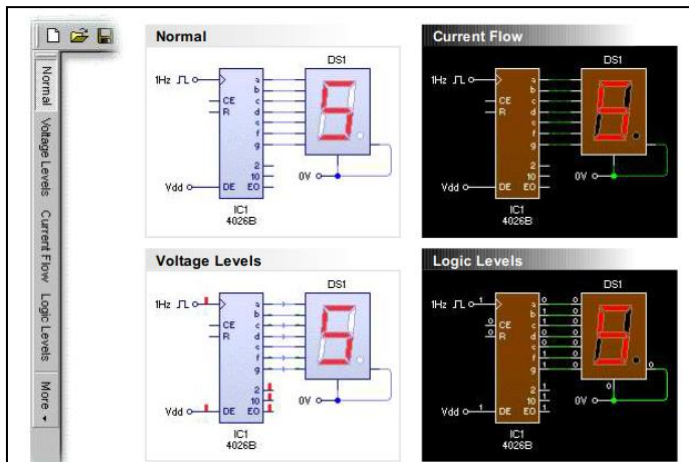
Gambar 7.16 Tampilan logika digital

Perhatikan bahwa model logika digital yang digunakan untuk masing-masing pin akan sesuai dengan jenis komponennya, jadi

misalnya pin pada IC CMOS akan menggunakan tingkat logika CMOS, sementara pin pada IC TTL akan menggunakan tingkat logika TTL (komponen analog menggunakan Model logika ideal). Oleh karena itu, dimungkinkan untuk tingkat tegangan yang sama untuk ditafsirkan secara berbeda oleh berbagai jenis komponen.

7.5.3. Style

Style adalah fitur canggih dari Livewire yang memungkinkan Anda melihat rangkaian Anda dengan berbagai cara. Toolbar Styles muncul di sisi kiri jendela utama Livewire. Klik pada tombol style untuk melihat rangkaian dengan style/gaya itu.



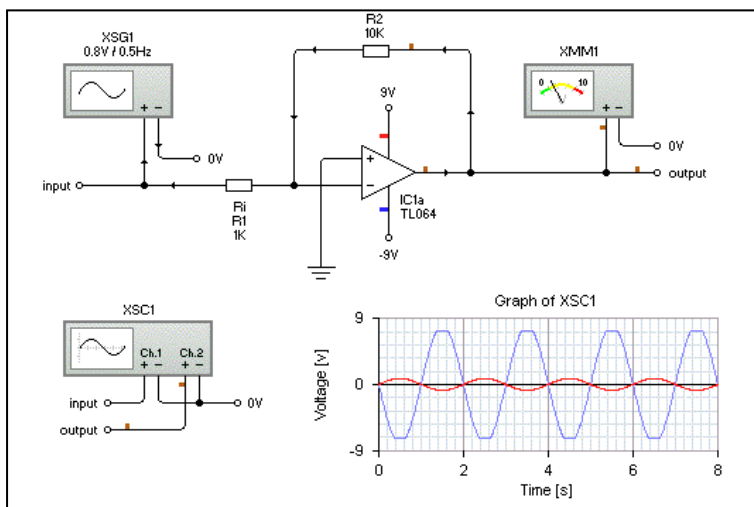
Gambar 7.17 Tampilan menu Style

Setiap gaya memungkinkan Anda untuk melihat aspek yang berbeda dari rangkaian simulasi. **Normal** menunjukkan rangkaian tanpa tegangan atau animasi saat ini. **Voltage levels** memungkinkan Anda untuk fokus pada tingkat tegangan yang bervariasi dalam rangkaian (dengan arus yang ditunjukkan oleh panah). Dalam style **Current Flows**, arus digandakan secara grafis dengan menggunakan titik-titik yang bergerak di sekitar sirkuit. **Logic levels** membantu pemahaman sirkuit digital

dengan menunjukkan keadaan logika pada setiap pin komponen, mengkodekan warna kabel sesuai dengan komponennya.

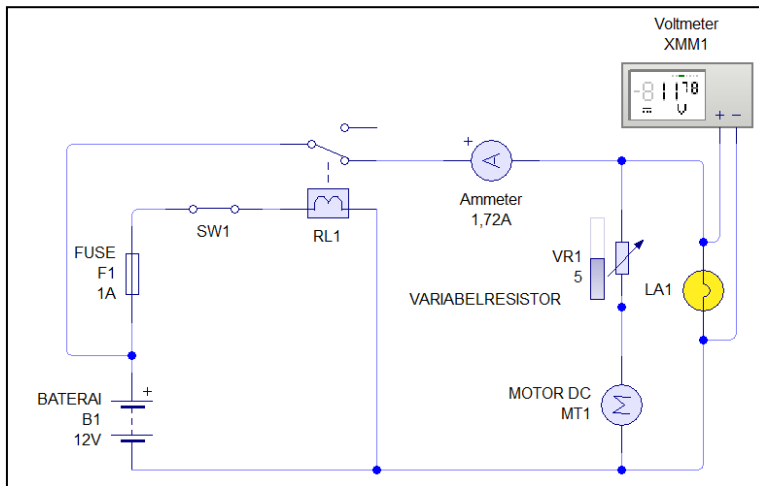
7.5.4. Instrumen Virtual

Livewire juga menawarkan berbagai instrumen virtual yang beroperasi seperti seolah olah nyata. Generator sinyal dan generator kata menghasilkan sinyal yang bertindak sebagai masukan pada sirkuit Anda. Untuk mengukur sinyal, Anda dapat menggunakan multimeter analog atau digital (untuk mengukur tegangan, arus dan tahanan) atau wattmeter (untuk mengukur daya). Sebuah osiloskop memungkinkan Anda untuk merekam sinyal tegangan dari waktu ke waktu. Untuk sinyal digital, penganalisis logika akan merekam hingga 16 sinyal logika independen. Selain itu, serangkaian komponen input dan output logika yang disederhanakan tersedia yang mempermudah penyidikan rangkaian digital.



Gambar 7.18 Tampilan instrumen virtual

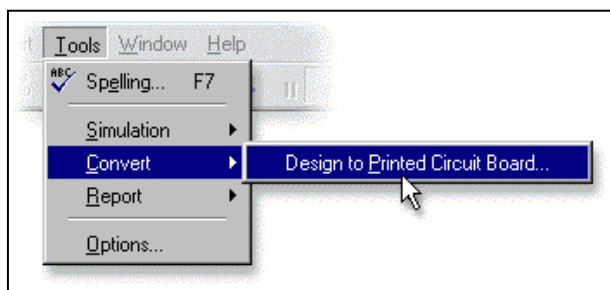
Kemudian, kita akan mempraktekkan dengan memasang *measuring tools* pada rangkaian yang telah kita buat.



Gambar 7.19 Contoh pengukuran tegangan dan arus

7.6. Mengkonversi Sirkuit ke PCB

Jika Anda memiliki PCB Wizard 3, Livewire dapat mengubah diagram sirkuit Anda menjadi papan sirkuit tercetak. Untuk mengubah desain, pertama Anda harus memastikan bahwa Anda memiliki PCB Wizard 3 yang berjalan. Selanjutnya, buka atau buat rangkaian yang ingin Anda konversi. Sekarang, buka menu Tools, klik Convert dan kemudian pilih Design to Printed Circuit Board.



Gambar 7.20 Menu untuk meng-convert ke PCB

Jika bagian dari desain Anda dipilih, Anda akan ditanya apakah Anda ingin mengubah hanya bagian yang dipilih. Memecah desain ke bagian yang lebih kecil dapat membantu saat

mengubah sirkuit yang lebih kompleks. Jendela Convert to Printed Circuit Board akan muncul. Secara default (atau jika Anda klik Tidak) konversi PCB akan terjadi secara otomatis. Untuk kontrol lebih lanjutan, Anda bisa mengklik opsi Ya.

Klik tombol Next untuk melanjutkan. Jika Anda memilih Tidak, jendela akan langsung menuju akhir proses konversi. Sebagai alternatif, jika Anda memilih Ya, jendela konversi akan mengarahkan Anda melalui berbagai pilihan dan opsi yang mengendalikan bagaimana rangkaian Anda dikonversi. Konversi ke PCB mencakup tujuh langkah berikut:

Langkah 1: Memilih ukuran dan bentuk board

Langkah 2: Memilih komponen

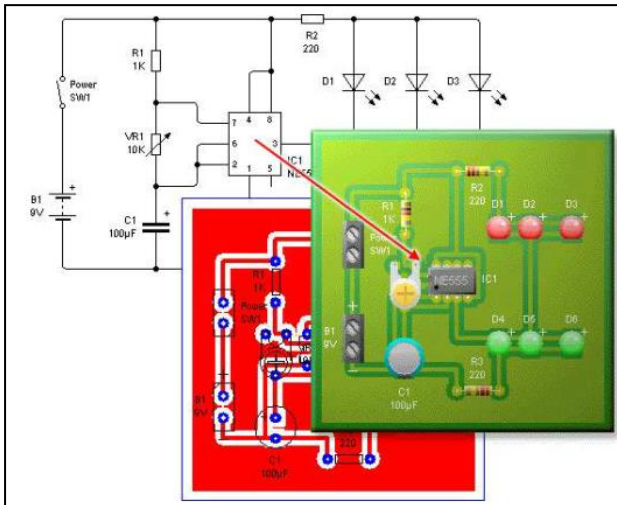
Langkah 3: Menambahkan daya digital

Langkah 4: Memilih penempatan komponen

Langkah 5: Ruoting otomatis

Langkah 6: Menambahkan area tembaga

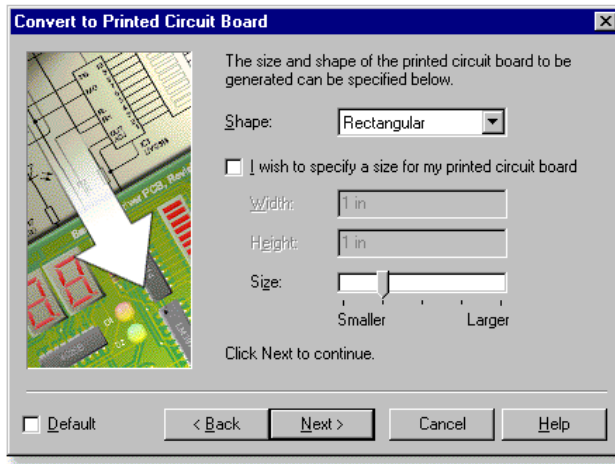
Langkah 7: Mengkonversi rangkaian



Gambar 7.21 Contoh hasil konversi dari Livewire ke PCB

Langkah 1: Memilih ukuran dan bentuk board

Pertama, Anda bisa menentukan ukuran dan bentuk papan sirkuit cetak (PCB) yang Anda butuhkan.



Gambar 7.22 Memilih PCB

Anda dapat memilih antara bentuk Rectangular dan Circular untuk PCB dengan memilih dari daftar drop-down Shape. Slider Ukuran mengontrol seberapa kecil atau besar boardnya.

Biasanya, Livewire secara otomatis akan menghitung ukuran papan yang optimal. Untuk menentukan ukuran PCB sendiri, aktifkan *"I wish to specify a size for my printed circuit"*, masukkan lebar dan tinggi yang sesuai.

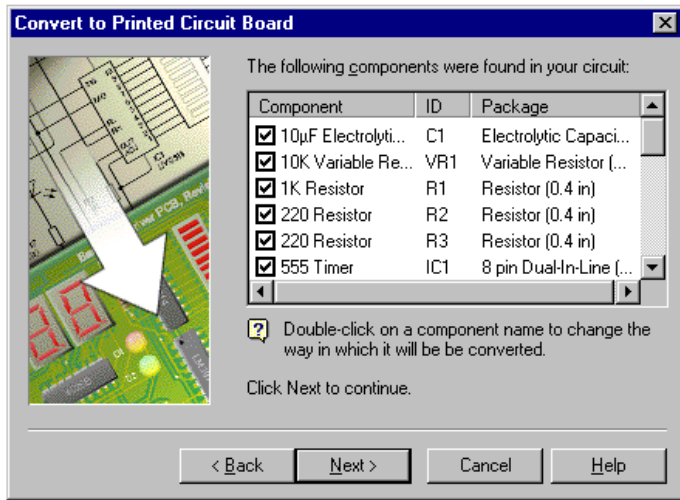
Klik **Next** untuk melanjutkan ke langkah berikutnya.

Di bidang Lebar dan Tinggi, Anda dapat mengetikkan unit pengukuran yang berbeda dengan yang diberikan. Misalnya, Anda bisa mengetik '65 mm', '4 in' atau bahkan '3500 mil' (di mana satu mil sama dengan seperseribu inci). Unit yang tersedia adalah mm, cm, m, in, pt dan mil.

Untuk mengubah unit pengukuran yang digunakan di seluruh aplikasi, pilih **Options** dari menu **Tools** dan pilih unit **Measurement** yang berbeda dari tab **General**.

Langkah 2: Memilih komponen

Selanjutnya, Anda dapat memilih komponen mana yang ditambahkan ke PCB.



Gambar 7.23 Memilih komponen

Setiap komponen yang ditemukan di sirkuit yang Anda buat akan terdaftar. ID mengidentifikasi jumlah komponen. Paket tersebut menunjukkan bentuk fisik dari komponen PCB yang dikonversi (dikenal sebagai paket). Double-klik dengan tombol kiri mouse pada komponen yang terdaftar, memungkinkan Anda mengubah komponen dikonversi. Resistor, misalnya, tersedia dalam berbagai ukuran sesuai dengan nilainya.

Untuk mencegah agar komponen tidak terkonversi semuanya, klik ikon tanda centang di sebelah kiri nama komponen. Tanda centang menunjukkan bahwa komponen akan dikonversi.

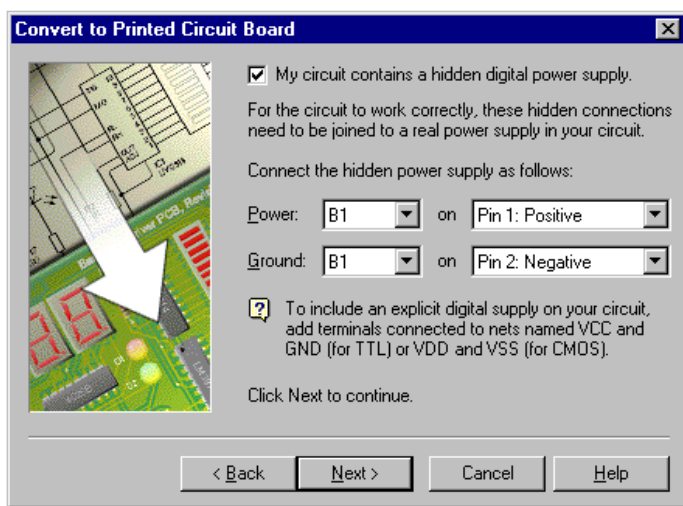
Langkah 3: Menambahkan daya digital

Pada langkah ketiga, Anda dapat menambahkan koneksi daya ke komponen digital di sirkuit Anda. Jika Anda tidak menggunakan komponen digital, Anda bisa melewati langkah ini.

Sambungan catu daya untuk komponen digital tidak ditunjukkan dalam diagram rangkaian. Agar PCB bekerja dengan benar, komponen ini perlu dihubungkan ke catu daya

yang sesungguhnya di sirkuit Anda. Biasanya, ini melibatkan menghubungkannya ke baterai.

Menghubungkan catu daya memerlukan dua koneksi, satu untuk power dan satu untuk ground. Di kotak daftar drop-down power and ground, Anda dapat menentukan sumber listrik mana yang harus memasok listrik ke komponen digital Anda. Untuk setiap komponen, Anda juga bisa menentukan pin yang digunakan. Jika Anda tidak memiliki komponen sumber yang sesuai seperti baterai untuk dihubungkan, Anda dapat memilih opsi (Otomatis) yang secara otomatis akan menambahkan *pads* yang diperlukan ke PCB.



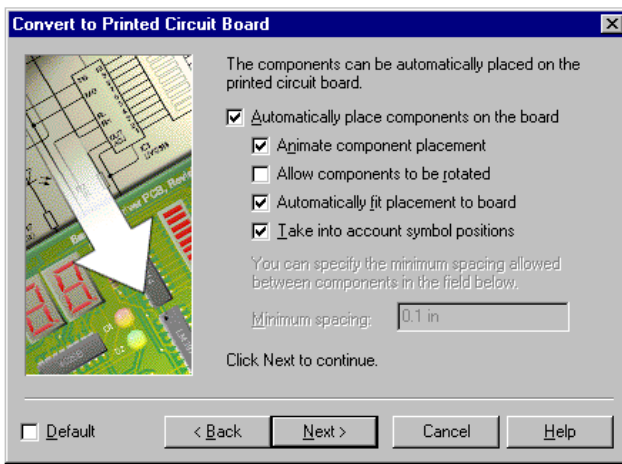
Gambar 7.24 Menambahkan catu daya

Langkah 4: Memilih penempatan komponen

Selanjutnya, Anda bisa menentukan bagaimana komponen diletakkan di PCB. Penempatan komponen adalah proses dimana posisi masing-masing komponen dihitung. Posisi dirancang untuk membantu proses routing otomatis yang biasanya mengikuti. Memilih secara otomatis menempatkan komponen pada opsi board akan memungkinkan penempatan

komponen otomatis. Jika Anda ingin menempatkan komponen itu sendiri, Anda harus menonaktifkan opsi ini. Perhatikan posisi simbol posisi, bila diaktifkan, cobalah memposisikan komponen PCB dengan urutan yang sama seperti pada diagram rangkaian aslinya.

Jarak minimum menentukan berapa banyak ruang ditempatkan di antara komponen. Pilihan ini hanya tersedia bila ukuran papan telah diatur secara manual (jarak tetap diperlukan agar ukuran papan dihitung secara otomatis).

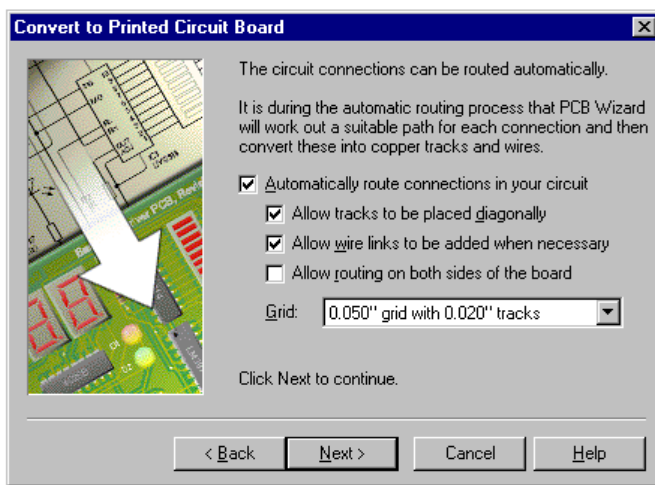


Gambar 7.25 Mengatur posisi komponen

Langkah 5: Ruoting otomatis

Bila komponen ditempatkan secara otomatis, Anda juga dapat mengaktifkan routing otomatis. Routing otomatis adalah proses dimana jalur atau rute dari setiap koneksi di dalam sirkuit Anda dihitung. Setiap koneksi akan diganti dengan jalur tembaga atau kawat. Pilih *“automatically route connections in your circuit”* di opsi rangkaian Anda untuk mengaktifkan routing otomatis. Menonaktifkan tombol *“allow tracks to be placed diagonally”* akan memaksa PCB Wizard untuk menempatkan trek baik secara horizontal maupun vertikal. *“Allow wire links to be added when*

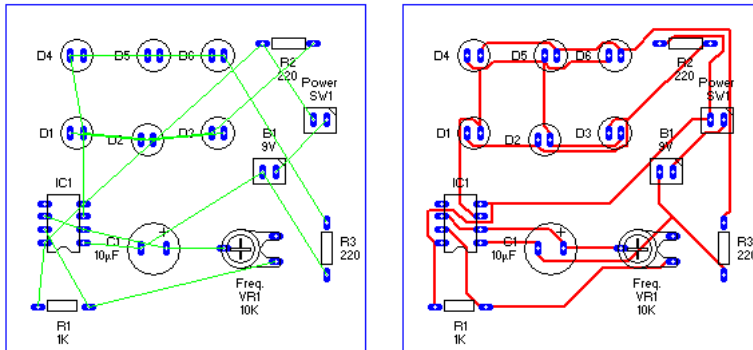
necessary” menambahkan kabel *jumping* kapan pun jalur lintasan yang sesuai tidak dapat ditemukan (hanya papan satu sisi). Untuk menghasilkan papan dua sisi, aktifkan tombol “*Allow routing on both sides of the board*”. Papan satu sisi hanya cocok untuk rangkaian sederhana. Papan dua sisi harus selalu digunakan untuk sirkuit yang kompleks, seperti yang terjadi saat rangkaian berisi lebih dari tiga atau empat sirkuit terpadu. Grid mengontrol jarak antar trek. Memiliki track yang lebih tebal membutuhkan grid yang lebih besar.



Gambar 7.26 Mengatur routing

Memahami proses routing otomatis

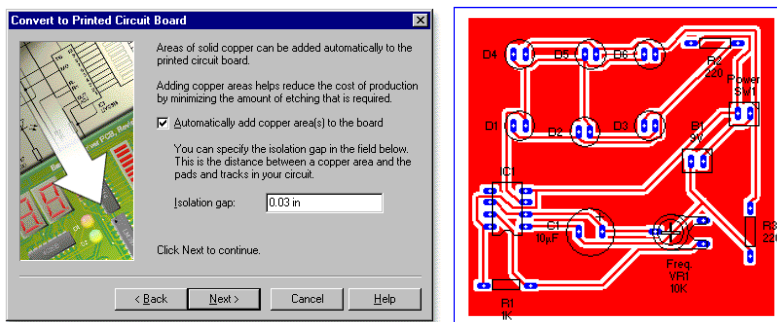
Saat sebuah sirkuit dikonversi, koneksi bersih (*net connection*) digunakan untuk mewakili setiap koneksi di sirkuit Anda. Jaring ini kemudian diubah menjadi trek selama proses routing otomatis. Untuk informasi lebih lanjut tentang penggunaan jaring, lihat dokumentasi PCB Wizard.



Gambar 7.27 Hasil routing: koneksi bersih (kiri) dan routed circuit yang menunjukkan track tembaga (kanan)

Langkah 6: Menambahkan area tembaga

Pada langkah keenam, area tembaga solid dapat ditambahkan untuk mengurangi biaya produksi Anda. Untuk menambahkan area tembaga, aktifkan “*Automatically add copper area(s) to the board*”. Di kolom “*Isolation gap*”, Anda dapat menentukan jarak, yang dikenal sebagai *isolation gap*, antara area tembaga dan *pads* atau trek di sirkuit Anda. *Isolation gap* harus selalu lebih dari nol dan biasanya sekitar 1 mm atau 0,04 inci.

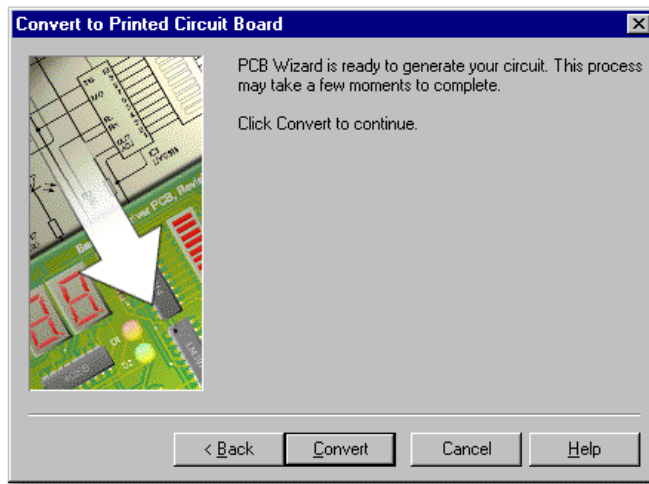


Gambar 7.28 Menambahkan area tembaga

Langkah 7: Mengkonversi rangkaian

Terakhir, Livewire memiliki semua informasi yang dibutuhkannya dan siap untuk terhubung ke PCB Wizard. Mengklik tombol “Convert” kemudian akan mentransfer sirkuit

Anda ke PCB Wizard dan mengkonversinya sesuai dengan pilihan yang Anda tentukan. PCB Wizard 3 harus aktif agar koneksi (link) bisa berlangsung. Jika Anda ingin meninjau pilihan pilihan Anda, Anda bisa mengklik tombol Back.



Gambar 7.29 Mengkonversi rangkaian

7.7. Menambahkan Text dan Symbol pada Sirkuit

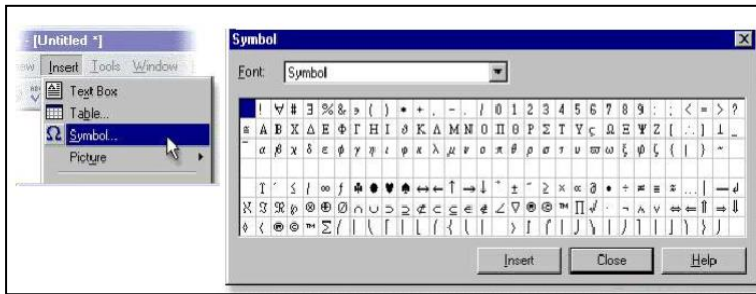
Anda bisa menambahkan teks ke dokumen Anda. Untuk menambahkan kotak teks pilih Text Box dari menu Insert.

Kursor akan berubah bentuk:  **Text Box cursor**

Kemudian, tekan dan tahan tombol kiri mouse. Dengan tombol mouse yang masih dipegang, gerakkan mouse untuk menentukan ukuran kotak teks yang akan ditambahkan. Selanjutnya, lepaskan tombol mouse kemudian akan membuat kotak teks kosong. Sekarang Anda bisa mengetik teks ke dalam kotak ini. Kursor berkedip, titik penyisipan, menunjukkan di mana teks akan dimasukkan saat Anda mengetik.

Untuk menambahkan simbol atau karakter khusus ke dalam kotak teks, pilih Simbol dari menu Insert. Sebuah jendela akan

muncul memungkinkan Anda untuk memilih simbol yang ingin Anda masukkan. Pilih simbol yang diperlukan dan kemudian klik pada tombol Insert. Simbol kemudian akan dimasukkan pada titik penyisipan berkedip pada kotak teks saat ini. Klik Close saat selesai.



Gambar 7.30 Menambahkan simbol

7.8. Mengorganisasikan Dokumen

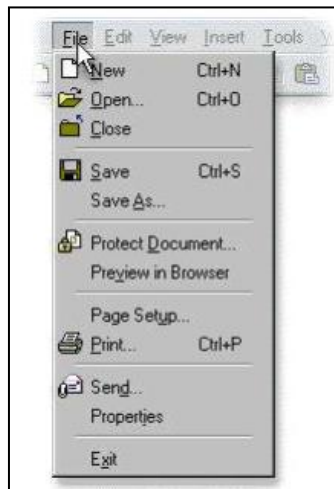
Dokumen di Livewire disimpan sebagai file. File-file ini memiliki ekstensi '.lvw'. Anda bisa mengatur file menggunakan menu File. Buat dokumen baru (kosong) dengan memilih New dari menu File. Klik pada tombol Open atau pilih Open dari menu File untuk membuka dokumen yang ada. Pilih dokumen yang ingin Anda buka dari jendela yang muncul. Daftar file yang paling baru dibuka ditampilkan di bagian bawah menu File. Anda bisa mengklik sebuah nama dari daftar untuk segera membuka dokumen itu.

Klik pada tombol Save atau pilih Save dari menu File untuk menyimpan dokumen Anda. Kotak dialog Save As akan muncul saat pertama kali Anda pilih save. Ini memungkinkan Anda memberi nama dokumen Anda. Ketik nama yang ingin Anda berikan pada dokumen Anda dan kemudian klik tombol Save.

Anda dapat menentukan berapa banyak file terbaru yang muncul di menu File dengan memilih Options dari Menu Tools,

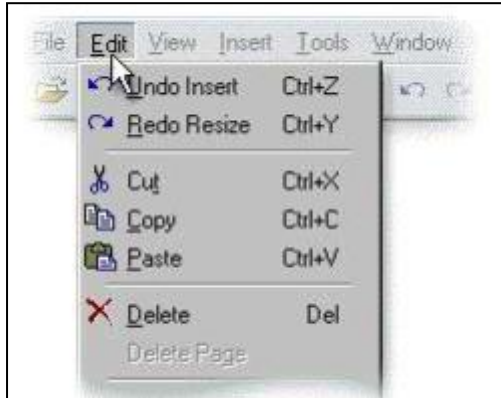
pilih tab General dan ubah opsi daftar file yang baru saja digunakan. Memilih Kirim memungkinkan Anda mengirim salinan dokumen terbaru melalui surat elektronik. Protect Document memungkinkan Anda untuk melindungi kata sandi dokumen Anda. Pratinjau di Browser berguna saat membuat buku elektronik karena akan membuka salinan dokumen terbaru di jendela browser baru.

Pilihan untuk mencetak dokumen juga tersedia dari menu File. Pilih Cetak untuk mencetak dokumen yang sekarang. Tata letak dokumen dapat diubah dengan memilih Page Setup.



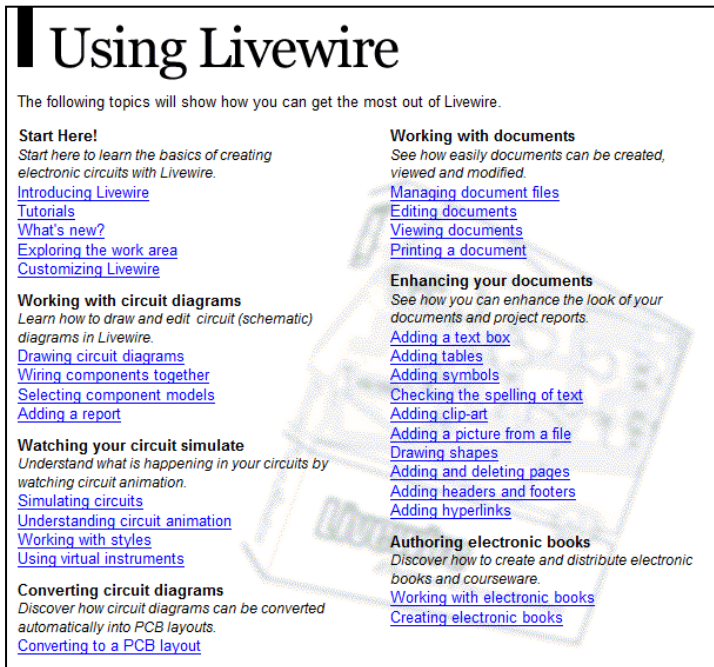
Gambar 7.31 Menyimpan dokumen Livewire

Sebagian besar perintah di Livewire bekerja pada objek yang dipilih dalam dokumen Anda. Alat seleksi memungkinkan Anda memilih objek tertentu yang ingin Anda gunakan. Setelah dipilih, objek kemudian dapat dipindahkan, diubah ukurannya, dihapus atau disalin ke clipboard. Selain itu, objek dapat diatur secara individual pada halaman dengan grid yang memungkinkan objek dapat disesuaikan dengan mudah. Kesalahan dapat diperbaiki dengan menggunakan kemampuan Livewire untuk membatalkan dan mengulang perintah.



Gambar 7.32 Menu edit pada Livewire

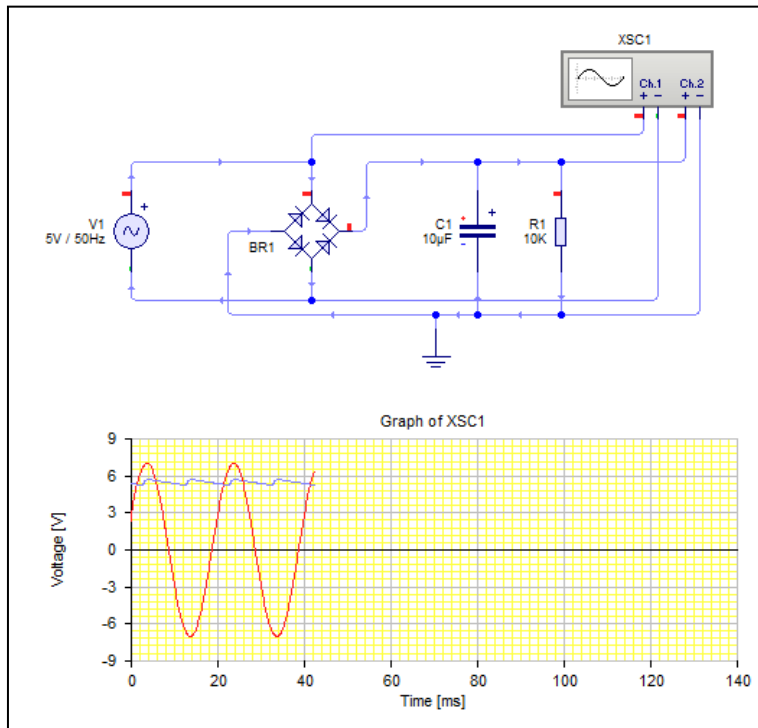
Untuk menemukan menu lain dari Livewire, anda dapat melihat pada Livewire help.



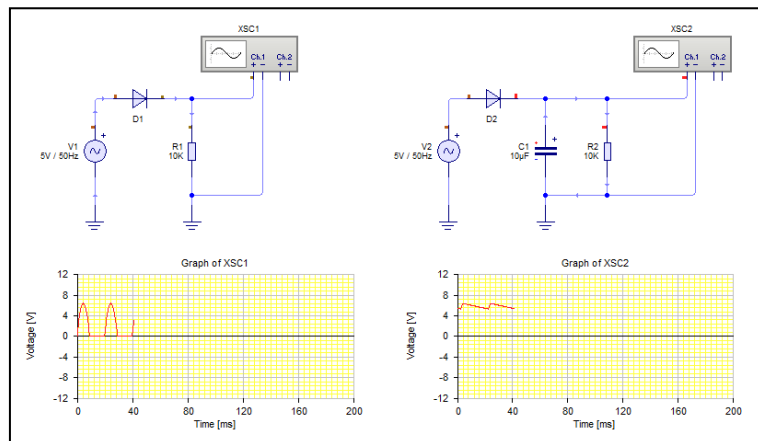
Gambar 7.33 Menu Livewire help

7.9. Latihan Membuat Rangkaian Listrik

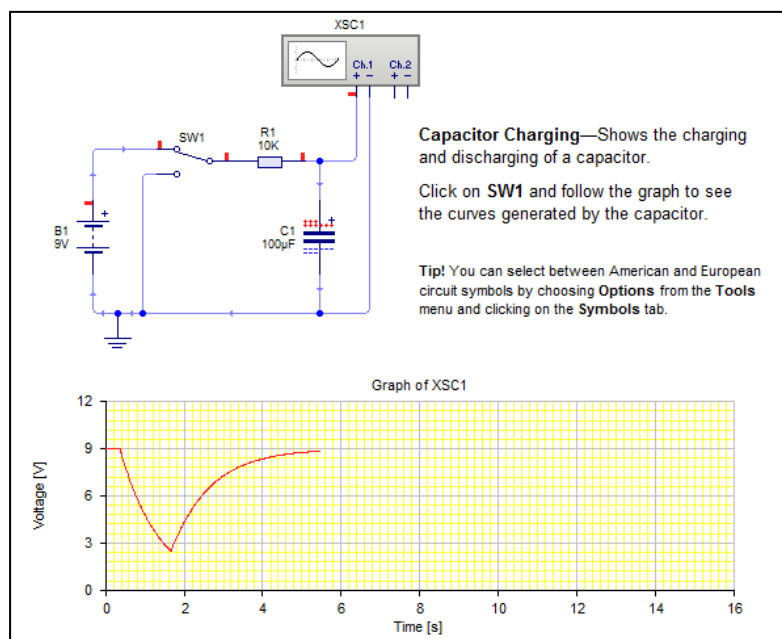
7.9.1. AC Full Wave Rectifier



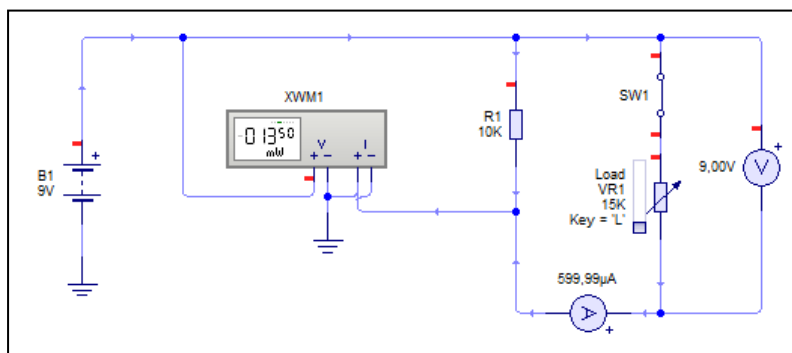
7.9.2. AC Half Wave Rectifier



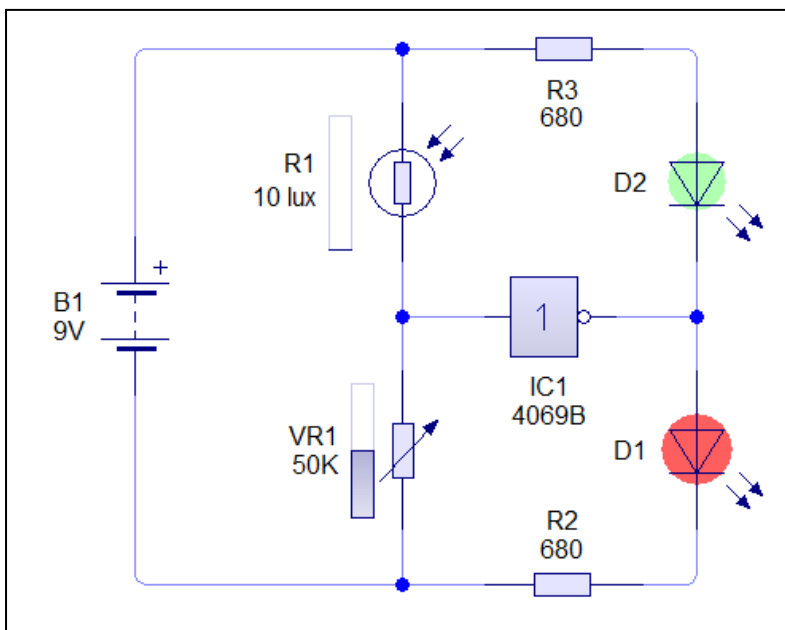
7.9.3. Capacitor Charging



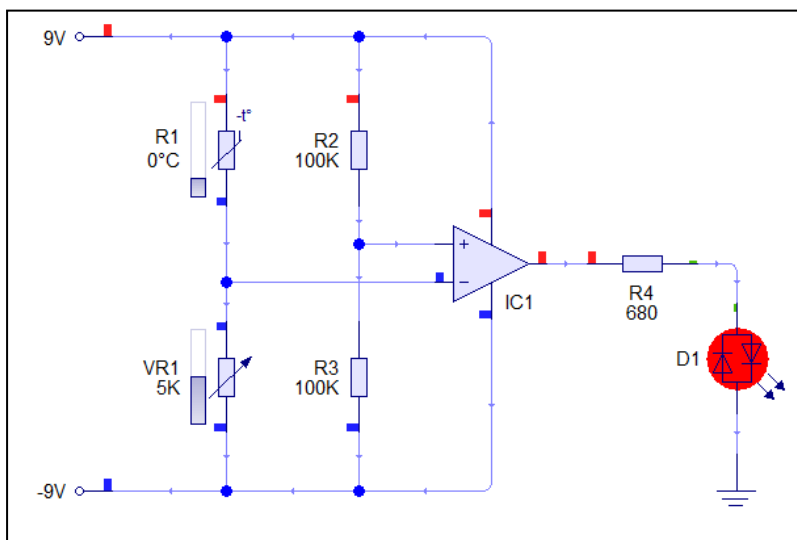
7.9.4. Measuring Power



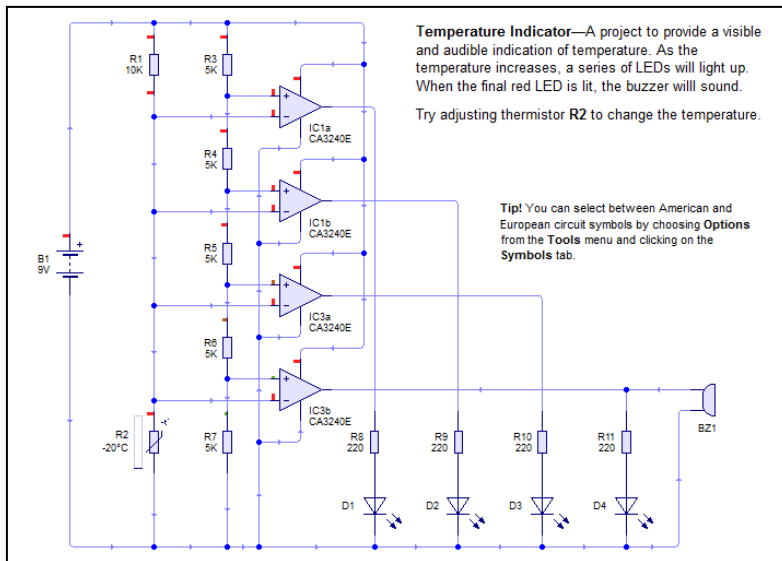
7.10.3. Capacitor Charging



7.10.4. Temperature Sensor

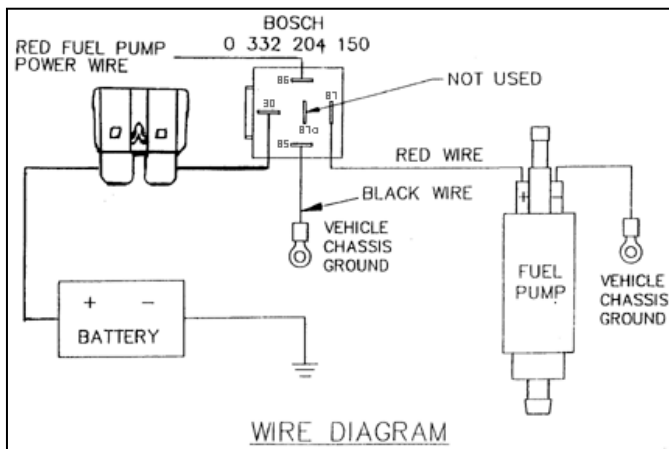


7.10.5. Temperature Indicator

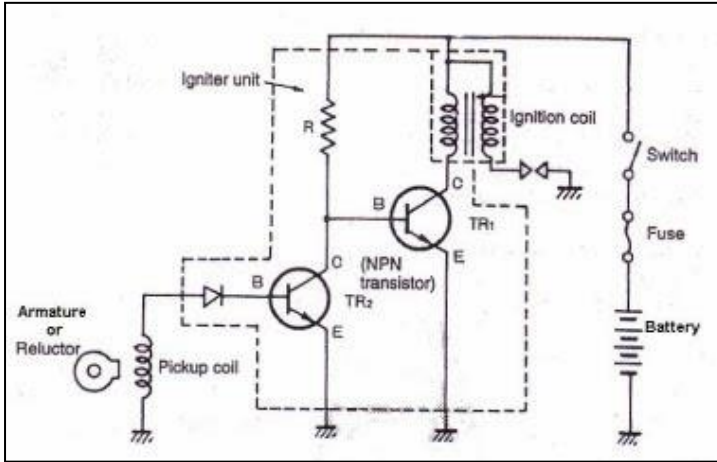


7.11. Evaluasi

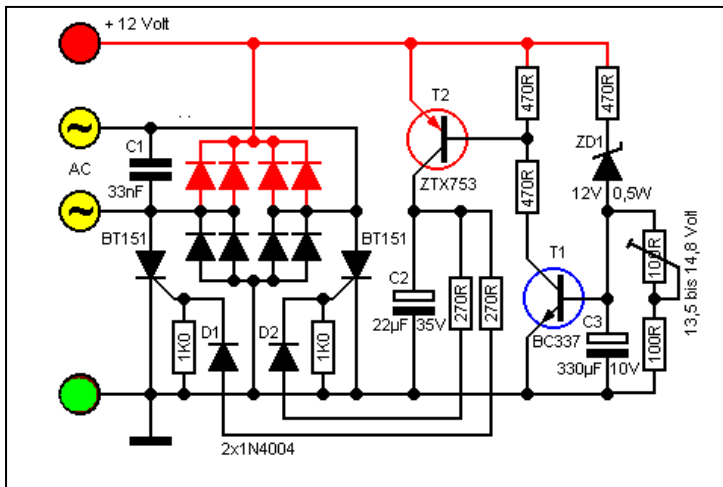
1. Buat dalam Livewire untuk sebuah rangkaian pompa bensin pada dibawah ini. Tambahkan alat ukur tegangan, arus, dan daya saat pompa tidak bekerja dan saat pompa bekerja.



2. Buat dalam Livewire untuk sebuah rangkaian sistem pengapian transistor dibawah ini. Tambahkan alat ukur tegangan, arus, dan pulsa yang dibangkitkan. Jika simulasi berhasil, buat rangkaian riilnya, kemudian ujikan pada mesin mobil.



3. Sebuah rangkaian penyearah arus seperti terlihat dalam Gambar berikut. Buat rangkain tersebut dalam Livewire kemudian simulasikan. Jika simulasi berhasil, buat rangkaian riilnya, kemudian ujikan pada sepeda motor.



Daftar Referensi

- [1] Toyota Motor, "Electrical Fundamentals," *www.autoshop101.com*. [Online]. Available: <http://www.autoshop101.com/forms/h1.pdf>.
- [2] *Basic Electricity*. Chino Valley: Technical Learning College, 2016.
- [3] A. Bonnicis, *Automotive Science and Mathematics*, First edit. Oxford: Elsevier Ltd, 2008.
- [4] Hyundai Training Support & Development, *Dasar Kelistrikan*. Hyundai Motor Company.
- [5] Wikipedia, "Volt," *wikipedia.org*, 2017. [Online]. Available: <https://id.wikipedia.org/wiki/Supernova>. [Accessed: 18-Oct-2017].
- [6] "Cara Mengukur Tahanan Konduktor," *ilmukabel*, 2016. [Online]. Available: <https://ilmukabel.wordpress.com/2016/05/12/cara-mengukur-tahanan-konduktor-conductor-resistance/>.
- [7] J. N. Fox, "Temperature coefficient of resistance," *Physics Education*, vol. 25, no. 3, pp. 167–169, 1990.
- [8] HSM Wire International, "Temperature coefficient of resistance," *www.hsmwire.com*, 2013. [Online]. Available: www.hsmwire.com. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [9] EndMemo, "Resistivity, Temperature calculator," *Endmemo*, 2016. [Online]. Available: <http://www.endmemo.com/physics/resistt.php>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [10] EndMemo, "Resistance Calculator," *Endmemo*, 2017. [Online]. Available: <http://www.endmemo.com/physics/resistance.php>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [11] Rapid Tables, "Ohm's Law Calculator." [Online]. Available: <http://www.rapidtables.com/calc/electric/ohms-law-calculator.htm>. [Accessed: 20-Oct-2017].

- [12] Rapid Tables, "Energy consumption calculator," 2016. [Online]. Available: <http://www.rapidtables.com/calc/electric/energy-consumption-calculator.htm>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [13] "Ohmmeter Working Principle of Ohmmeter," *Electrical4u*. [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/ohmmeter/>.
- [14] H. Hermanto, "Alat Ukur Kumparan Putar," *VEDC Malang*, 2015. [Online]. Available: <http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/listrik-electro/1036-drs-hendro-hermanto-m-t>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [15] Anish, "Permanent magnet moving coil instrument (PMMC)," *Marine Insight*, 2017. [Online]. Available: <http://www.marineinsight.com/marine-electrical/permanent-magnet-moving-coil-instrument-pmmc-working-and-application-on-ship/>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [16] "Permanent Magnet Moving Coil Instrument or PMMC Instrument," *www.electrical4u.com*. .
- [17] "Volt Meter Arus Searah (DC Volt Meter)," *Elektronika Dasar*, 2013. [Online]. Available: <http://elektronika-dasar.web.id/volt-meter-arus-searah-dc-volt-meter/>. [Accessed: 24-Oct-2017].
- [18] "Multimeter Elektronik Analog," *Elektronika Dasar*, 2012. [Online]. Available: <http://elektronika-dasar.web.id/instrument/multimeter-elektronik-analog/>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [19] CIE Instruction Department, "Analog Multimeter Basics and Measuring Resistance," *Cleveland Institute of Electronics*, 2011. .
- [20] CIE Instruction Department, "Basics to Measuring DC Voltage," *Cleveland Institute of Electronics*, 2011. [Online]. Available: cie-wc.edu/AnalogMultimeter_MeasuringDCVoltage_10-18.pdf. [Accessed: 15-Oct-2017].

- [21] CIE Instruction Department, "Analog Multimeter, Measuring Current," *Cleveland Institute of Electronics*, 2011. [Online]. Available: http://cie-wc.edu/Analog_Multimeter_MeasuringCurrent_10-26.pdf. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [22] NATE, "How to Read a Multimeter," *Sparkfun*. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-use-a-multimeter>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [23] T. Kuphaldt, "Voltage Divider Circuits : Divider Circuits And Kirchhoff's Laws - Electronics Textbook," *All About Circuits*. [Online]. Available: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-6/voltage-divider-circuits/>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [24] "Hukum Kirchhoff," *Elektronika Dasar*. [Online]. Available: <http://elektronika-dasar.web.id/hukum-kirchhoff/>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [25] PETE-O, "Series and Parallel Circuits," *learn.spark.fun*. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/series-and-parallel-circuits>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [26] "Parallel Resistance Calculator," *Electrical Engineering & Electronics Tools*. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/tools/parallel-resistance-calculator/>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [27] AspenCore, "Wheatstone Bridge Circuit and Theory of Operation," *Electronics Tutorials*, 2016. [Online]. Available: <http://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>. [Accessed: 17-Nov-2017].
- [28] Toyota Motor, "Electrical Circuits," *www.autoshop101.com*. [Online]. Available: <http://www.autoshop101.com/forms/h2.pdf>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [29] Toyota Motor, "Charging Systems," *www.autoshop101.com*. [Online]. Available: <http://www.autoshop101.com/forms/h8.pdf>. [Accessed: 25-Oct-2017].

- [30] K. R. Sullivan, "Understanding relays," *www.autoshop101.com*, 2007. [Online]. Available: <http://www.autoshop101.com/>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [31] TLX Technologies, "Solenoids for Automotive Applications," 2017. [Online]. Available: <https://www.tlxtech.com/markets/automotive/>. [Accessed: 26-Oct-2017].
- [32] "Motor Stepper ; Pengertian, cara kerja dan jenis-jenisnya," *Partner3D*. [Online]. Available: <http://www.partner3d.com/motor-stepper-pengertian-cara-kerja-dan-jenis-jenisnya/>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [33] "Motors and Selecting the Right One," *learn.sparkfun.com*. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/motors-and-selecting-the-right-one/stepper-motors---simply-precise>. [Accessed: 27-Oct-2017].
- [34] Hyundai Training Support & Development, *Engine Electrical*. Hyundai Motor Company.
- [35] Hyundai Training Support & Development, *Basic Electronic*, no. September. Hyundai Motor Company, 2002.
- [36] "Zener Diode as Voltage Regulator," *Electronics Tutorials*. [Online]. Available: http://www.electronicstutorials.ws/diode/diode_7.html <https://electrosome.com/zener-diode-voltage-regulator/>. [Accessed: 29-Oct-2017].
- [37] R. Khan, "Zener Diode, Basic Operation and Applications," *Digi-Key*, 2015. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/maker/blogs/zener-diode-basic-operation-and-applications/481a4d620c024ed9bce17bc61e2640f3>. [Accessed: 28-Oct-2017].
- [38] "Light Emitting Diode or the LED Tutorial," *Electronics Tutorials*. [Online]. Available: http://www.electronicstutorials.ws/diode/diode_8.html. [Accessed: 29-Oct-2017].

- [39] K. Mucevski, "Inductive and Hall Effect RPM Sensors Explained," *LinkedIn*, 2015. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/inductive-hall-effect-rpm-sensors-explained-kiril-mucevski>. [Accessed: 04-Nov-2017].
- [40] "Using Livewire." New Wafe Concepts, 2004.

Glosarium

Ammeter	Alat untuk mengukur arus listrik.
Analog	Sinyal data dalam bentuk gelombang yang kontinyu, yang membawa informasi dengan mengubah karakteristik gelombang.
Anode	Terminal dimana arus (konvensional) mengalir ke dalam perangkat dari luar.
Armatur	Komponen pada motor listrik yang menghasilkan daya. Armatur bisa di rotor (<i>rotating part</i>) atau stator (<i>stasioner part</i>) dari motor listrik.
Atom	Partikel terkecil dari suatu zat yang tidak dapat diuraikan menjadi partikel yang lebih kecil dengan reaksi kimia biasa. Pusat atom disebut nucleus, yang terdiri dari partikel kecil yang disebut proton dan neutron. Inti atom dikelilingi oleh partikel kecil lainnya yang disebut elektron.
Back electromotive	Gaya gerak listrik atau "voltase" yang melawan perubahan arus yang menginduksinya.
Baterai	Komponen pada kendaraan sebagai sumber tegangan.
Break-down voltage	Nilai tegangan minimal pada dioda untuk dapat mengalirkan arus listrik.
Brushes	Komponen pada motor listrik, alternator, atau generator listrik yang menyambungkan arus antara kabel stasioner dan bagian yang bergerak.

<i>Cathode</i>	Terminal dimana arus (konvensional) mengalir dari dalam ke keluar perangkat.
<i>Coulomb</i>	Satuan SI untuk muatan listrik, dan didefinisikan dalam ampere: 1 coulomb adalah banyaknya muatan listrik yang dibawa oleh arus sebesar 1 ampere mengalir selama 1 detik.
<i>Cut-off voltage</i>	Nilai Tegangan yg membuat rangkaian/komponen tidak aktif.
Daya listrik	Besar energi listrik yang ditransfer oleh suatu rangkaian listrik tertutup. Daya listrik sebagai bentuk energi listrik yang mampu diubah oleh alat-alat pengubah energi menjadi berbagai bentuk energi lain, misalnya energi gerak, energi panas, energi suara, dan energi cahaya.
<i>Deflecting torque</i>	Aksi elektromagnetik arus di koil dan medan magnet pada <i>permanent magnet moving coil</i> (PMMC).
Digital	Sinyal data dalam bentuk pulsa yang dapat mengalami perubahan yang tiba-tiba dan mempunyai besaran 0 dan 1.
<i>Discharging</i>	Pengosongan muatan listrik pada baterai
<i>Electromotive force</i>	Tegangan listrik yang dikembangkan oleh sumber energi listrik apapun seperti baterai atau motor listrik.
Elektrokimia	Metode yang didasarkan pada reaksi redoks, yakni gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi, yang berlangsung pada elektroda yang sama/berbeda dalam suatu sistem elektrokimia.

Elektromagnetik	Metode menghasilkan listrik melalui pemotongan gaya magnet.
Elektron	Partikel subatom yang bermuatan negatif.
Elektron bebas	Elektron-elektron yang sudah dikeluarkan dari suatu atom.
<i>Field coil</i>	Kumparan medan pada motor listrik.
Flux arus	Kerapatan arus, yaitu jumlah elektron yang mengalir melalui sebuah luasan penghantar.
Generator AC	Pembangkit listrik arus bolak balik.
Generator DC	Pembangkit listrik arus searah.
<i>Hall effect</i>	Suatu peristiwa berbeloknya aliran listrik (elektron) dalam pelat konduktor karena pengaruh medan magnet.
<i>Ignition coil</i>	Komponen sistem pengapian untuk menaikkan tegangan baterai menjadi tegangan pengapian yang bekerja dengan konsep transformator step-up.
Ion	Atom atau sekumpulan atom yang bermuatan listrik.
Koefisien temperatur	Sebuah konstanta untuk perubahan nilai tahanan suatu penghantar karena perubahan temperatur.
<i>Loop</i>	Lintasan arus pada rangkaian listrik tertutup (<i>close circuit</i>).
<i>Magnetic field</i>	Daerah didekat medan magnet yang terdampak kekuatannya magnet.
<i>Magnetic flux</i>	Jumlah garis gaya magnet pada luasan tertentu.

<i>Mutual induction</i>	Peristiwa saling menginduksi antara kumparan primer dan kumparan sekunder pada transformator.
Ohmmeter	Alat untuk mengukur tahanan listrik.
Orbit	Jalur lingkaran yang dilalui oleh elektron elektron pada atom.
<i>Pointer</i>	Jarum penunjuk pada skalator multimeter analog.
<i>Probe</i>	<i>Test lead</i> pada multimeter.
<i>Recharging</i>	Pengisian kembali muatan listrik pada baterai.
<i>Rectifier</i>	Komponen penyearah gelombang listrik.
Valensi	Jumlah elektron terluar pada suatu atom.
Voltmeter	Alat untuk mengukur tegangan listrik.
Zener	Diode yang memiliki karakteristik menyalurkan arus listrik mengalir ke arah yang berlawanan jika tegangan yang diberikan melampaui tegangan breakdown.

A

Ammeter · 15, 36, 37, 38, 53
analog · 44, 47, 51, 54, 143,
144, 152, 168, 169
anode · 130, 136
armatur · 100, 106
atom · 1, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 17

B

back electromotive · 129
baterai · 9, 12, 13, 26, 28, 31,
32, 40, 41, 45, 56, 57, 63,
68, 73, 74, 83, 93, 105,
108, 114, 115, 116, 117
battery cycling · 116
beda potensial · 12, 13, 14
break down · 126
brushes · 109

C

cathode · 130, 136
coulomb · 12
cut-off · 135

D

daya listrik · 11, 27
deflecting torque · 36
digital · 55, 61, 66, 68, 130, 143,
149, 151, 165, 167, 168,
169, 171, 173

discharging · 116

E

electromotive force · 102, 106,
109
electron moving force · 6, 12
elektrokimia · 114
elektromagnetik · 36, 98, 109,
114, 195
elektron · 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
10, 14, 15, 17, 18
elektron bebas · 1, 4, 5, 6, 7, 9,
10, 17
EMF · 6, 7, 12, 40, 106

F

field coil · 109
fleming · 35
Flux arus · 21

G

garis gaya magnet · 96, 97
generator AC · 106, 107
generator DC · 106, 107, 108,
109

H

Hall effect · 149
Hukum Kirchhoff · 64, 92
hukum Ohm · 11

I

ignition coil · 105
inversi · 203
ion · 1, 6, 10
isolator · 1, 7, 9, 12, 18

J

junction · 124, 136, 137, 146

K

kerapatan arus · 19
Kirchhoff · 63, 64, 65, 70
koefisien temperatur · 20
konduktor · 1, 7, 9, 10, 12, 17,
18, 19, 97, 98, 102, 106

L

Lead Dioxide · 115
lead dress · 97
lead-acid · 114, 117
Livewire · iii, 153, 154, 155,
156, 157, 158, 164, 166,
168, 169, 170, 179, 180,
181
loop · 65, 70, 71

M

magnetic field · 36
magnetic flux · 96
medan induksi · 35
monokromatik · 137
motor DC · 109, 110, 111
moving coil · 33, 36, 38, 44

multimeter analog · 33, 46, 47,
48, 49, 50, 53, 55, 62
multimeter digital · 33, 55, 56
mutual induction · 102

N

neutron · 3, 4, 5, 194
normally closed · 100
normally open · 100
nucleus · 3, 4, 194

O

Ohm law calculator · 11, 28, 29
Ohmmeter · 16, 39, 40, 41, 42,
51, 52
orbit · 3, 5, 6
overheating · 117

P

PCB · 153, 154, 155, 160, 170,
171
penyearah gelombang penuh
· 127, 128
PMMC · 33, 34, 36, 37, 38, 39,
40, 43, 44, 62
pointer · 36, 41, 42, 44, 47, 48,
49, 50, 51, 53, 55
polaritas · 47, 54, 66, 67, 68
primary coil · 102, 103, 104
probe · 39, 45, 47, 51, 52, 54,
56, 57, 58, 60, 66, 67, 68
proton · 3, 4, 5, 6, 7, 194

R

recharging · 116

rectifier · 109, 127, 128
relay · 100, 101
resistance calculator · 11, 12, 22,
23, 24, 31

S

Scopus · 203
sealed battery · 117
secondary coil · 102, 103, 104
self induction · 102
semikonduktor · 1, 7, 8, 10, 18
shunt resistor · 36, 38
slip ring · 106, 109
solenoid · 98, 99, 100
split ring · 106
Sponge Lead · 115
Step-down · 104
stepper · 110, 111, 112, 113,
114
Step-up · 103

T

torsi elektromagnetik · 35, 36

tranduser · ii, 121, 122, 123,
124
transformator · 102, 103, 104,
105
transistor · iii, 122, 123, 124,
129, 138, 139, 140, 141,
143, 152, 154, 155, 187

V

valensi · 1, 4, 6, 7, 8, 10
voltage drop · 68, 69, 71, 92
voltage regulator · 108
voltmeter · 12, 38, 39, 43, 66,
67, 68, 69

W

Wheatstone · 151
wiring · 63, 162
wiring hardness · 63

Z

zener · 132, 133, 134, 135
Zener · 131, 132, 133, 134
Zero Ohms Adjust · 52

Acknowledgements

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Prof. Kevin R Sullivan atas ijinnya untuk menggunakan sebagian gambar dan teks dari www.autoshop101.com dan kepada Bapak Dani Yusuf atas ijinnya untuk menggunakan sebagian gambar dan teks dari Buku Hyundai Training Support & Development. Tidak lupa, ucapan terimakasih juga disampaikan kepada seluruh penulis dan instansi yang karyanya disitasi dalam buku ini.



Salam Otomotif,

Terimakasih kepada Dr. Muji Setiyo, ST.,M.T. yang telah mempercayakan kepada saya untuk menjadi Editor buku yang berjudul “Listrik & Elektronika Dasar Otomotif” semoga dapat bermanfaat bagi pembacannya.



Profil Editor:

Ade Burhanudin (Burhan), lahir 27 Mei 1994 di Tegal. Sejak tahun 2012, menjadi Teknisi di Nissan Magelang.

Email: ade_burhanudin@yahoo.com



Contents of this book are quite comprehensive. All chapters begin with learning outcomes, followed by complete material, and close with accountable evaluation of learning outcomes. The emphasis of theory, concepts, and practice supported by examples of online applications and software to help solve problems is something new in this book. Hopefully, provide benefits for readers.

Ari Suryawan, M.Pd

Lembaga Pengembangan Pendidikan (LPP)
Universitas Muhammadiyah Magelang

Profil Penulis



Muji Setiyo, lahir di Temanggung pada tahun 1983. Tahun 2002 kuliah di Program Studi D3 Teknik Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang, selesai tahun 2006. Tahun 2007 melanjutkan ke Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, selesai tahun 2009. Kemudian, dari tahun 2010 sampai 2012 mengambil S2 di Program Magister Teknik Mesin Konsentrasi Konversi Energi di Universitas Pancasila Jakarta. Terakhir, tahun 2014 mengambil Program Doktor Teknik Mesin konsentrasi Konversi Energi, selesai tahun 2017. Saat ini, penulis aktif sebagai Dosen di Prodi Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang. Selain menulis buku, penulis juga telah menghasilkan artikel-artikel yang diterbitkan di jurnal terindeks Scopus dan Thomson Reuters, prototipe teknologi, dan invensi yang telah dipatenkan.



<http://orcid.org/0000-0002-6582-5340>



ScopusAuthor ID:
57189574332



Thomson Reuters Researcher ID:
R-3007-2017



<https://scholar.google.co.id/citations?user=ID85CesA AAAJ&hl=id>



https://www.researchgate.net/profile/Muji_Setiyo3



<https://academic.microsoft.com/#/profile/mujisetiyo>



<http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail?id=4547&view=overview>



setiyo.muji@ummgl.ac.id

LISTRIK & ELEKTRONIKA DASAR OTOMOTIF

(*Basic Automotive Electricity & Electronics*)

Buku ini terdiri dari tujuh bab, yang membahas tentang teori dasar listrik, besaran listrik (tegangan, arus, dan hambatan) dan pengukurannya, Hukum Kirchhoff, elektromagnetik dan elektrokimia yang diaplikasikan pada kendaraan, komponen semikonduktor dan transduser, serta praktek analisis sirkuit dengan laboratorium elektronik simulasi LiveWire. Dasar-dasar kelistrikan dan elektronika ini harus dikuasai oleh calon teknisi otomotif sebagai modal untuk melakukan kegiatan *Maintenance, Repair, Overhaul, Diagnostic*, dan *Testing* pada komponen kendaraan secara profesional.



Dr. Muji Setiyo, ST., MT.