

P-ISBN : 978-602-5791-93-2
E-ISBN : 978-602-5791-92-5

LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN 1

BOBBY DEMEIANTO, S.T., M.T.



AMaFRaD PRESS

Diterbitkan Oleh :

AMAFRAD PRESS

Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6
Jl. Medan Merdeka Timur No. 16, Jakarta Pusat 10110
Telp. (021) 3513300, Fax (021) 3513287
No. Anggota IKAPI : 501/DKI/2014

LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN 1

BOBBY DEMEIANTO, S.T., M.T.

ISBN 978-602-5791-93-2

ISBN 978-602-5791-92-5



AMaFRaD PRESS

MODUL ILMU LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN 1



**OLEH:
BOBBY DEMEIANTO, S.T.,M.T.**

**MODUL
ILMU LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN 1**

Penyusun :
Bobby Demeianto, S.T.,M.T.

Perancang Sampul :
Bobby Demeianto, S.T.,M.T.

Jumlah Halaman :
xiii+139 halaman

Edisi/Cetakan :
Pertama, 2019

Diterbitkan oleh :
AMAFRAD Press
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6, Jl. Medan Merdeka Timur no.16
Jakarta Pusat 10110
Telp. (021) 3513300 Fax: 3513287
Email : amafradpress@gmail.com
Nomor IKAPI: 501/DKI/2014

P-ISBN : 978-602-5791-93-2
E-ISBN : 978-602-5791-92-5

© 2019, Hak Cipta dilindungi oleh Undang-undang

MODUL
ILMU LISTRIK KAPAL PENANGKAP IKAN 1

Dilarang memproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku dalam bentuk atau cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

©Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang No.28 Tahun 2014

All Rights Reserved

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhana Wata'ala, karena atas berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan modul ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Judul Modul ini adalah "**Ilmu Listrik Kapal Penangkap Ikan 1**".

Modul ini diharapkan dapat digunakan sebagai modul pembelajaran untuk taruna pada Program Studi Permesinan Kapal di Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

Modul pembelajaran " Ilmu Listrik Kapal Penangkap Ikan 1" ini disusun berdasarkan tuntutan paradigma pengajaran dan pembelajaran kurikulum 2018 diselaraskan dengan berdasarkan pendekatan model pembelajaran yang sesuai untuk kebutuhan belajar kurikulum pada masa sekarang ini, yaitu dengan menggunakan pendekatan model pembelajaran berbasis peningkatan keterampilan melalui praktek ilmiah.

Penyajian modul ajar untuk Mata Kuliah " Listrik Kapal Penangkap Ikan 1" ini disusun dengan tujuan supaya taruna dapat melakukan proses pencarian pengetahuan berkenaan dengan materi pelajaran melalui berbagai aktivitas proses ilmiah sebagaimana dilakukan oleh para ilmuwan dalam melakukan eksperimen ilmiah (penerapan *scientific*), dengan demikian para taruna diarahkan untuk menemukan sendiri berbagai fakta menarik, membangun suatu konsep ilmiah, dan suatu nilai-nilai baru secara mandiri.

Penulis menyadari bahwa materi modul ini belum sempurna, oleh karena adanya keterbatasan ilmu dari penulis. Untuk itu penulis sangat mengharapkan masukan melalui surat atau melalui email untuk penyempurnaan modul ini dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dibidang kelautan dan perikanan.

Dumai, 2019

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhana Wata'ala, karena atas berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan modul ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Judul Modul ini adalah **“Ilmu Listrik Kapal Penangkap Ikan 1”**.

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada : Prof. Dr. Ketut Sugama, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Sonny Koeshendrajana, Prof. Dr. Ir. Ngurah N. Wiadnyana, DEA., Dr. Singgih Wibowo, M.S, Dr. Ing Widodo S. Pranowo, M.Si., dan Dr. Ir. I Nyoman Suyasa, M.S, Gunardi Kusumah, ST., MT. dan Dr.-Ing. Ir. Agus Maryono yang telah mengkoreksi dan memberikan masukan kepada Penulis sehingga modul ini menjadi lebih sempurna dan penyajian materi buku yg lebih baik.

Ucapan terima kasih juga tidak lupa penulis sampaikan kepada jajaran pimpinan Politeknik KP Dumai yaitu Bapak Iskandar Musa, A.Pi.,M.M selaku Direktur Politeknik KP Dumai serta jajaran Pembantu Direktur Politeknik KP Dumai yaitu Bapak Juniawan Preston Siahaan, A.Pi.,M.T. , Bapak Yuniar Endri Priharanto, S.St.Pi.,M.T., dan Bapak Muh Suryono, A.Pi.,M.P. Bapak Rizqi Ilmal Yaqin, S.T., M.Eng., selaku ketua program studi Permesinan Kapal dan Bapak Bobby Wisely Ziliwu, S.T.,M.T. selaku sekretaris program studi Permesinan Kapal.

Ucapan terima kasih juga ingin penulis sampaikan secara khusus kepada kedua orang tua penulis Bapak Moerdianto dan Ibu Sri Indra Djati, serta kakak dari penulis yaitu Aprenia Andita dan keluarga kecil penulis yaitu Ida Farida selaku istri penulis dan kedua putri kecil penulis Alkhansa Abdillah dan Nusaibah Abdillah, yang tidak pernah lelah untuk memberi semangat dan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materil.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL	ix
PETA MODUL.....	x
GLOSARIUM	xi
PENDAHULUAN.....	1
a. Umum	1
b. Kompetensi	1
c. Sub Kompetensi	2
1. KEGIATAN BELAJAR 1	3
1.1 Muatan Listrik	3
1.2 Indikator.....	3
1.3 Uraian Materi	3
1.4 Rangkuman	17
1.5 Penugasan	18
1.6 Tes Formatif 1.....	19
2. KEGIATAN BELAJAR 2	21
2.1 Konduktor	21
2.2 Indikator.....	21
2.3 Uraian Materi	21
2.4 Rangkuman	30
2.5 Penugasan	31
2.6 Tes Formatif 2.....	32
3. KEGIATAN BELAJAR 3.....	35
3.1 Isolator.....	35
3.2 Indikator.....	35
3.3 Uraian Materi	35
3.4 Rangkuman	43
3.5 Penugasan	44
3.6 Tes Formatif 3.....	44
4. KEGIATAN BELAJAR 4.....	47

4.1	Teori Dasar Listrik.....	47
4.2	Indikator.....	47
4.3	Uraian Materi	47
4.4	Rangkuman	57
4.5	Penugasan	57
4.6	Tes Formatif 4.....	58
5.	KEGIATAN BELAJAR 5.....	61
5.1	Hukum – hukum Tegangan dan Arus dalam Arus Searah.....	61
5.2	Indikator.....	61
5.3	Uraian Materi	61
5.4	Rangkuman	83
5.5	Penugasan	84
5.6	Tes Formatif 5.....	86
6.	Kegiatan Belajar 6.....	89
6.1	Dasar Listrik Arus Bolak – Balik	89
6.2	Indikator.....	89
6.3	Uraian Materi	89
6.4	Rangkuman	103
6.5	Penugasan	104
6.5	Tes Formatif 6.....	105
7.	Kegiatan Belajar 7.....	107
7.1	Kapasitor dan Induktor.....	107
7.2	Indikator.....	107
7.3	Uraian Materi	107
7.4	Rangkuman	122
7.5	Penugasan	123
7.6	Tes Formatif 7.....	124
	PENUTUP	127
	TES SUMATIF	129
	Kunci Jawaban Tes Formatif.....	137
	Kunci Jawaban Tes Sumatif.....	138
	Daftar Pustaka	139

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Metode Pemuatan Listrik.....	8
Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Bahan Konduktor.....	25
Tabel 2.2 Nilai Koefisien suhu material konduktor.....	29
Tabel 3.1 Nilai tahanan jenis dari bahan isolator	39
Tabel 3.2 Klasifikasi bahan isolator.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Susunan Atom.	4
Gambar 1.2 Percobaan Listrik statis sederhana.	6
Gambar 1.3 Percobaan penggaris plastik dengan air.	7
Gambar 1.4 Elektroskop.	10
Gambar 1.5 Fenomena petir.	15
Gambar 1.6 Listrik statis pada pengecatan.	16
Gambar 2.1 Pita Energi.	22
Gambar 2.2 Bagan Klasifikasi Jenis Logam.	24
Gambar 3.1 Ilustrasi Saluran Udara.	36
Gambar 3.2 SF ₆ Circuit Breaker.	36
Gambar 3.3 Name Plate Motor Induksi.	41
Gambar 4.1 Atom dan Elektron pada suatu material.	48
Gambar 4.2 Hubungan antara tegangan, arus dan hambatan.	54
Gambar 4.3 Hubungan antara Tegangan, arus, hambatan dan daya listrik.	56
Gambar 4.4 Rumus–rumus Tegangan, arus, hambatan dan daya listrik.	56
Gambar 5.1 Simbol baterai dalam rangkaian listrik.	62
Gambar 5.2 Simbol hambatan dalam rangkaian listrik.	62
Gambar 5.3 Rangkaian seri.	63
Gambar 5.4 Sumber tegangan dihubung seri dengan polaritas sama.	65
Gambar 5.5 Sumber tegangan dihubung seri dengan polaritas berbeda.	66
Gambar 5.6 Rangkaian listrik tertutup.	67
Gambar 5.7 Hubungan sejajar / paralel suatu rangkaian.	70
Gambar 5.8 Jaringan rangkaian paralel sederhana.	72
Gambar 5.9 Penerapan Hukum Arus Kirchoff.	75
Gambar 5.10 Voltmeter arus DC dan arus AC.	79
Gambar 5.11 Pengukuran dengan Voltmeter.	80
Gambar 5.12 Ampere-meter arus DC.	80
Gambar 5.13 Pengukuran dengan Ampere-meter.	81
Gambar 5.14 Ohm- Meter.	81
Gambar 5.15 Multi-meter.	82
Gambar 6.1 Perbedaan arah arus AC dengan arus DC.	90
Gambar 6.2 Percobaan Induksi Elektromagnet oleh Michael Faraday.	91
Gambar 6.3 Prinsip kerja generator AC sederhana.	92
Gambar 6.4 Nilai sesaat gelombang sinusoidal.	93
Gambar 6.5 Nilai Rata-rata, nilai efektif dan nilai puncak.	94
Gambar 6.6 Stator dan Rotor.	98
Gambar 6.7 Generator Sinkron.	98
Gambar 6.8 Penampang motor induksi.	99
Gambar 6.9 Transformator sederhana.	101
Gambar 6.10 Proses Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik.	102
Gambar 6.11 Transformator Tenaga Listrik.	102
Gambar 7.1 Lambang Kapasitor pada rangkaian listrik.	108

Gambar 7.2 Kapasitor Seri.	108
Gambar 7.3 Kapasitor Paralel.	109
Gambar 7.4 Lambang Induktor.	109
Gambar 7.5 Induktor Hubungan Seri.	110
Gambar 7.6 Induktor Hubungan paralel.	110
Gambar 7.7 Rangkaian sumber AC dengan Resistor.	111
Gambar 7.8 Bentuk gelombang sinusoidal beban resistif.	112
Gambar 7.9 Rangkaian sumber AC dengan Kapasitor.	113
Gambar 7.10 Bentuk gelombang sinusoidal beban kapasitif.	114
Gambar 7.11 Rangkaian sumber AC dengan Induktor.	115
Gambar 7.12 Gelombang Sinusoidal beban Induktif.	117
Gambar 7.13 Rangkaian arus bolak-balik dengan tahanan dan kapasitor.	118
Gambar 7.14 Rangkaian arus bolak-balik dengan tahanan dan induktor.	120

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Modul ini berisikan tentang pengetahuan dasar kelistrikan yang berasal dari berbagai sumber yang menjadi referensi penulis untuk menyelesaikan materi modul. Modul ilmu listrik kapal penangkap ikan 1 terdiri dari tujuh kegiatan belajar utama untuk memahami teori dasar kelistrikan. Pada setiap akhir dari kegiatan belajar diberikan penugasan dan tes formatif untuk taruna guna melatih pemahaman taruna dalam teori kelistrikan. Pada akhir kegiatan, terdapat tes sumatif yang berisikan soal-soal yang terdiri seluruh materi yang ada pada modul ilmu listrik kapal penangkap ikan1.

Modul ilmu listrik kapal penangkap ikan 1 ini diharapkan dapat membantu taruna dalam kegiatan belajar mandiri. Kegiatan belajar yang terdapat di dalam modul ini disusun dengan menyesuaikan kurikulum dan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang berlaku. Kegiatan belajar pada modul ini meliputi:

Kegiatan 1. Muatan Listrik

Kegiatan 2. Konduktor

Kegiatan 3. Isolator

Kegiatan 4. Teori Dasar Listrik

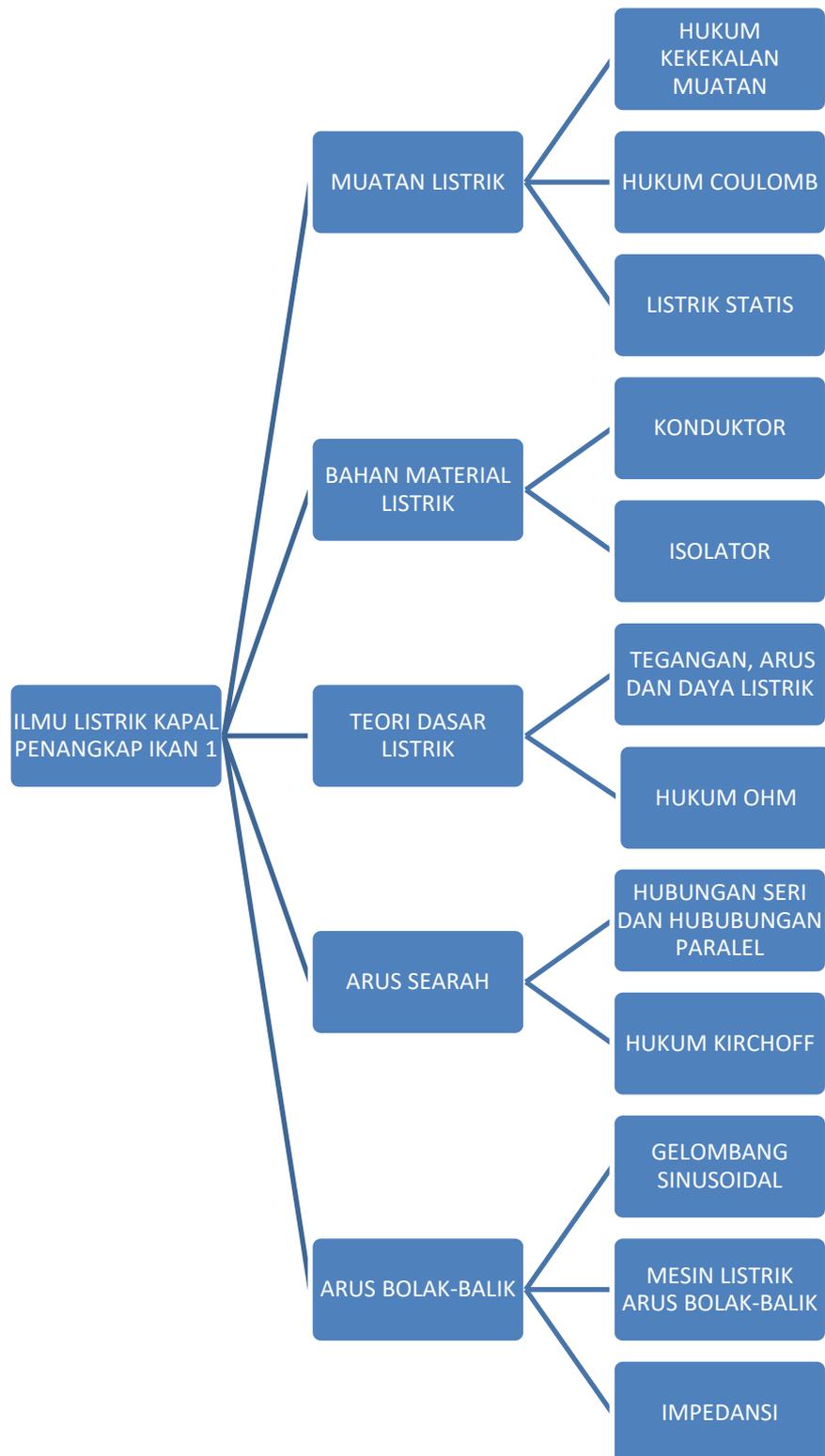
Kegiatan 5. Hukum-Hukum Tegangan dan Arus dalam Arus Searah

Kegiatan 6. Dasar Listrik Arus Bolak-Balik

Kegiatan 7. Kapasitor dan Induktor

Taruna diharapkan dapat mempelajari modul ilmu listrik kapal penangkap ikan 1 secara sistematis dan berurutan. Jika taruna belum dapat menguasai minimal 70% dari isi modul, maka sangat disarankan untuk mengulangi kembali hingga mencapai minimal 70% dari isi keseluruhan modul. Diskusikanlah dengan teman dalam satu prodi dengan membuat sistem belajar kelompok agar dapat memahami isi dari modul ini. Jika masih terdapat hal-hal yang kurang dimengerti mengenai ilmu kelistrikan yang terdapat di dalam modul ini, maka taruna dapat bertanya langsung kepada dosen atau pengajar yang mempunyai kompetensi terkait di bidang kelistrikan.

PETA MODUL



GLOSARIUM

Arus bocor

Arus listrik di suatu lintasan konduktif yang tak diinginkan pada kondisi operasi normal

Circuit Breaker

Saklar elektrik yang berfungsi otomatis untuk mencegah kerusakan terjadi pada sirkuit listrik dikarenakan adanya hubungan singkat/*short circuit*, beban berlebihan/*overload*, dan gangguan ke tanah/*ground fault*.

Email

Lapisan kawat tembaga atau konduktor lainnya.

IEC

International Electrotechnical Commission, suatu organisasi standarisasi internasional nirlaba yang menyiapkan dan mempublikasikan standar internasional untuk semua teknologi elektrik, elektronika dan teknologi lain yang terkait yang secara kolektif dikenal dengan elektroteknologi.

Impregnasi

Proses penjenuhan atau pemenuhan suatu material dengan gas atau cairan

Kabel NYA

Kabel dengan inti tembaga tunggal berisolasi bahan PVC satu lapis.

Kabel NYM

Kabel dengan inti tembaga lebih dari satu dan berisolasi bahan PVC serta diisolasi dengan bahan PVC kembali di bagian luarnya.

Kabel NYY

Kabel dengan inti tembaga satu atau lebih dan berisolasi bahan PVC serta diisolasi dengan bahan PVC kembali di bagian luarnya.

Korosi

Kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya. Contoh : karat pada besi.

Name Plate

Suatu papan nama yang pada umumnya terbuat dari bahan plat besi yang di dalamnya tertulis spesifikasi dari suatu peralatan atau ekuipmen.

SUTR

Saluran Udara Tegangan Rendah, suatu saluran distribusi listrik bertegangan rendah (220 V – 1000 V).

SUTM

Saluran Udara Tegangan Menengah, suatu saluran distribusi listrik bertegangan Menengah (3.3 kV – 20 kV).

SUTT

Saluran Udara Tegangan Tinggi, suatu saluran transmisi tenaga listrik bertegangan tinggi (70 kV – 150 kV).

SUTET

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, suatu saluran transmisi tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi (500 kV).

PENDAHULUAN

a. Umum

Listrik merupakan suatu energi sekunder yang pada masa sekarang ini hampir menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat. Seluruh peralatan baik untuk industri maupun rumah tangga saat ini beroperasi dengan menggunakan sumber energi listrik. Di Indonesia, instalasi tenaga listrik harus dilakukan oleh tenaga ahli listrik yang kompeten di bidangnya. Karena listrik sendiri merupakan suatu energi yang dapat kita manfaatkan dengan baik apabila kita mengetahui ilmu dasarnya tetapi dapat juga menjadi bencana apabila kita tidak menggunakannya dengan baik dan benar sesuai dengan standar yang berlaku.

Seorang tenaga ahli dalam bidang kelistrikan harus dapat melakukan pemasangan, perawatan, dan perbaikan sistem perkabelan elektrik, peralatan, dan instalasi listrik. Seorang ahli listrik juga harus dapat memastikan bahwa pekerjaan yang dilakukannya sesuai dengan aturan-aturan atau standard kelistrikan yang berlaku baik di dalam maupun luar negeri.

Dalam menunjang tugasnya sebagai seorang ahli dalam bidang kelistrikan, seorang tenaga ahli dalam bidang kelistrikan juga dituntut untuk dapat menguji sistem kelistrikan atau kesinambungan sirkuit listrik pada sistem perkabelan elektrik, peralatan, atau instalasi listrik, dengan menggunakan alat pengujian, seperti *insulation tester*, *ohmmeter*, *voltmeter*, *amperemeter* atau *multitester*, untuk memastikan sistem sudah aman dan sesuai dengan standard kelistrikan yang berlaku.

Modul Listrik kapal Penangkap Ikan 1 ini berisi tentang muatan listrik, bahan material listrik, teori dasar listrik, hukum tegangan dan arus dalam arus searah, dasar listrik arus bolak-balik dan kapasitor dan induktor.

b. Kompetensi

Taruna dapat mengerti mengenai teori dasar listrik baik listrik arus searah maupun listrik arus bolak-balik. Selain itu diharapkan taruna dapat mengaplikasikan pengetahuan mengenai ilmu kelistrikan ini di dalam pekerjaan maupun kehidupan sehari-hari.

c. Sub Kompetensi

Taruna mampu menguasai ilmu kelistrikan yang meliputi:

1. Pengertian dasar dan istilah umum di bidang listrik yaitu tegangan, arus, dan daya listrik.
2. Dasar listrik arus searah dan hukum-hukum yang berlaku di dalamnya
3. Hubungan dalam rangkaian listrik yang meliputi hubungan seri, parallel maupun kombinasi keduanya.
4. Penggunaan alat ukur kelistrikan meliputi volt-meter, ampere-meter, ohm-meter dan multi-meter.
5. Dasar listrik arus bolak-balik dan istilah-istilah yang ada di dalamnya.



1. KEGIATAN BELAJAR 1



1.1 Muatan Listrik

Kegiatan belajar ini menjelaskan tentang pengertian dari muatan listrik, macam-macam jenis dari muatan listrik, hukum kekekalan muatan dan hukum Coulomb.

1.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat:

- (1) Memahami pengertian dari muatan listrik;
- (2) Menjelaskan benda – benda yang dikatakan bermuatan netral, bermuatan positif, dan bermuatan negatif;
- (3) Menjelaskan hukum kekekalan muatan dan hukum Coulomb.

1.3 Uraian Materi

A. Model Atom

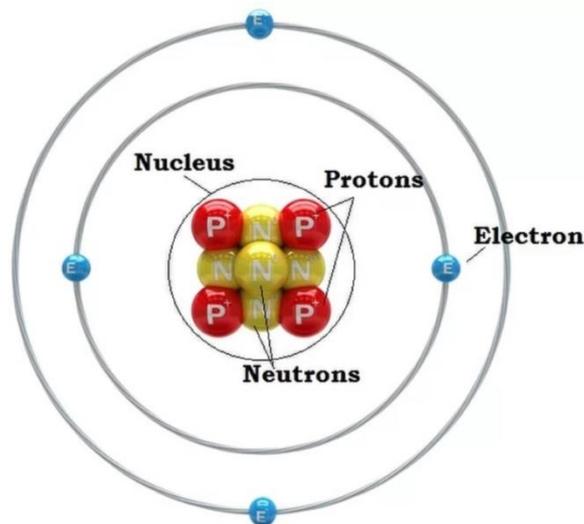
Suatu zat terdiri dari susunan suatu partikel-partikel dan suatu partikel merupakan susunan atas atom-atom. Teori atom ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama John Dalton pada 1808. Teori Atom Dalton menyebutkan bahwa :

- (1) Atom adalah bagian terkecil dari sebuah materi yang sudah tidak dapat untuk dibagi lagi;
- (2) Apabila unsurnya sama, maka atom penyusunnya sama. Jika unsurnya berbeda, maka atom penyusunnya pun berbeda.
- (3) Atom dapat membentuk suatu senyawa dengan perbandingan jumlah atom yang berbeda.
- (4) Atom tidak dapat diciptakan, dibelah atau dimusnahkan. Atom dapat digabungkan atau dapat dipisahkan melalui reaksi kimia.

Pada 1911, seorang ilmuwan lain yang bernama Rutherford, mengembangkan teori atom terdahulu dengan menyatakan bahwa suatu atom terdiri atas inti atom yang memiliki muatan positif dan elektron yang memiliki muatan negatif yang berputar mengelilingi inti atom tersebut. Pada 1913, seorang ilmuwan bernama Niels Henrik David Bohr, menyatakan bahwa suatu elektron yang memiliki muatan negatif berputar mengelilingi inti atom yang memiliki muatan positif. Bohr mengungkapkan bahwa elektron tersebut berputar dengan suatu lintasan tertentu yang disebut dengan kulit elektron. Elektron yang

menempati kulit elektron tertentu memiliki energi tertentu pula. Semakin besar suatu kulit elektron, maka semakin besar tingkat energinya.

Pada 1932, seorang ilmuwan bernama James Chadwick melakukan penyempurnaan dari model atom yang ditemukan oleh Rutherford dan Bohr. Dia menemukan penyusun inti atom. Chadwick menjelaskan bahwa suatu inti atom tersusun atas proton yang memiliki muatan positif dan neutron yang tidak bermuatan atau netral. Dengan ditemukannya teori atom yang baru oleh Chadwick, maka dapat dikatakan bahwa teori atom telah disempurnakan dengan ditemukannya neutron yang terletak pada inti atom. Proton dan Neutron selalu terikat di dalam inti atom yang dapat juga disebut dengan Nukleon. Inti atom selalu dikelilingi oleh elektron yang berputar mengelilingi inti atom dengan cepat.



Gambar 1.1 Susunan Atom.

Sumber: <https://www.livescience.com/37206-atom-definition.html>

B. Teori Atom

Suatu atom akan dikatakan bermuatan netral apabila memiliki proton dan elektron dalam jumlah yang sama. Proton dan neutron terikat kuat di dalam inti atom yang dipengaruhi oleh gaya ikat dari inti atom tersebut. Elektron berputar mengelilingi inti atom tetap pada lintasannya yang disebabkan oleh adanya gaya ikat dari inti atom. Apabila elektron berkedudukan jauh dari inti atom, maka gaya ikat dengan inti atom pun lemah, sehingga elektron yang terletak jauh dari inti atom akan mudah terlepas dari lintasannya dan dapat meninggalkan atom tersebut apabila suatu atom dikenai suatu energi yang sangat tinggi atau melalui reaksi kimia.

Saat sebuah atom menerima kelebihan elektron, maka jumlah elektron akan menjadi lebih banyak dari jumlah protonnya sehingga mengakibatkan atom tersebut menjadi bermuatan

negatif atau dapat disebut dengan atom negatif. Sebaliknya, apabila suatu atom kehilangan satu atau beberapa elektronnya, maka akan mengakibatkan jumlah proton menjadi lebih banyak dari jumlah elektronnya sehingga akan mengakibatkan atom menjadi bermuatan positif atau disebut juga dengan atom positif.

C. Fenomena Listrik Statis

Pelajaran listrik statis adalah pelajaran yang mengupas tentang muatan listrik yang untuk sementara berdiam pada suatu benda atau suatu material. Penelitian mengenai listrik statis pertama kali dilakukan oleh seorang ilmuwan Yunani kuno bernama Thales of Miletus (625-574 SM). Dia menggosok-gosokkan sebuah batu ambar pada sebuah kain wol dan kemudian mendekatkannya pada benda ringan, seperti bulu ayam. Saat itu, bulu ayam tersebut terbang dan menempel pada batu ambar. Berasal dari kata batu ambar inilah istilah listrik berasal. Listrik (*electricity*) diambil dari kata elektron, yang dalam bahasa Yunani memiliki arti batu ambar.

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya bahwa Atom merupakan unsur penyusun dari suatu zat / benda / material yang pada dasarnya tersusun dari partikel-partikel yang sangat kecil, disebut partikel subatom. Telah diketahui bahwa terdapat tiga jenis partikel subatom yang penting dan perlu kita ketahui, yaitu proton, neutron, dan elektron.

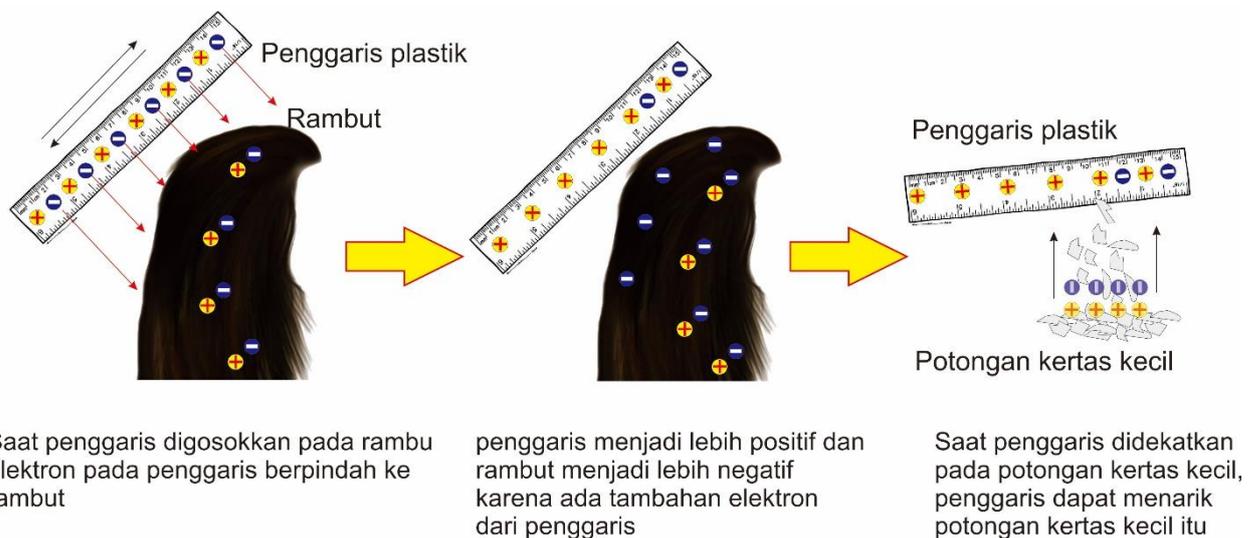
Subpartikel dari suatu atom yang memiliki sifat yang sama sama, yaitu proton dan elektron, kemudian dapat disebut sebagai muatan listrik. Muatan listrik dapat diibaratkan seperti udara yang tidak dapat dilihat, tetapi bisa dirasakan. Akibatnya, penelitian yang berkaitan dengan muatan listrik hanya bisa dilakukan berdasarkan efek reaksi yang diberikannya.

Besar suatu muatan listrik tergantung dari jumlah kelebihan atau kekurangan elektron yang dilambangkan dengan simbol Q . Satuan dari muatan listrik adalah Coulomb atau biasa disingkat dengan C .

Satu Coulomb dapat didefinisikan sebagai muatan total yang mengandung **$6,242 \times 10^{18}$ elektron**. Sedangkan nilai dari suatu muatan per satu elektron adalah **$1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb**.

Percobaan I

Siapkan sebuah penggaris plastik dan sejumlah potongan kertas dalam ukuran kecil. Gosokkan penggaris plastik pada rambut selama beberapa 10 – 20 detik. Dekatkan penggaris plastik tersebut pada potongan kertas kecil yang telah disiapkan. Kira-kira apa yang akan terjadi? Coba diperhatikan baik-baik percobaan ini apakah yang akan terjadi seperti berikut : potongan kertas kecil tersebut akan menempel ke penggaris plastik. Percobaan di atas menunjukkan fenomena dari muatan listrik, yang mana penggaris plastik yang sebelumnya memiliki muatan netral atau seimbang berubah menjadi bermuatan positif setelah digosokkan pada rambut dikarenakan adanya perpindahan elektron dari penggaris ke rambut. Potongan kertas yang masih memiliki muatan seimbang atau netral di dalamnya akan menempel pada penggaris plastik tersebut dikarenakan adanya perpindahan muatan elektron pada potongan kertas tersebut menuju penggaris plastik karena tertarik dengan muatan positif pada penggaris.

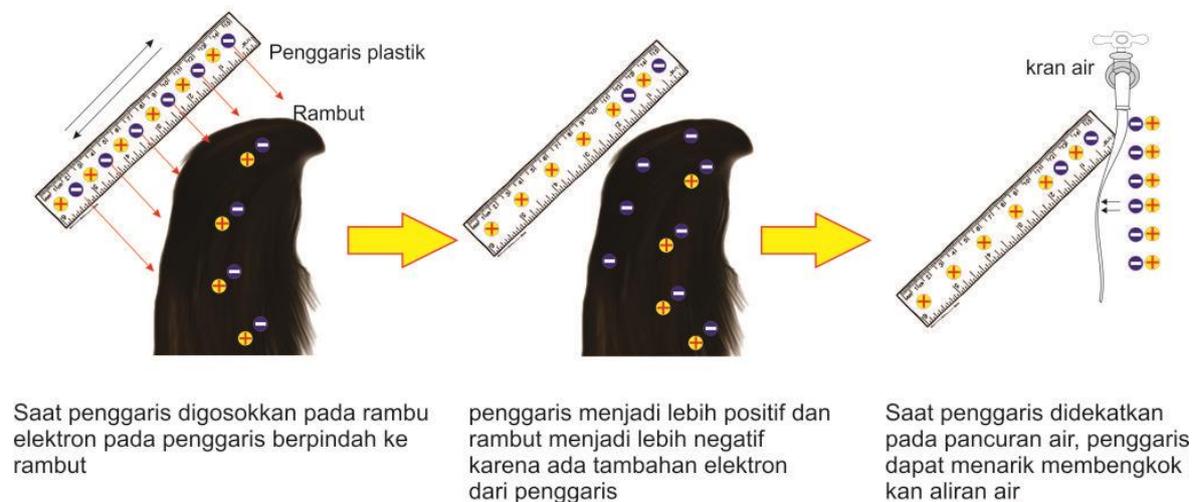


Gambar 1.2 Percobaan Listrik statis sederhana.

Sumber: <https://cahyokrisma.wordpress.com/2015/08/12/darimana-listrik-muncul/>

Percobaan II

Pada percobaan kedua ini, kita akan mencoba menggerakkan muatan elektron yang ada pada penggaris plastik supaya muatan elektron tersebut dapat berpindah ke rambut, sehingga bisa dimanfaatkan untuk membengkokkan air mancur. Seperti pada percobaan pertama, untuk dapat memindahkan muatan elektron pada penggaris plastik, maka kita harus menggosokkan penggaris plastik tersebut pada rambut. Setelah penggaris plastik digosokkan pada rambut, maka rambut akan memiliki kelebihan muatan elektron dan penggaris akan menjadi lebih bermuatan positif karena adanya perpindahan muatan elektron. Sehingga pada saat penggaris plastic didekatkan pada aliran air dari kran, maka muatan positif pada penggaris plastik tersebut akan menarik muatan negatif yang terdapat pada air, sehingga laju air berbelok mendekati penggaris plastik.



Gambar 1.3 Percobaan penggaris plastik dengan air.

Sumber: <https://cahyokrisma.wordpress.com/2015/08/12/darimana-listrik-muncul/>

Dari kedua percobaan di atas , maka didapatkan sifat dari muatan listrik yaitu :

1. Muatan listrik yang sejenis (muatan negatif dengan muatan negatif atau muatan positif dengan muatan positif) jika didekatkan akan saling tolak menolak.
2. Muatan listrik yang tidak sejenis (muatan negatif dengan muatan positif) jika didekatkan akan saling tarik-menarik.

D. Hukum Kekekalan Muatan

Muatan listrik pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama **Benjamin Franklin**. Selanjutnya dia memberikan tanda (+) dan (-) pada muatan listrik yang tak mengandung arti fisis. Jenis muatan listrik proton diberi tanda positif (+), neutron adalah netral, dan muatan elektron diberi tanda negatif (-). Franklin dalam penelitiannya menemukan jumlah muatan yang dihasilkan oleh suatu benda melalui suatu proses percobaan penggosokan, adalah sama dengan jumlah muatan positif dan negatif yang dihasilkan. Jumlah bersih muatan yang dihasilkan oleh suatu benda selama proses penggosokan adalah nol. Contoh pada percobaan ketika penggaris plastik digosokkan dengan rambut, penggaris plastik tersebut memperoleh muatan positif dan rambut memperoleh muatan negatif dengan jumlah yang sama. Meskipun muatan-muatan tersebut dipisahkan melalui proses penggosokan, namun jumlah kedua jenis muatan tersebut adalah sama. Hal ini adalah contoh dari suatu hukum yang berlaku sampai sekarang, yang dikenal dengan nama hukum kekekalan muatan.

Hukum Kekekalan Muatan :

Jumlah bersih suatu muatan listrik yang dihasilkan pada dua benda yang berbeda (penggaris plastik dan rambut) dalam suatu proses penggosokan adalah nol.

Terdapat tiga metode dalam proses pemuatan listrik, yaitu dengan penggosokkan, induksi, dan konduksi. Untuk lebih memahami ketiganya, pelajailah uraian dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Metode Pemuatan Listrik

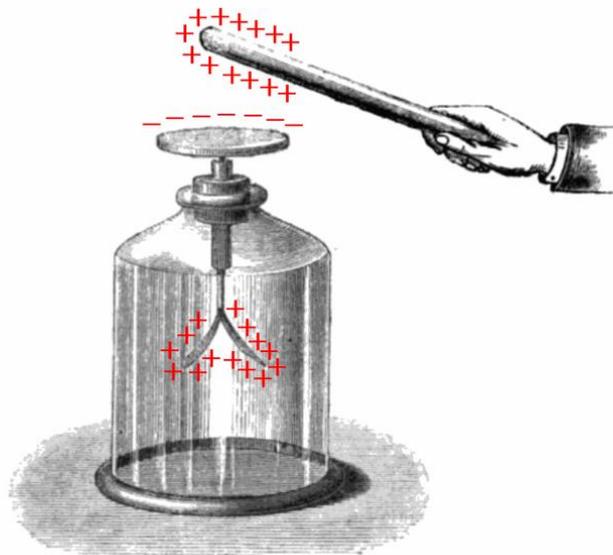
Penggosokan	Metode ini dapat dilakukan dengan menggosokkan dua buah benda dalam satu arah. Cara ini disebut juga metode gesekan. Jenis muatan yang diperoleh dengan metode gesekan, di antaranya:
-------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>1. Benda berbahan plastik akan bermuatan positif jika digosokkan pada kain wol atau rambut.</p> <p>2. Benda berbahan positif akan bermuatan negatif jika digosokkan pada kain wol.</p> <p>3. Benda berbahan kaca akan bermuatan positif jika digosokkan pada kain sutra.</p>
Induksi	<p>Cara ini dilakukan untuk memisahkan muatan listrik di dalam suatu penghantar dengan cara mendekatkan benda lain yang bermuatan listrik pada penghantar tersebut. Dengan cara induksi, muatan listrik yang dihasilkan akan berbeda jenis dengan muatan listrik pada benda yang digunakan untuk menginduksi. Contohnya adalah pemisahan muatan listrik pada elektroskop yang didekati oleh penggaris plastik yang telah digosokkan pada rambut. Pada induksi ini, muatan listrik yang dihasilkan elektroskop adalah muatan positif karena muatan listrik dari mistar plastik sebagai penghantar adalah muatan negatif.</p>
Konduksi	<p>Metode ini hanya dapat dilakukan pada benda yang terbuat dari bahan-bahan tertentu. Dalam metode ini, untuk menghasilkan muatan listrik, kedua benda harus mengalami kontak langsung agar sejumlah elektron mengalir dari satu benda ke benda yang lainnya. Bahan yang dapat mengalirkan sejumlah elektron secara bebas pada bahan lain disebut konduktor. Berdasarkan kekuatannya, bahan konduktor terbagi dua, yaitu konduktor baik dan konduktor kurang baik. Bahan yang termasuk konduktor baik adalah logam, khususnya aluminium, tembaga, dan perak.</p>

	Sedangkan, bahan yang termasuk konduktor kurang baik adalah air, badan manusia, dan tanah.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------

Catatan:

Elektroskop adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya muatan listrik pada suatu benda. Salah satu jenis elektroskop yang sering digunakan adalah elektroskop daun. Bagian penting elektroskop daun adalah sebuah tangkai logam dari bagian logam kuningan dengan ujung bawah berbentuk pipih. Pada ujung ini ditempatkan dua helai logam sangat tipis yang terbuat dari bahan aluminium atau emas, biasa disebut dengan bagian daun. Ujung atas berbentuk cakram atau bola yang berfungsi sebagai penghantar muatan dan kotak kaca.



Gambar 1.4 Elektroskop.

Sumber : <https://artikelnesia.com/2011/10/07/elektroskop-pendeteksi-muatan-listrik/>

E. Hukum Coulomb

Hukum Coulomb adalah suatu aturan yang menjelaskan tentang hubungan antara gaya listrik dan besar dari masing-masing muatan listrik. Nama Coulomb diambil dari nama

seorang ilmuwan fisika yang pertama kali meneliti gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara benda yang memiliki muatan listrik, ilmuwan itu bernama **Charles Augustin de Coloumb** (1736-1804). Dalam penelitiannya, ia melakukan percobaan dengan menggunakan alat yang bernama *neraca puntir*. Berdasarkan hasil percobaan ini, Coloumb menemukan suatu aturan atau hukum yang kemudian disebut dengan Hukum Coulomb.

Hukum Coulomb :

Gaya listrik (tarik-menarik atau tolak-menolak) antara dua muatan sebanding dengan besar muatan listrik masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara kedua muatan listrik.

Hukum Coulomb dalam persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

di mana,

F = Gaya Listrik, Gaya Tolak menolak, Gaya Tarik menarik (Newton)

k = Konstanta pembanding/konstanta gaya Coulomb

$$= 8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \text{C}^{-2}$$

Q_1 = Muatan listrik benda 1 (Coulomb)

Q_2 = Muatan listrik benda 2 (Coulom)

r = Jarak antara 2 benda bermuatan listrik (meter)

Contoh soal :

1. Dua keping logam bermuatan listrik masing – masing $+2 \times 10^{-9}$ C dan $+3 \times 10^{-9}$ C, apabila jarak keduanya adalah 3 cm tentukan besar gaya tolak menolak diantara kedua muatan tersebut.

Penyelesaian :

Diketahui : $Q_1 = +2 \times 10^{-9}$ C
 $Q_2 = +3 \times 10^{-9}$ C
 $r = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$
 $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \text{ C}^{-2}$

Ditanyakan : Gaya Tolak menolak, F ?

Jawab :

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F = 9,0 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-9} \cdot 3 \times 10^{-9}}{0,03^2}$$

$$F = \frac{9 \times 10^9 \cdot 6 \times 10^{-18}}{9 \times 10^{-4}}$$

$$F = \frac{54 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-4}}$$

$$F = 6 \times 10^{-5} \text{ N}$$

Jadi, besar gaya tolak menolak diantara kedua logam tersebut adalah 6×10^{-5} Newton.

2. Dua buah keping logam memiliki gaya tolak menolak sebesar 12 Newton. Apabila kedua keping logam tersebut memiliki nilai muatan listrik yang sama dan terpisah oleh jarak sebesar 6 cm, berapakah muatan listrik dari kedua keping logam tersebut.

Penyelesaian

Diketahui : $F = 12$ Newton
 $r = 6$ cm = 0,06 meter
 $k = 9,0 \times 10^9$ N. m² C⁻²

Ditanyakan : Q_1 dan Q_2

Jawab :

Karena kedua keping logam tersebut memiliki nilai muatan listrik yang sama, maka dapat dikatakan bahwa $Q_1 = Q_2 = Q$

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \iff F = k \frac{Q^2}{r^2}$$

$$Q^2 = \frac{F \cdot r^2}{k}$$

$$Q^2 = \frac{12 \cdot (0,06)^2}{9 \times 10^9}$$

$$Q^2 = \frac{0,0432}{9 \times 10^9} = \frac{4,32 \times 10^{-2}}{9 \times 10^9}$$

$$Q^2 = 4,8 \times 10^{-12}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = \sqrt{4,8 \times 10^{-12}} = 2,19 \times 10^{-6} \text{ C}$$

Jadi, nilai muatan listrik masing-masing dari kedua keping logam tersebut adalah sebesar $2,19 \times 10^{-6}$ Coulomb.

F. Listrik Statis Dalam Kehidupan Sehari – hari

Fenomena listrik statis dapat kita temui dalam kehidupan sehari-hari, ada yang terjadi secara alamiah dan ada pula yang buatan. Fenomena petir ketika hujan merupakan salah satu bukti adanya listrik statis yang muncul secara alamiah dan tanpa ada campur tangan manusia secara langsung. Sedangkan, listrik statis yang terjadi secara buatan oleh manusia di antaranya seperti yang digunakan pada proses pengecatan mobil.

- **Petir**

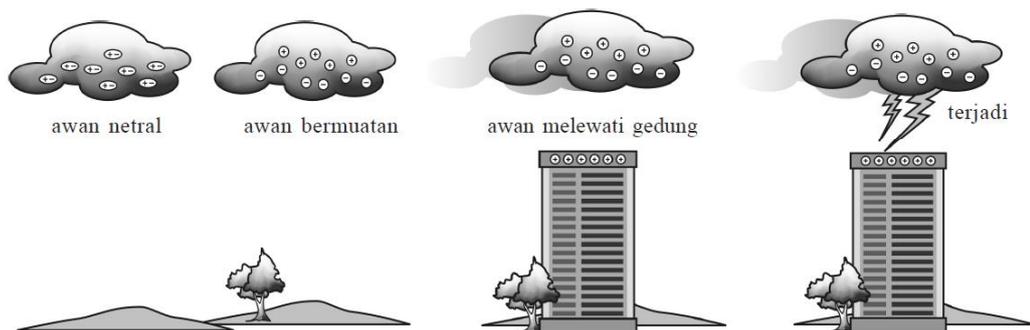
Petir merupakan salah satu fenomena lepasnya muatan listrik statis yang terjadi secara alamiah. Peristiwa ini merupakan akibat dari keluarnya muatan-muatan listrik dari awan. Pelepasan listrik statis kadang kala terjadi dengan perlahan dan tenang. Namun, sering kali dapat berlangsung cepat dan disertai dengan percikan cahaya atau bunyi ledakan. Percikan cahaya yang muncul akibat dari fenomena petir inilah yang kita kenal dengan kilat.

Secara teori, fenomena petir terjadi akibat adanya dua awan yang memiliki muatan listrik yang sangat besar dan berbeda jenis satu sama lainnya yang bergerak saling mendekati. Pertanyaannya, bagaimana awan dapat memiliki muatan listrik yang begitu besar? Pada awan yang berwarna hitam yang merupakan gumpalan dari air hujan, berhembus angin yang sangat kencang. Akibatnya, partikel-partikel yang berada di dalam awan yang bercampur dengan debu, garam dari air laut yang menguap, dan partikel-partikel lainnya, saling menumbuk satu sama lain. Tumbukan awan ini menyebabkan terlepasnya elektron dari partikel - partikel tersebut. Partikel yang kehilangan elektron akibat dari memiliki muatan positif dan yang mendapat tambahan elektron memiliki muatan negatif. Akibatnya, awan yang memuat partikel - partikel tersebut akan menyimpan muatan listrik dengan jumlah yang sangat besar. Muatan listrik negatif akan turun ke bagian dasar awan dan muatan positif akan naik ke bagian atas awan.

Ketika awan dengan muatan listrik yang besar melewati sebuah bangunan yang tinggi, bagian bawah dari awan yang merupakan tempat berkumpulnya muatan listrik negatif menginduksi bagian atas dari bangunan sehingga mengakibatkan bagian atas bangunan tersebut memiliki muatan positif, sedangkan muatan listrik negatif dari bangunan tersebut dipaksa turun ke bagian bawah bangunan. Karena muatan pada kedua benda ini yaitu awan dan bangunan tinggi memiliki jenis muatan listrik yang berbeda, maka berdasarkan sifat dari muatan listrik, masing-masing muatan listrik tersebut akan saling tarik menarik satu sama lain. Saat itu, muatan elektron yang berasal dari awan akan melompat ke bagian atas bangunan yang memiliki muatan positif dan menimbulkan cahaya kilat yang memiliki energi panas yang sangat besar dan seringkali disertai bunyi menggelegar yang kita kenal dengan petir. Selain pada bangunan tinggi, benda lain yang

ada dan memiliki bentuk yang tinggi di permukaan bumi akan mengalami peristiwa yang sama. Benda yang terinduksi awan hingga menyebabkan timbulnya loncatan bunga api listrik (kilat) biasa disebut sebagai benda yang terkena dengan sambaran petir.

Untuk mengantisipasi bahaya akibat dari sambaran petir, Benjamin Franklin, seorang ilmuwan pertama yang meneliti bahwa fenomena petir merupakan salah satu contoh dari listrik statis, membuat suatu alat yang berfungsi sebagai penangkal petir. Franklin mengemukakan idenya untuk menggunakan sebuah batang logam yang runcing yang kemudian diletakkan di atas benda atau bangunan tinggi yang akan dihindarkan dari sambaran petir. Alat penangkal petir biasanya terdiri atas batang logam runcing yang disimpan di atas suatu bangunan, lempeng atau batang logam tembaga yang di tanam dalam tanah pada kedalaman 1 meter hingga 6 meter, dan kawat penghantar tembaga sebagai penghubung antara batang logam dengan lempeng atau batang tembaga yang berada di dalam tanah. Bagian ujung dari alat penangkal petir tersebut terbuat dari logam yang merupakan jenis dari konduktor. Aliran ion positif yang dimiliki batang logam runcing ini akan bergerak menuju ke awan sehingga dapat mengurangi induksi muatan listrik pada atap bangunan dan dapat menetralkan beberapa muatan listrik negatif yang terdapat pada awan. Hal ini diharapkan dapat mengurangi terjadinya sambaran petir pada atap gedung. Jika masih terjadi sambaran petir, kawat penghantar yang dipasang untuk menghubungkan batang logam bagian atas dengan batang logam yang tertanam di dalam tanah akan menjadi jalan untuk elektron-elektron bergerak menuju ke dalam tanah tanpa merusak bangunan.



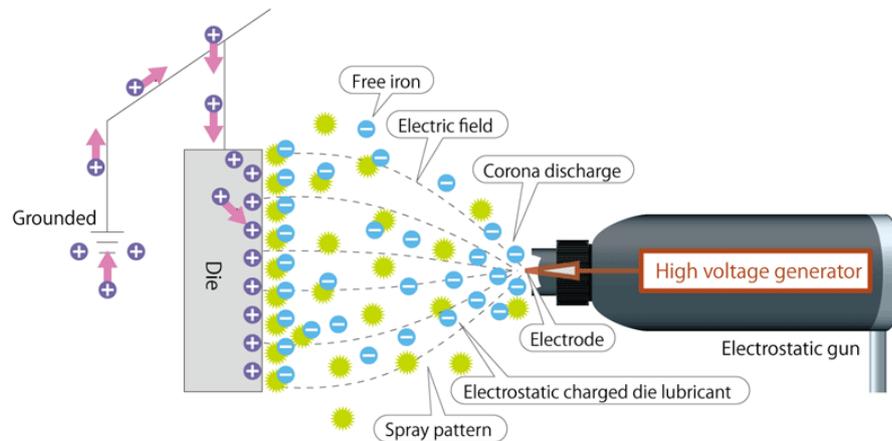
Gambar 1.5 Fenomena petir.

Sumber: <https://smp.prasacademy.com/2018/05/petir-adalah-listrik-statis.html>

- **Pengecatan Mobil**

Di Indonesia, saat ini kendaraan bermotor seperti motor dan mobil bukan lagi menjadi barang yang istimewa. Setiap harinya ribuan hingga jutaan kendaraan melintas di jalan – jalan ibu kota maupun jalan-jalan provinsi. Untuk memperoleh mobil dengan warna yang menarik, pengecatan pun akan dilakukan. Pengecatan mobil dengan menggunakan metode penyemprotan cat elektrostatik banyak digunakan untuk memperoleh hasil yang

maksimal. Pada proses ini, butiran cat yang berupa aerosol akan memiliki muatan listrik ketika bergesekan dengan mulut dari alat penyemprot cat. Butiran-butiran cat ini akan ditarik menuju badan mobil yang ditanahkan selama penyemprotan. Hasilnya dijamin pengecatan akan sampai pada bagian yang paling sulit dicapai apabila menggunakan metode pengecatan biasa.



Gambar 1.6 Listrik statis pada pengecatan.

Sumber: <http://id.fldpos.net/info/what-is-the-electrostatic-spray-23766616.html>

1.4 Rangkuman

- (1) Atom adalah bagian terkecil dari sebuah materi yang sudah tidak dapat untuk dibagi lagi
- (2) Atom merupakan unsur penyusun dari suatu zat/benda/material yang pada dasarnya tersusun dari partikel-partikel yang sangat kecil, disebut partikel subatom. Telah diketahui bahwa terdapat tiga jenis partikel subatom yang penting dan perlu kita ketahui, yaitu proton, neutron, dan elektron.
- (3) Satu Coulomb dapat didefinisikan sebagai muatan total yang mengandung **$6,242 \times 10^{18}$ elektron**. Sedangkan nilai dari suatu muatan per satu elektron adalah **$1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb**
- (4) Muatan listrik yang sejenis (muatan negatif dengan muatan negatif atau muatan positif dengan muatan positif) jika didekatkan akan saling tolak menolak.
- (5) Muatan listrik yang tidak sejenis (muatan negatif dengan muatan positif) jika didekatkan akan saling tarik-menarik.
- (6) Hukum kekekalan muatan berbunyi Jumlah bersih muatan listrik yang dihasilkan pada dua benda yang berbeda (penggaris plastik dan kain wol) dalam suatu proses penggosokan adalah nol
- (7) Terdapat tiga metode dalam proses pemuatan listrik, yaitu dengan penggosokkan, induksi, dan konduksi
- (8) Hukum Coulomb berbunyi Gaya listrik (tarik-menarik atau tolak-menolak) antara dua muatan sebanding dengan besar muatan listrik masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara kedua muatan listrik
- (9) Fenomena petir ketika hujan merupakan salah satu bukti adanya listrik statis yang muncul secara alamiah dan tanpa ada campur tangan manusia secara langsung. Sedangkan, listrik statis yang terjadi secara buatan oleh manusia di antaranya seperti yang digunakan pada proses pengecatan mobil.

1.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

1. Mengapa sebatang penggaris plastik menjadi bermuatan positif ketika digosokkan pada rambut? Jelaskan!
2. Dua keping logam bermuatan listrik masing – masing $+3 \times 10^{-9} \text{ C}$ dan $+4 \times 10^{-9} \text{ C}$, apabila jarak keduanya adalah 4 cm tentukan besar gaya tolak menolak diantara kedua muatan tersebut ?
3. Dua buah benda bermuatan positif yang terletak pada satu garis lurus terpisah sejauh 1,5 m. Jika muatan kedua benda tersebut sama dan gaya tolak-menolak yang terjadi adalah 6 N, berapakah muatan kedua benda tersebut?
4. Berapakah gaya listrik yang bekerja antara muatan listrik sebesar $+3 \times 10^{-9} \text{ C}$ dengan muatan sebesar $+8 \times 10^{-9} \text{ C}$ yang berjarak 3 cm?
5. Jelaskan prinsip kerja dari alat penangkal petir ?

1.6 Tes Formatif 1

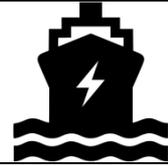
Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Benda yang kekurangan elektron disebut
 - a. bermuatan positif
 - b. bermuatan negatif
 - c. netral
 - d. bermuatan neutron
2. Berikut ini adalah cara-cara yang dapat dilakukan untuk membuat muatan listrik statis, kecuali
 - a. menggosok dan konduksi
 - b. induksi dan konklusi
 - c. menggosok dan induksi
 - d. konduksi dan induksi
3. Pemisahan muatan pada sebuah benda karena didekati benda lain yang bermuatan disebut
 - a. induksi
 - b. konduksi
 - c. menggosok
 - d. mendekatkan
4. Jika jarak dari dua muatan A dan B diperkecil, maka gaya listrik pada kedua muatan itu akan
 - a. makin kecil
 - b. makin besar
 - c. tetap
 - d. tidak ada gaya listrik
5. Dua keping logam bermuatan yang terpisah sejauh 50 cm saling tarik menarik dengan gaya 12 Newton. Jika jarak kedua muatan diperbesar menjadi dua kali lipat dari semula, besar gaya tarik menarik antar logam tersebut adalah...
 - a. 3 N
 - b. 12 N
 - c. 6 N
 - d. 24 N

6. Satu Coulomb dapat didefinisikan sebagai muatan total yang mengandung...
 - a. $6,242 \times 10^{18}$ elektron
 - b. $6,242 \times 10^{15}$ elektron
 - c. $6,525 \times 10^{18}$ elektron
 - d. $6,525 \times 10^{15}$ elektron
7. nilai dari suatu muatan per satu elektron adalah ...
 - a. $1,4 \times 10^{-17}$ Coulomb
 - b. $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb
 - c. $1,8 \times 10^{-15}$ Coulomb
 - d. $2,0 \times 10^{-13}$ Coulomb
8. Jumlah bersih muatan listrik yang dihasilkan pada dua benda yang berbeda (penggaris plastik dan kain wol) dalam suatu proses penggosokan adalah nol, merupakan bunyi dari.....
 - a. Hukum kekekalan energi
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff
9. Gaya listrik (tarik-menarik atau tolak-menolak) antara dua muatan sebanding dengan besar muatan listrik masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara kedua muatan listrik, merupakan bunyi dari.....
 - a. Hukum kekekalan energi
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Coulomb
10. Di bawah ini merupakan metode dalam proses pemuatan listrik, kecuali
 - a. Isolasi
 - b. Induksi
 - c. Konduksi
 - d. Penggosokan



2. KEGIATAN BELAJAR 2



2.1 Konduktor

Kegiatan belajar ini menjelaskan tentang definisi dari konduktor, sifat – sifat dari konduktor dan jenis material apa saja yang termasuk ke dalam konduktor.

2.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat :

- (1) Memahami pengertian dari konduktor;
- (2) Menjelaskan definisi dan sifat – sifat dari konduktor;
- (3) Menyebutkan jenis-jenis material yang termasuk ke dalam konduktor.

2.3 Uraian Materi

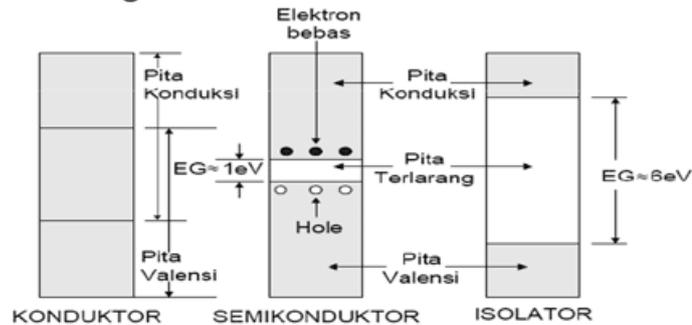
A. Material Listrik

Pada umumnya material listrik dapat dibagi menjadi tiga golongan yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Konduktor yang terbuat dari logam adalah penghantar listrik yang paling baik, sedangkan isolator adalah penghantar listrik yang paling buruk. Suatu material yang memiliki nilai konduktivitas berada diantara kedua jenis material di atas (konduktor dan isolator) disebut semikonduktor. Suatu material dapat diklasifikasikan ke dalam salah satu dari ketiga jenis material listrik di atas bergantung pada struktur pita energi dari material tersebut.

3 macam pita energi:

- (1) Pita Valensi
adalah pita energi terakhir yang terisi penuh oleh elektron – elektron.
- (2) Pita Konduksi
Adalah pita energi di atas pita valensi yang kosong atau terisi sebagian oleh elektron-elektron
- (3) Pita Terlarang
Adalah pita energi diantara pita valensi dan pita konduksi dimana elektron-elektron tidak diperbolehkan ada pada pita energi ini.

Pita Energi



Gambar 2.1 Pita Energi.

Sumber: <http://maslatip.com/pengertian-konduktor-isolator-dan-semikonduktor-listrik.html>

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa bahan konduktor tidak memiliki pita larangan. Antara pita valensi dengan pita konduksi bisa saling bertumpuk. Elektron-elektron yang berada pada material konduktor dapat bergerak bebas. Dengan adanya pengaruh medan listrik dari luar, elektron dapat memperoleh energi tambahan dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Pada umumnya, elektron selalu memilih keadaan dengan energi yang lebih rendah. Pita energi yang memiliki energi terendah terletak pada pita valensi, oleh karena itu pada umumnya elektron-elektron akan memenuhi pita valensi dalam keadaan normal atau tidak mendapat energi dari luar. Sedangkan pita konduksi yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi dari pita valensi akan kosong atau terisi sebagian elektron.

Isolator memiliki nilai energi pada pita terlarang sebesar 6 eV (elektron Volt). Celah energi pada pita terlarang yang sedemikian besar antara pita valensi yang terisi penuh elektron dengan pita konduksi yang kosong mengakibatkan hanya sebagian kecil saja elektron-elektron yang terangsang oleh panas pada temperatur kamar ($30 - 35^\circ\text{C}$) yang dapat melompat untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Karena elektron-elektron ini sulit untuk bergerak maka mengakibatkan bahan isolator ini menjadi sukar untuk menghantarkan arus listrik. Untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada bahan isolator memerlukan energi yang lebih besar, sedangkan energi yang dapat diberikan kepada elektron oleh medan listrik pada bahan berjenis isolator terlalu kecil untuk dapat memindahkan elektron bergerak dari pita valensi ke pita konduksi sehingga berakibat penghantaran tidak mungkin berlangsung.

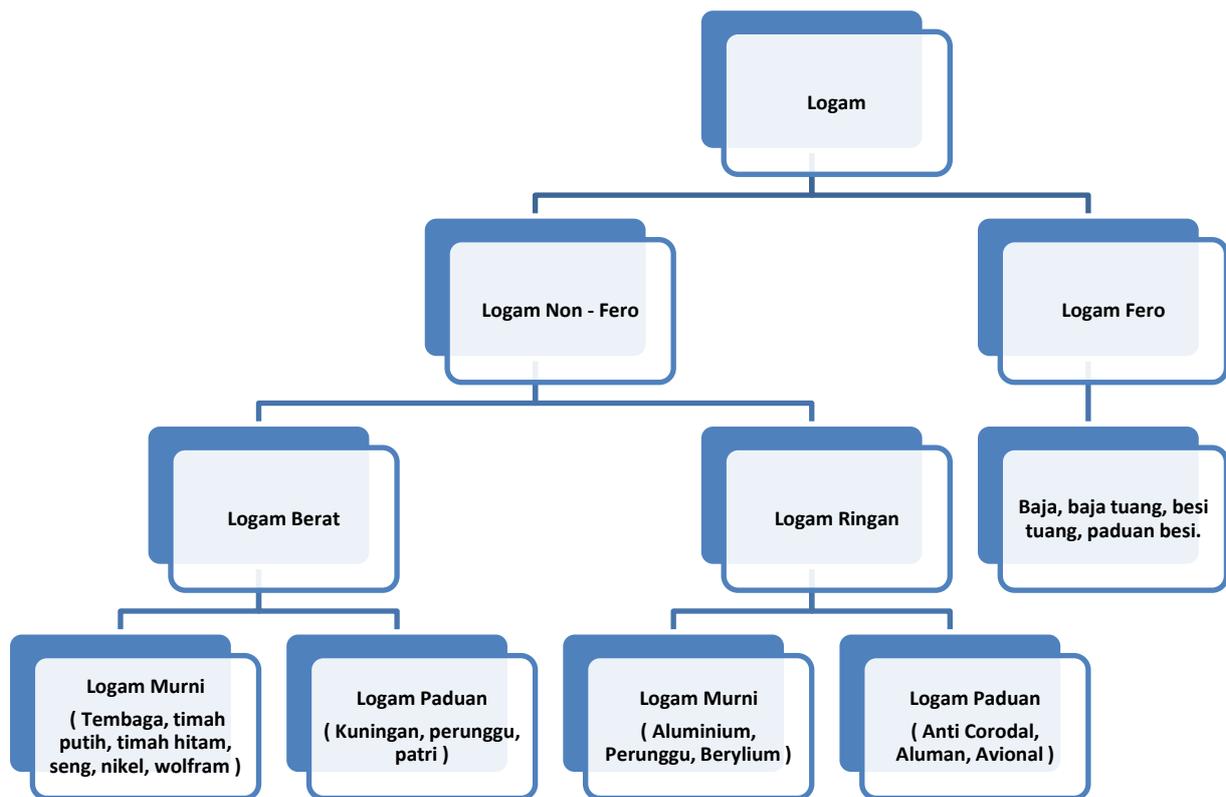
Semikonduktor memiliki pita terlarang yang lebih sempit dan kecil yaitu sebesar 1 eV. Bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah germanium dan silicon yang memiliki nilai E_g 0,785 eV dan 1,21 eV pada suhu 0°K . Pada suhu rendah, bahan semikonduktor akan bersifat isolator karena pita valensi tetap penuh dengan elektron

dan pita konduksi tetap kosong. Bila temperatur dinaikkan, sebagian dari elektron akan memperoleh energi yang lebih besar dari E_g yang mengakibatkan elektron dapat berpindah memasuki pita konduksi.

B. Pengertian Konduktor

Semua bahan material yang dapat mengalirkan arus listrik dengan mudah dinamakan dengan konduktor. Jenis bahan material yang termasuk ke dalam jenis konduktor yang umum dan paling banyak dipakai di dalam dunia kelistrikan adalah tembaga dan aluminium. Bahan material konduktor pada umumnya berbahan jenis logam.

Secara garis besar logam digolongkan menjadi dua bagian; yaitu logam besi (fero) dan logam non fero. Logam besi terdiri dari besi tuang, panduan besi, baja, dan baja tuang. Logam non fero dikelompokkan menjadi dua ; yaitu logam berat dan logam ringan. Logam berat dan logam ringan masing-masing dibagi menjadi logam murni dan logam paduan. Logam berat murni terdiri dari tembaga, seng, nikel, wolfram, timah hitam, timah putih, dan lain-lain. Sedangkan yang termasuk ke dalam golongan logam berat paduan diantaranya adalah kuningan, perunggu dan patri. Logam ringan murni terdiri dari perunggu, aluminium dan beryllium. Sedangkan contoh logam ringan paduan adalah aluman, avional dan anti corodal.



Gambar 2.2 Bagan Klasifikasi Jenis Logam.

C. Sifat Kelistrikan

- **Tahanan Jenis**

Arus listrik yang mengalir melalui suatu penghantar selalu mengalami hambatan dari penghantar itu sendiri. Besarnya nilai hambatan tergantung dari beberapa faktor yang antara lain sangat dipengaruhi oleh jenis material bahan dari penghantar tersebut. Ada bahan yang tergolong dapat menghantarkan listrik dengan baik dikarenakan memiliki nilai tahanan yang kecil, tetapi ada juga bahan yang tergolong kurang baik dalam menghantarkan listrik dikarenakan memiliki nilai tahanan yang besar. Secara matematis nilai tahanan suatu penghantar dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R = \rho \frac{l}{q} \quad (2.1)$$

di mana,

R = Besar tahanan/hambatan, Resistansi suatu penghantar dalam ohm (Ω)

l = Panjang penghantar (m)

q = Luas penampang penghantar (m^2)

ρ = Tahanan jenis bahan penghantar ($\Omega \cdot m$)

Dalam sistem Satuan Internasional (SI), tahanan jenis *specific resistance* atau *resistivity* adalah besarnya nilai tahanan suatu material tiap meter pada penampang sebesar 1 m pada suhu 20 °C. Setiap bahan konduktor memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda – beda, hal ini tentu akan mempengaruhi kelayakan dari jenis material tersebut dalam menghantarkan arus listrik. Dalam Tabel 2.1 dapat dilihat nilai-nilai tahanan jenis dari beberapa jenis material yang tergolong jenis konduktor.

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Bahan Konduktor

Nama Bahan	Tahanan jenis bahan pada suhu 20 °C ($\Omega \cdot m$)
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,72 \times 10^{-8}$
Emas	$2,24 \times 10^{-8}$
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5,65 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Nikhron	100×10^{-8}
Baja	4×10^{-7}
Karbon	$3,5 \times 10^{-5}$

Sumber: *Smart Book Fisika*

Daya Hantar Jenis

Daya hantar atau yang dikenal dengan istilah konduktansi (*conductance*) merupakan kebalikan dari resistansi atau tahanan. Konduktansi disimbolkan dengan simbol G dan satuan yang dipakai untuk konduktansi adalah 1/ohm atau mho. Konduktansi secara matematis dapat dituliskan dengan rumus :

$$G = \frac{1}{R} = \frac{q}{\rho \cdot l} \quad (2.2)$$

Atau rumus dari Konduktansi dapat juga ditulis dengan :

$$G = \gamma \frac{q}{l} \quad (2.3)$$

di mana,

G = Konduktansi (mho)

γ = Daya hantar jenis ($1 / \rho$) ($1 / \Omega.m$)

Daya hantar jenis (*Specific Conductance*) atau *conductivity* merupakan kebalikan dari tahanan jenis. Jadi satuan yang dipakai untuk daya hantar jenis adalah $1 / \Omega.m$.

Contoh soal :

1. Suatu batang tembaga memiliki ukuran 1 cm x 1 cm x 10 cm. Nilai tahanan jenis tembaga pada temperatur 20 °C adalah $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$. Tentukan :
 - a. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk bujur sangkar.
 - b. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk empat persegi panjang.

Penyelesaian :

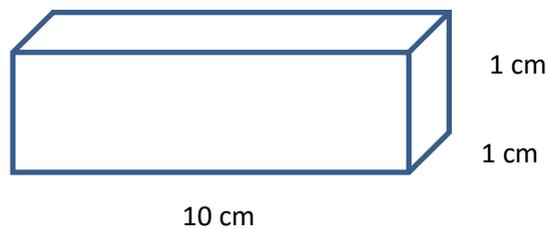
Diketahui : $q_1 = 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$

$$q_2 = 1 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$l_1 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$l_2 = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$$

$$\rho = 1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$$



Ditanyakan : a. R_1 pada 2 sisi berbentuk bujur sangkar
b. R_2 pada 2 sisi berbentuk persegi panjang

Jawab :

$$a. R = \rho \frac{l}{q}$$

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{q_1}$$

$$R_1 = 1,72 \times 10^{-8} \frac{0,1}{10^{-4}}$$

$$R_1 = 1,72 \times 10^{-5} \Omega$$

Jadi, Nilai resistansi diantara 2 sisi yang berbentuk bujur sangkar adalah $1,72 \times 10^{-5} \Omega$

$$b. R = \rho \frac{l}{q}$$

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{q_2}$$

$$R_1 = 1,72 \times 10^{-8} \frac{0,01}{10^{-3}}$$

$$R_1 = 1,72 \times 10^{-7} \Omega$$

Jadi, Nilai resistansi diantara 2 sisi yang berbentuk bujur sangkar adalah $1,72 \times 10^{-7} \Omega$

- **Pengaruh Suhu Terhadap Tahanan**

Berikut ini adalah pengaruh kenaikan suhu pada material terhadap nilai tahanan suatu tahanan adalah sebagai berikut:

- (1) Kenaikan suhu pada material – material yang termasuk ke dalam kategori logam-logam murni dapat memperbesar nilai tahanan pada material tersebut. Kenaikan nilai tahanan tersebut dapat menjadi cukup besar pada kenaikan nilai suhu tertentu. Grafik

antara kenaikan nilai suhu dengan nilai tahanan merupakan grafik garis lurus, ini berarti bahwa kenaikan nilai suhu pada beberapa jenis material akan diikuti dengan kenaikan nilai tahanan dari suatu material. Logam murni mempunyai sifat yang disebut dengan koefisien suhu positif, sebab dengan bertambahnya nilai suhu maka dapat meningkatkan nilai tahanan dari logam murni tersebut atau yang bisa dikenal dengan istilah *positive temperatur coefficient of resistance*.

- (2) Kenaikan nilai suhu dapat juga memperbesar nilai tahanan untuk jenis logam – logam paduan seperti kuningan, perunggu, dan patri. Tetapi yang menjadi pembeda dengan jenis logam murni adalah pada logam-logam paduan kenaikan nilai tahanan yang diakibatkan dari kenaikan suhu relative kecil dan tidak teratur, bahkan terkadang nilai kenaikan tahanan tersebut cenderung dapat diabaikan.
- (3) Untuk jenis konduktor berbahan karbon dan sebagian besar bahan berjenis isolator seperti karet, kertas, mika, kaca dan lainnya, kenaikan suhu dapat mengakibatkan berkurangnya nilai tahanan dari material tersebut. Bahan tersebut dikatakan mempunyai sifat koefisien suhu negatif atau *negatif temperatur coefficient of resistance*.

Hubungan antara perubahan suhu terhadap nilai tahanan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$R_2 = R_1 \{ 1 + \alpha (t_2 - t_1) \} \quad (2.4)$$

di mana,

R_2 = Besar nilai tahanan pada saat suhu t_2 (Ω)

R_1 = Besar nilai tahanan pada saat suhu t_1 (Ω)

t_1 = Suhu awal / suhu sebelum terjadi perubahan (°C)

t_2 = Suhu sesudah terjadi perubahan (°C)

α = Koefisien suhu suatu material ($1 / ^\circ\text{C}$)

Nilai dari koefisien suhu masing-masing material berbahan jenis logam berbeda-beda. Nilai dari koefisien suhu material berbahan jenis logam dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Koefisien suhu material konduktor

Nama Bahan	Koefisien suhu (1 / °C)
Perak	0,00411
Tembaga	0,00426
Emas	0,00365
Aluminium	0,00420
Tungsten	0,00490
Besi	0,00618
Platina	0,00370
Nikhron	0,00044
Baja	0,00458
Karbon	-0,0005

Sumber: <https://ancharyu.wordpress.com/2010/03/14/arus-tegangan-hambatan-dan-hukum-ohm/>

Contoh soal :

1. Nilai tahanan suatu batang tembaga pada suhu 20 °C adalah 30 Ω. Kemudian tembaga tersebut dipanasi sampai suhu mencapai 80 °C. Hitunglah nilai tahanan dari tembaga tersebut pada suhu 80 °C ?

Penyelesaian :

Diketahui : $R_1 = 30 \Omega$
 $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\alpha_{\text{Cu}} = 0,00426$

Ditanyakan : R_2

Jawab : $R_2 = R_1 \{ 1 + \alpha (t_2 - t_1) \}$
 $R_2 = 30 \{ 1 + 0,00426 (80 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) \}$
 $R_2 = 30 \{ 1 + 0,00426 (60) \} = 30 \{ 1 + 0,2556 \}$
 $R_2 = 30 \{ 1,2556 \} = \mathbf{37,668 \Omega}$

2.4 Rangkuman

- (1) Konduktor yang terbuat dari logam adalah penghantar listrik yang paling baik, sedangkan isolator adalah penghantar listrik yang paling buruk.
- (2) Suatu material dapat diklasifikasikan ke dalam salah satu dari ketiga jenis material listrik yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor di bergantung pada struktur pita energi dari material tersebut.
- (3) Jenis bahan material yang termasuk ke dalam jenis konduktor yang umum dan paling banyak dipakai di dalam dunia kelistrikan adalah tembaga dan aluminium
- (4) Sifat kelistrikan suatu material konduktor sangat dipengaruhi beberapa hal diantaranya adalah daya tahan jenis material, daya hantar jenis material dan suhu.

2.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

1. Jelaskan kenapa material digolongkan menjadi konduktor, semikonduktor dan isolator ?
2. Suatu batang tembaga memiliki ukuran 2 cm x 2 cm x 5 cm. Nilai tahanan jenis tembaga pada temperatur 20 °C adalah $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$. Tentukan :
 - a. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk bujur sangkar.
 - b. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk empat persegi panjang
3. Suatu penghantar berbahan aluminium berbentuk balok memiliki ukuran 1 cm x 1 cm x 10 cm. Nilai tahanan jenis arang pada temperatur 20 °C adalah $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$. Tentukan :
 - a. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk bujur sangkar.
 - b. Berapakah besar resistansi antara 2 sisi yang berbentuk empat persegi panjang
4. Nilai tahanan suatu batang tembaga pada suhu 20 °C adalah 40 Ω . Kemudian tembaga tersebut dipanasi sampai suhu mencapai 100 °C. Hitunglah nilai tahanan dari tembaga tersebut pada suhu 100 °C.
5. Nilai tahanan suatu batang aluminium pada suhu 20 °C adalah 50 Ω . Kemudian aluminium tersebut dipanasi sampai suhu mencapai 150 °C. Hitunglah nilai tahanan dari aluminium tersebut pada suhu 150 °C.

2.6 Tes Formatif 2

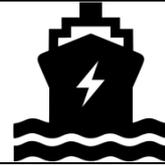
Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Berikut ini termasuk ke dalam pita energi, kecuali.....
 - a. Pita suara
 - b. Pita valensi
 - c. Pita konduksi
 - d. Pita terlarang
2. Bahan berjenis logam biasanya masuk ke dalam jenis.....
 - a. Konduktor
 - b. Isolator
 - c. Semi konduktor
 - d. Kondektur
3. Yang termasuk ke dalam jenis Logam Fero adalah
 - a. Aluminium
 - b. Tembaga
 - c. Baja
 - d. Kuningan
4. Di bawah ini termasuk ke dalam jenis logam berat non Fero, kecuali
 - a. Tembaga
 - b. Timah
 - c. Aluminium
 - d. Nikel
5. Sifat kelistrikan suatu material konduktor sangat dipengaruhi beberapa hal di bawah ini, kecuali.....
 - a. Daya tahan jenis material
 - b. Harga material
 - c. Daya hantar jenis material
 - d. Suhu
6. Nilai tahanan jenis bahan perak pada suhu 20 °C adalah.....
 - a. $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - b. $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - c. $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - d. $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$

7. Nilai tahanan jenis bahan tembaga pada suhu 20°C adalah.....
- a. $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - b. $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - c. $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - d. $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$
8. Nilai tahanan jenis bahan Aluminium pada suhu 20°C adalah.....
- a. $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - b. $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - c. $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - d. $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$
9. Nilai koefisien suhu bahan tembaga adalah.....
- a. $0,00411 / ^{\circ}\text{C}$
 - b. $0,00426 / ^{\circ}\text{C}$
 - c. $0,00365 / ^{\circ}\text{C}$
 - d. $0,00420 / ^{\circ}\text{C}$
10. Nilai koefisien suhu bahan aluminium adalah.....
- a. $0,00411 / ^{\circ}\text{C}$
 - b. $0,00426 / ^{\circ}\text{C}$
 - c. $0,00365 / ^{\circ}\text{C}$
 - d. $0,00420 / ^{\circ}\text{C}$



3. KEGIATAN BELAJAR 3



3.1 Isolator

Kegiatan belajar ini menjelaskan tentang definisi dari isolator, sifat – sifat dari isolator dan jenis material apa saja yang termasuk ke dalam isolator.

3.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat :

- (1) Memahami pengertian dari isolator;
- (2) Menjelaskan definisi dan sifat – sifat dari isolator;
- (3) Menyebutkan jenis-jenis material yang termasuk ke dalam isolator.

3.3 Uraian Materi

A. Pengertian Isolator

Isolator merupakan salah satu jenis bahan yang biasanya termasuk jenis non-logam, apabila dilihat dari sisi atomik elektron sangat kuat terikat pada inti atom sehingga, tidak akan mudah terjadi panas atau listrik terhambat untuk melewatinya. Seperti telah dijelaskan pada kegiatan belajar sebelumnya, Isolator memiliki nilai energi pada pita terlarang sebesar 6 eV (elektron Volt). Celah energi pada pita terlarang yang sedemikian besar antara pita valensi yang terisi penuh elektron dengan pita konduksi yang kosong mengakibatkan hanya sebagian kecil saja elektron-elektron yang terangsang oleh panas pada temperatur kamar (30 – 35 °C) yang dapat melompat untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Karena elektron-elektron ini sulit untuk bergerak maka mengakibatkan bahan isolator ini menjadi sukar untuk menghantarkan arus listrik. Untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada bahan isolator memerlukan energi yang lebih besar, sedangkan energi yang dapat diberikan kepada elektron oleh medan listrik pada bahan berjenis isolator terlalu kecil untuk dapat memindahkan elektron bergerak dari pita valensi ke pita konduksi sehingga berakibat penghantaran (baik panas maupun elektrik) tidak mungkin berlangsung.

Di dalam dunia kelistrikan, bahan isolator atau yang biasa disebut juga dengan bahan penyekat digunakan untuk memisahkan bagian – bagian konduktor yang bertegangan atau bagian-bagian yang teraliri arus listrik secara aktif.

B. Jenis – jenis Bahan Isolator

Material isolator dibagi ke dalam beberapa macam tergantung dari bentuk zat nya, diantaranya adalah :

1. Bahan Isolator Gas

Bahan isolator dalam bentuk gas digunakan sebagai pengisolasi sekaligus digunakan sebagai media penghantar panas. Contoh bahan isolator gas yang biasa dipergunakan dalam industri kelistrikan adalah udara dan Sulphur Hexa Fluorida (SF_6). Udara sebagai isolator dapat dijumpai pada Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), dimana antara penghantar yang satu dengan yang lain dipisahkan oleh udara. Sedangkan salah satu bentuk pengaplikasian penggunaan isolator dalam bentuk gas SF_6 adalah pada *Circuit Breaker* (CB) khususnya CB yang dipakai untuk tegangan menengah ke atas.



Gambar 3.1 Ilustrasi Saluran Udara.

Sumber: <http://www.annualreport.id/info/pln-operasikan-jaringan-sutet-payukumbuh-padang-sidempuan>



Gambar 3.2 SF_6 Circuit Breaker.

Sumber: <http://www.china-power-transformer.com/126kV-Gas-Insulated-Circuit-Breaker-SF6-CB-p-64.html>

2. Bahan Isolator Cair

Bahan isolator cair dapat dipergunakan sebagai bahan pengisi pada beberapa peralatan listrik seperti halnya minyak transformator yang dipergunakan di dalam transformator. Bahan isolator dalam bentuk cair berfungsi sebagai pengisolasi dan juga sekaligus berfungsi sebagai pendingin. Persyaratan agar suatu bahan cair dapat dipergunakan sebagai isolator adalah bahan tersebut harus mempunyai tegangan tembus dan harus memiliki daya hantar panas yang tinggi.

3. Bahan Isolator Berserat

Bahan – bahan isolator berserat sangat besar tinggi peranannya dalam industri kelistrikan. Bahan berserat tersusun dari serat – serat yang terpisah satu sama lain. Pada beberapa contoh bahan berserat seperti kayu dan kertas, untuk mengamati struktur serat dari kedua bahan tersebut memerlukan mikroskop.

Beberapa kelebihan dari bahan berserat dalam penggunaannya sebagai isolator adalah mempunyai fleksibilitas yang baik, kekuatan mekanis yang relatif tinggi, mudah dalam proses pembentukannya dan murah harganya. Kekurangan dari bahan berserat adalah memiliki sifat higroskopis dan tegangan tembus yang rendah. Tetapi dalam pengaplikasiannya untuk mengatasi kekurangan dari bahan berserat tersebut, bahan-bahan berserat yang akan dipergunakan sebagai isolator perlu dilakukan proses impregnasi. Bahan berserat sebelum dilakukan proses impregnasi tergolong ke dalam jenis bahan isolasi kelas Y, tetapi setelah dilakukan proses impregnasi bahan berserat dapat berubah menjadi kelas A.

4. Bahan Isolator Mineral

Bahan isolator mineral yang dimaksud adalah bahan – bahan yang diperoleh dari tambang dan dipergunakan sebagai isolator pada ikatan kimia atau dalam keadaan alaminya tanpa ada proses kimia atau proses pemanasan sebelumnya. Contoh dari bahan isolator berbahan mineral adalah mika, mikanit, marmer, batu tulis dan klorida. Selain itu terdapat bahan mineral yang dipergunakan sebagai isolator tetapi dalam aplikasinya tidak dalam bentuk atau keadaan alaminya, melainkan harus melalui suatu proses terlebih dahulu dengan proses pemanasan, pembakaran, pengerasan dan pelumeran. Contoh dari bahan material tersebut adalah kaca dan porselen.

Selain dari keempat jenis bahan material isolator di atas terdapat bahan material isolator lain yang juga banyak dipakai dalam industri kelistrikan, material tersebut adalah plastik. Plastik adalah suatu bahan sintesis yang bisa dibentuk melalui proses pemanasan dan dapat diperkeras tergantung dari struktur plastik tersebut. Bahan plastik dapat dibagi

menjadi 2 kategori yaitu termoplastik dan termoseting. Perbedaan mendasar dari kedua bahan tersebut adalah bahan termoplastik dapat dilunakkan dengan pemanasan dan pada saat didinginkan bahan tersebut akan mengeras lagi. Sedangkan bahan termoseting akan mengeras jika dipanasi dan setelah itu tetap menjadi keras dan tidak dapat dirubah ke bentuk awal. Contoh bahan termoplastik adalah polistiren, polietilen, nilon, pleksiglas, dan teflon. Untuk bahan-bahan yang termasuk ke dalam jenis termoseting adalah bakelit, karet dan epoksi. Pada perkembangan saat ini, banyak jenis kabel penghantar yang memiliki isolasi berbahan plastik yaitu kabel NYA, NYM, NYY dan lainnya.

C. Sifat – Sifat Bahan Isolator

Sifat – sifat bahan isolator meliputi sifat mekanis, sifat kelistrikan, sifat panas dan sifat fisis/kimia. Sifat mekanis dari bahan isolator meliputi kekuatan tarik, pemuluran, kekuatan tekan, kerapuhan dan kelenturan dari bahan isolator tersebut.

Sifat Kelistrikan

Sifat kelistrikan dari bahan isolator meliputi sifat resistivitas dan permitivitas.

(1) Resistivitas

Sesuai dengan fungsinya sebagai bahan penyekat, bahan isolator yang baik adalah bahan isolator yang memiliki nilai resistansi/resistivitas yang besar dan tak terhingga. Tetapi pada kenyataannya bahan isolator yang memiliki nilai yang tinggi dan terhingga belum bisa diperoleh hingga saat ini. Sampai dengan hari ini, seluruh bahan isolator pada bidang kelistrikan masih mengalirkan arus listrik dalam jumlah yang relative kecil yang umum disebut dengan istilah arus bocor. Besarnya nilai resistansi suatu bahan isolator sesuai dengan hukum ohm (akan dibahas lebih dalam pada bab lainnya) adalah sebagai berikut:

$$R_i = \frac{V}{I_b} \quad (3.1)$$

di mana,

R_i = Resistansi Isolator (Ω)

V = Tegangan kerja atau tegangan pengukuran (Volt)

I_b = Arus bocor (Ampere)

Nilai resistansi/tahanan suatu bahan isolator juga dapat ditentukan dengan menggunakan rumus (2.1) dengan nilai dari tahanan jenis masing – masing dari bahan isolator seperti yang tertera pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.1 Nilai tahanan jenis dari bahan isolator

Nama Bahan	Tahanan jenis bahan pada suhu 20°C ($\Omega \cdot m$)
Silikon	$2,0 \times 10^{-1}$
Kayu	10×10^{11}
Karet	1×10^{13}
Kaca	$10,7 \times 10^{10}$
Mika	$2,0 \times 10^{15}$
Kuarsa	$7,5 \times 10^{17}$
Porselen	10^{12} s/d 10^{14}
Ebonit	10^{13} s/d 10^{16}

Sumber : Dirangkum dari berbagai macam sumber

Beberapa hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan resistivitas suatu isolator adalah:

- Nilai resistivitas suatu isolator akan berkurang besarnya jika suhu dinaikkan. Banyak bahan yang bersifat isolator memiliki nilai resistivitas yang tinggi pada suhu kamar (30 °C - 35 °C), tetapi nilai resistivitas tersebut akan turun drastis pada suhu 100 °C.
- Untuk bahan isolator yang memiliki sifat higroskopis atau dapat menyerap uap air di sekitarnya, khususnya di daerah yang lembab nilai resistivitas bahan tersebut akan mengalami penurunan secara mencolok.
- Nilai resistivitas suatu bahan isolator akan mengalami penurunan jika tegangan yang diberikan dinaikkan.

Dari ketiga hal tersebut, maka dalam pemilihan bahan isolator untuk daerah kerja yang memiliki suhu tinggi atau daerah lembab, harus menggunakan bahan isolator yang sesuai baik dari bahan maupun tegangan kerjanya.

(2) Permittivitas

Permittivitas suatu bahan isolator berkaitan dengan kemampuan suatu material untuk menyampaikan atau memperbolehkan (*permit*) suatu medan listrik. Permittivitas mencirikan kecenderungan muatan atom terdistorsi di hadapan medan listrik. Semakin besar kecenderungan muatan mengalami distorsi, maka semakin besar nilai permittivitasnya. Besar permittivitas udara adalah 1,000589, sedangkan besar permittivitas pada zat padat dan zat cair lebih besar dari 1.

Sifat Panas

Suhu sangat mempengaruhi sifat dari bahan isolasi. Pada umumnya jika temperatur naik, maka sifat isolasi jadi tidak baik. Selain sifat dari isolasi yang menurun (dalam hal ini berkaitan dengan nilai resistansinya yang menurun), sifat mekanis dari suatu bahan isolator juga dapat terganggu yang mengakibatkan dapat merusak struktur bahan dari bahan isolator tersebut baik secara temporer maupun permanen (hangus).

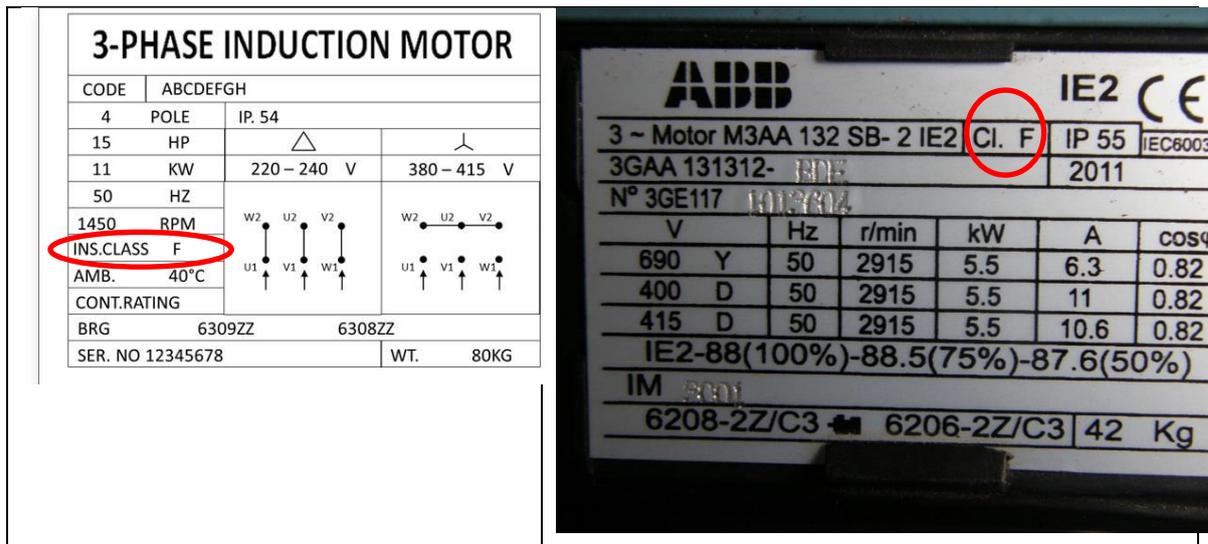
International Electrotechnical Commission (IEC) mengklasifikasikan bahan – bahan isolator berdasarkan suhu maksimal yang dapat diterima oleh bahan tersebut. Klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Klasifikasi bahan isolator

Kelas	Bahan	Suhu Maks.
Y	Katun, sutera alam, wol sintetis, rayon, serat poliamid, kertas, prespan, kayu, poliakrilat, polietilen, polivinil, karet	90 °C
A	Bahan kelas Y yang diimpregnasi dengan vernis, aspal, minyak trafo. Email yang dicampur dengan vernis dan poliamid Email kawat yang terbuat dari polivinil formal, poliurethan dan damar, bubuk plastik, bahan selulosa pengisi pertinaks, tekstolit,	105 °C
E	triasetat, polietilen tereftalat	120 °C
B	Bahan anorganik (mika, fiberglas, asbes), bitumen, bakelit, polimonochloro tri fluor etilen, polietilen tereftalat, polikarbonat, sirlak	130 °C
F	Bahan – bahan anorganik yang diimpregnasi atau direkat dengan epoksi, poliurethan, atau vernis dengan ketahanan panas yang tinggi	155 °C
H	Mika, fiberglas dan asbes yang diimpregnasi dengan silicon tanpa campuran bahan berserat, karet silicon, email kawat poliamid murni.	180 °C
C	Bahan-bahan anorganik tanpa diimpregnasi atau diikat dengan substansi organic, yaitu mika, mikanit tahan panas, mikaleks, gelas, keramik, Teflon (politetra fluoroetilen) adalah satu-satunya substansi organic.	Lebih dari 180 °C

Dalam industri kelistrikan, kelas isolator seperti di atas umumnya tercantum di dalam *name plate* (label nama) pada setiap peralatan listrik. Seperti contohnya pada motor induksi yang biasa dipakai sebagai motor penggerak pompa atau motor penggerak

conveyor pada dunia industri, umumnya kelas isolator yang digunakan oleh motor tersebut tercantum pada *name plate* dari motor tersebut.



Gambar 3.3 Name Plate Motor Induksi.

Sifat Fisis dan Kimia

Sifat fisis dan kimia dari bahan isolator meliputi:

(1) Resistansi Kimia

Bahan isolator mempunyai kemampuan yang berbeda ketahanannya terhadap korosi yang disebabkan oleh gas, air, asam, basa dan garam. Hal ini perlu diperhatikan untuk pemakaian bahan isolator yang digunakan di daerah yang memiliki konsentrasi kimia yang aktif dan suhu di atas normal karena kecepatan korosi sangat dipengaruhi oleh kenaikan suhu.

(2) Higroskopitas

Beberapa bahan isolator mempunyai sifat higroskopitas yaitu sifat menyerap uap air yang berada di sekeliling material tersebut. Uap air dapat mengakibatkan perubahan mekanis fisik dan memperkecil daya isolasi. Semakin sedikit uap air yang dapat diserap oleh suatu bahan isolator, maka akan semakin baik bahan isolator tersebut.

(3) Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan kemampuan atau kapasitas suatu bahan isolator dalam menyerap air bila bahan tersebut dicelupkan ke dalam air.

(4) Pengaruh Tropis

Terdapat dua macam daerah tropis, yaitu tropis basah dan tropis kering. Indonesia merupakan salah satu negara dengan iklim tropis basah. Pada daerah tropis basah memungkinkan tumbuhnya jamur dan serangga yang dapat hidup dengan baik. Suhu yang cukup tinggi disertai kelembapan yang terjadi dalam waktu yang lama dapat

menyebabkan turunnya nilai resistivitas dari isolator, menurunkan nilai permitivitas dan mengurangi kemampuan kelistrikan dari suatu bahan. Pada penggunaan bahan di daerah tropis harus diperhatikan 2 hal utama, yaitu :

- Perubahan sifat kelistrikan setelah bahan direndam
- Kecepatan pertumbuhan jamur pada bahan tersebut.

Karena dua hal tersebut, maka sebaiknya bahan isolator sebaiknya dilapisi dengan bahan anti jamur, antara lain : paranitro, phenol, pentha chloro phenol.

(5) Resistansi radiasi

Resistansi radiasi memiliki pengertian kemampuan suatu bahan isolasi untuk dapat menahan pengaruh dari radiasi tanpa mengalami kerusakan pada bahan tersebut. Pemakaian bahan isolator sangat sering dipengaruhi oleh berbagai jenis energi radiasi. Pengaruh dari radiasi ini dapat mengubah sifat isolasi dari bahan isolator tersebut. Radiasi sinar matahari dapat mempengaruhi umur dari bahan isolator tersebut, khususnya jika bahan tersebut bersinggungan langsung dengan oksigen. Sinar Ultra Violet (UV) dapat merusak beberapa bahan berjenis organik, yaitu dapat menyebabkan menurunnya kekuatan mekanik, elastisitas bahan tersebut dan dapat menyebabkan keretakan pada bahan tersebut.

3.4 Rangkuman

- (1) Isolator merupakan salah satu jenis bahan yang biasanya termasuk jenis non-logam, di mana apabila dilihat dari sisi atomik elektron sangat kuat terikat pada inti atom sehingga, tidak akan mudah terjadi panas atau listrik terhambat untuk melewatinya.
- (2) Isolator memiliki nilai energi pada pita terlarang sebesar 6 eV (elektron Volt). Celah energi pada pita terlarang yang sedemikian besar antara pita valensi yang terisi penuh elektron dengan pita konduksi yang kosong mengakibatkan hanya sebagian kecil saja elektron-elektron yang terangsang oleh panas pada temperatur kamar (30 – 35 ° C) yang dapat melompat untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.
- (3) Di dalam dunia kelistrikan, bahan isolator atau yang biasa disebut juga dengan bahan penyekat digunakan untuk memisahkan bagian – bagian konduktor yang bertegangan atau bagian-bagian yang teraliri arus listrik secara aktif.
- (4) Jenis-jenis bahan isolator yang umum digunakan dalam industri dilihat dari jenis zat nya dapat dibagi menjadi bahan isolator gas, bahan isolator cair, bahan isolator berserat, bahan isolator mineral dan plastik.
- (5) Sifat – sifat dari bahan isolator meliputi sifat mekanis, sifat kelistrikan, sifat panas, dan sifat fisis & kimia.

3.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

- (1) Jelaskan pengertian dari isolator !
- (2) Jelaskanlah mengapa pada bahan isolator sulit dilakukan penghantaran panas maupun penghantaran arus listrik !
- (3) Sebutkanlah contoh bahan isolator berwujud gas dan sebutkan contoh aplikasi dari penggunaannya pada industri kelistrikan.
- (4) Sebutkan dan jelaskanlah sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan isolator !
- (5) Tuliskanlah dalam bentuk tabel nilai tahanan jenis dari bahan isolator yang anda ketahui.

3.6 Tes Formatif 3

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Berikut ini termasuk ke dalam pita energi, kecuali.....
 - a. Pita suara
 - b. Pita valensi
 - c. Pita konduksi
 - d. Pita terlarang
2. Bahan berjenis non-logam pada umumnya masuk ke dalam jenis.....
 - a. Konduktor
 - b. Isolator
 - c. Semi konduktor
 - d. Konduktor
3. Yang termasuk ke dalam jenis bahan isolator gas adalah
 - a. Kayu
 - b. Kertas
 - c. Porselen
 - d. Udara
4. Penggunaan gas SF₆ sebagai isolator dalam dunia kelistrikan dapat dijumpai pada
 - a. *Medium Voltage Circuit Breaker*
 - b. Saklar
 - c. Kontaktor
 - d. Relai
5. Sifat kelistrikan suatu material isolator sangat dipengaruhi beberapa hal di bawah ini yaitu.....
 - a. Higroskopitas

- b. Wilayah tropis
 - c. Resistivitas dan Permittivitas
 - d. Kelenturan
6. Berikut ini termasuk ke dalam jenis material isolator kelas Y, kecuali.....
- a. Katun
 - b. Sutera
 - c. Wol Sintetis
 - d. Mika
7. Yang termasuk ke dalam jenis bahan material isolator kelas B adalah.....
- a. Katun
 - b. Kertas
 - c. asbes
 - d. Karet
8. kemampuan atau kapasitas suatu bahan isolator dalam menyerap air bila bahan tersebut dicelupkan ke dalam air, merupakan sifat fisis dan kimia dari bahan isolator dilihat dari sisi....
- a. Higroskopitas
 - b. Penyerapan air
 - c. Pengaruh tropis
 - d. Resistansi radiasi
9. Pada umumnya jika temperatur naik, maka sifat isolasi akan menjadi.....
- a. Tetap
 - b. Meningkatkan
 - c. Menurun
 - d. Biasa saja
10. Kemampuan suatu bahan isolasi untuk dapat menahan pengaruh dari radiasi tanpa mengalami kerusakan pada bahan tersebut, disebut juga dengan.....
- a. Higroskopitas
 - b. Kelenturan
 - c. Resistivitas
 - d. Resistansi Radiasi



4. KEGIATAN BELAJAR 4



4.1 Teori Dasar Listrik

Pada umumnya, seluruh kalangan masyarakat mengetahui apa itu listrik. Tapi, tidak semua kalangan masyarakat dapat mengetahui dan memahami pengertian dari listrik itu sendiri. Dalam ilmu listrik, listrik merupakan satu kesatuan dari komponen yang dikenal dengan istilah arus, tegangan, tahanan/resistansi dan daya listrik. Kegiatan belajar empat akan menjelaskan mengenai teori dasar listrik khususnya pengertian dari arus listrik, tegangan, hambatan, resistansi, daya listrik dan suatu hukum dalam dunia kelistrikan yang dikenal dengan Hukum Ohm.

4.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat :

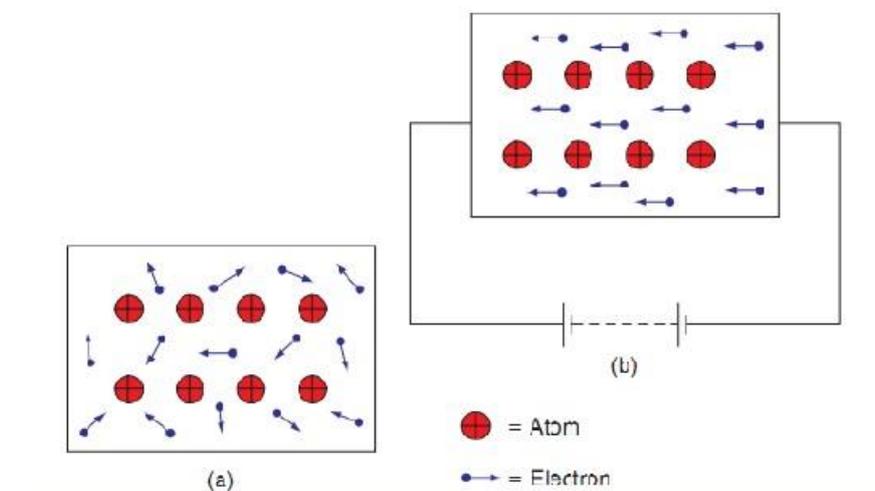
- (1) Memahami pengertian dari arus listrik, tegangan, hambatan dan daya listrik;
- (2) Menjelaskan definisi dari Hukum Ohm;
- (3) Memiliki kemampuan dalam menggunakan istilah kelistrikan dan tepat dalam menempatkan satuan kelistrikan yang berlaku.

4.3 Uraian Materi

Seluruh material tersusun dari atom-atom yang tersusun secara teratur di dalam setiap material tersebut. Atom terdiri dari inti yang bermuatan netral, inti bermuatan positif, dan dikelilingi oleh elektron yang memiliki muatan negatif. Sifat kelistrikan dari suatu material sangat bergantung pada seberapa erat muatan elektron pada suatu atom terikat pada inti pusat atom. Konduktor adalah bahan dimana muatan elektron terluar tidak terikat dengan erat pada inti pusat dan oleh karena itu, muatan elektron mudah dan bebas melayang di sekeliling materi secara acak dan dapat berpindah dari satu atom ke atom yang lain (Gambar 4.1 a). Material konduktor yang baik dan umum digunakan dalam dunia kelistrikan adalah tembaga, kuningan, aluminium dan perak.

Material berjenis isolator merupakan material di mana elektron terluar terikat erat dengan inti atom, sehingga tidak ada elektron yang bebas melayang seperti pada material konduktor atau sulit lepas dari inti untuk bergerak di sekitar materi. Contoh dari bahan isolator yang baik adalah *Poly Vinyl Chloride* (PVC), karet, kaca dan kayu kering. Jika sebuah baterai terpasang pada konduktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 b, elektron akan bebas melayang di dalam satu arah saja . Elektron bebas akan merapat

pada plat baterai yang memiliki kutub positif dan elektron bebas dekat dengan plat negatif pada baterai. Untuk setiap elektron akan memasuki terminal positif baterai, satu elektron akan dikeluarkan dari terminal negatif baterai, sehingga jumlah elektron dalam konduktor tetap terjaga konstan.



Gambar 4.1 Atom dan Elektron pada suatu material.

Sumber : Teknik Dasar Kelistrikan Kapal, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Setiap elektron bebas yang melayang-layang menuju kutub positif baterai melalui suatu penghantar atau konduktor, hal ini yang dikenal dengan istilah arus listrik, arus listrik dinyatakan dalam satuan Ampere (A) dan mempunyai simbol I. Arus listrik (I) akan terus mengalir di dalam suatu penghantar atau konduktor apabila rangkaian listrik dalam kondisi tertutup atau dikenal dengan istilah **close loop**, sehingga muatan elektron pada penghantar akan terus berpindah dan bergerak. Apabila rangkaian listrik terbuka atau karena saklar terbuka, maka aliran elektron pada penghantar akan segera berhenti.

A. Arus Listrik (I)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada suhu ruang atau suhu kamar dengan tanpa adanya gaya dari luar yang diberikan pada sebuah penghantar tembaga, maka yang ada di dalam penghantar tembaga tersebut adalah gerakan elektron bebas yang melayang-layang secara acak karena adanya pengaruh energi panas yang diperoleh dari media yang berada di sekitarnya. Bila sebuah atom kehilangan elektron bebasnya, maka atom tersebut akan bermuatan positif yang didefinisikan sebagai ion positif. Elektron bebas dapat berpindah dalam ion positif dan dapat meninggalkan atom induknya. Sedangkan suatu ion positif hanya dapat tetap beresilasi pada posisi tetap rata-ratanya. Atas dasar itulah dapat disimpulkan bahwa elektron bebas adalah muatan

pembawa listrik di dalam sebuah penghantar tembaga atau di dalam sembarang penghantar padat. (Soepono Soeparlan & Umar Yahdi, Teknik Rangkaian Listrik Jilid 1).

Jika penghantar tembaga dihubungkan kepada suatu sumber listrik seperti baterai, maka elektron bebas yang terdapat pada penghantar tersebut akan mengalir menuju kutub positif pada baterai, sedangkan ion positif akan beresilasi dalam posisi tetap pada rata-ratanya. Kutub / terminal negatif pada baterai merupakan penyedia elektron yang akan diambil darinya bila elektron pada tembaga mengalir menuju kutub positif baterai. Reaksi kimia pada baterai tersebut akan menyerap elektron yang terdapat pada terminal positif dan menjaga penyediaan elektron yang tetap pada kutub negatif baterai. Ketika suatu rangkaian yang memiliki sumber listrik dan penghantar berada dalam suatu rangkaian tertutup/*close loop*, maka muatan dapat mengalir dari terminal baterai ke terminal yang lainnya, aliran muatan seperti inilah yang disebut dengan arus listrik. Atau apabila dipaparkan dari sisi atomik, jika $6,6242 \times 10^{18}$ elektron mengalir dengan kecepatan yang seragam melalui suatu penghantar dalam waktu satu detik maka aliran muatan tersebut dikatakan memiliki nilai sebesar 1 ampere (A). Sehingga dari dua keterangan di atas maka akan didapatkan penjelasan umum dari arus listrik adalah jumlah total muatan yang melewati suatu penghantar per satu satuan waktu pada suatu titik.

Atas dasar penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa arus listrik diukur dalam satuan coulomb per detik, satuan ini diberi nama khusus Ampere (disingkat Amp atau A). Nama Ampere sendiri diambil dari nama fisikawan asal negeri Perancis yang bernama Andre Ampere (1775 – 1836). Berarti dari keterangan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai $1 \text{ A} = 1 \text{ Coulomb/detik}$. Satuan terkecil dari arus listrik yang sering digunakan adalah miliAmpere ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$) dan mikroAmpere ($1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$).

$$I = \frac{Q}{t} \quad (4.1)$$

di mana,

I = Arus listrik (Ampere)

Q = Muatan Listrik (Coulomb)

t = Waktu (detik)

Dari persamaan (4.1) di atas dapat diungkapkan secara jelas bahwa dalam selang waktu yang sama, semakin banyak muatan yang mengalir pada suatu penghantar maka akan semakin besar nilai dari arus listriknya.

Contoh soal:

1. Suatu muatan listrik mengalir pada suatu penghantar tembaga sebesar 0,16 Coulomb setiap 64 milidetik. Tentukan nilai arus listrik dari keterangan di atas.

Penyelesaian :

Diketahui : $Q = 0,16$ Coulomb

$t = 64$ milidetik = 64×10^{-3} detik

Ditanyakan : I

Jawab :

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

$$I = \frac{0,16 \text{ C}}{64 \times 10^{-3} \text{ detik}} = \mathbf{2,50 \text{ A}}$$

Jadi, besar arus listrik yang mengalir di dalam penghantar tersebut adalah **2,50 A**

B. Tegangan Listrik (V)

Sebuah massa/benda yang memiliki energi karena posisi dari benda tersebut disebut dengan energi potensial. Definisi dari energi adalah kapasitas untuk melakukan kerja. Jika sebuah benda memiliki massa m dinaikkan sampai pada ketinggian tertentu yang ditetapkan dengan (h) di atas suatu bidang referensi, maka benda tersebut dapat dikatakan memiliki energi potensial yang besarnya dinyatakan dalam satuan Joule (J).

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (4.2)$$

di mana,

E_p = Energi Potensial (Joule)

m = Massa benda (Kg)

g = Percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m/s}^2$

h = Ketinggian suatu benda (meter)

Massa / benda yang memiliki energi potensial memiliki kemampuan untuk melakukan suatu pekerjaan seperti menumbuk obyek yang diletakkan pada bidang referensi. Jika

ketinggian benda tersebut ditambah, maka benda tersebut akan memiliki energi potensial yang bertambah pula.

Pada sebuah baterai, reaksi kimia internal baterai akan menetapkan (melalui pengeluaran energi) sebuah timbunan muatan negatif (elektron) pada terminal negatif dan muatan positif pada terminal positif. Penempatan muatan telah ditetapkan yang akan menghasilkan adanya perbedaan potensial diantara kedua terminal tersebut. Jika sebuah baterai dihubungkan pada suatu penghantar, maka elektron pada terminal negatif memiliki energi potensial yang cukup untuk menanggulangi tabrakan dengan partikel lain di dalam penghantar tersebut dan tolak menolak dari muatan yang sama untuk mencapai terminal positif. Tegangan listrik dapat diilustrasikan apabila sebuah perbedaan potensial sebesar 1 Volt (V) ada diantara dua titik jika 1 Joule (J) energi dipertukarkan dalam perpindahan 1 Coulomb (C) muatan diantara 2 titik tersebut. Sebagai gambaran, jika 1 Joule energi diperlukan untuk menggerakkan muatan sebesar 1 Coulomb dari titik satu ke titik yang lainnya, maka perbedaan potensial atau tegangan diantara 2 titik tersebut adalah senilai 1 Volt. Jika energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan sebesar 1 Coulomb meningkat menjadi 12 Joule karena adanya tambahan gaya yang berlawanan, maka beda potensial kedua titik tersebut pun meningkat menjadi 12 Volt. Berdasarkan ilustrasi di atas, didapatkan bahwa tegangan listrik adalah tanda seberapa banyak energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu muatan diantara 2 titik di dalam suatu kelistrikan. Semakin tinggi rating tegangan pada suatu sumber energi seperti sebuah baterai, maka semakin banyak energi yang tersedia untuk menggerakkan muatan melalui sistem listrik tersebut. Secara matematis, perbedaan potensial atau tegangan dapat dituliskan dalam rumus:

$$V = \frac{W}{Q} \quad (4.3)$$

di mana,

V = Tegangan, beda potensial (Volt)

Q = Muatan (Coulomb)

W = Energi (Joule)

Contoh soal :

1. Berapa besar perbedaan potensial diantara dua titik dari suatu sistem kelistrikan jika untuk memindahkan muatan sebesar 20 Coulomb memerlukan energi sebesar 60 Joule.

Penyelesaian :

Diketahui : $Q = 20$ Coulomb

$W = 60$ Joule

Ditanyakan : V

Jawab :

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

$$V = \frac{60}{20} = 3 \text{ Volt}$$

C. Tahanan/Resistansi

Tahanan/resistansi merupakan nilai hambatan yang dimiliki oleh suatu bahan penghantar maupun bahan penyekat atau isolator. Besarnya nilai resistansi suatu bahan penghantar tergantung dari nilai daya tahan jenis penghantar (ρ), panjang penghantar (l) dan luas penampang penghantar (q). Satuan tahanan listrik adalah Ohm (Ω). Rumus dari resistansi dapat dilihat pada rumus (2.1) pada kegiatan belajar 2.

D. Hukum Ohm

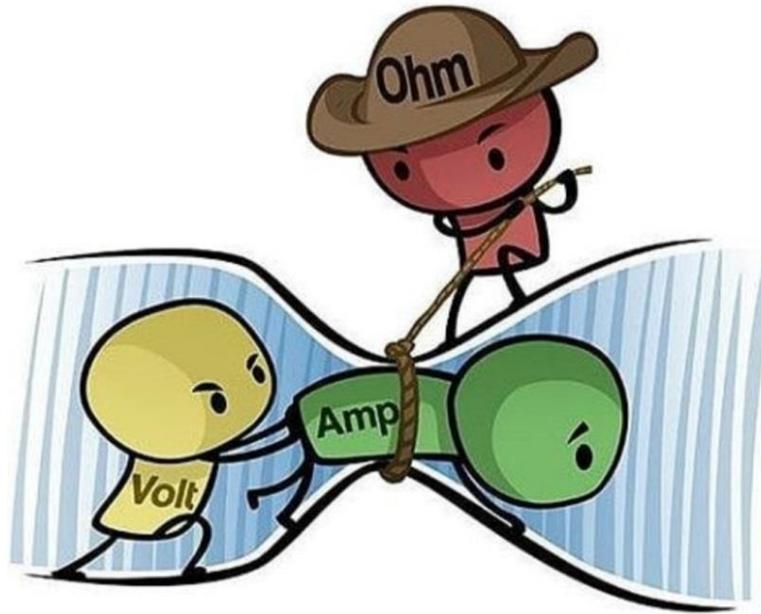
Untuk dapat menghasilkan arus listrik pada suatu rangkaian listrik dibutuhkan adanya beda potensial. Satu cara untuk dapat menghasilkan beda potensial adalah dengan menggunakan sumber listrik seperti baterai. Goerge Simon Ohm (1787 – 1854) menetapkan dengan sebuah percobaan bahwa arus listrik yang mengalir di dalam suatu penghantar sebanding dengan beda potensial yang diberikan ke ujung-ujung penghantar. Sebagai contoh, jika kita menghubungkan penghantar ke sumber listrik berupa baterai yang memiliki tegangan sebesar 6 V, aliran arus listrik yang dihasilkan akan sebesar dua kali lipat apabila dibandingkan jika dihubungkan ke baterai yang memiliki tegangan 3 V.

Sebuah perumpamaan yang mudah dipahami dalam memahami arus listrik adalah dengan membandingkannya dengan aliran air di sungai atau pada pipa air yang dipengaruhi oleh gravitasi. Jika ujung – ujung dari sungai atau pipa berada dalam level ketinggian yang sama atau hamper rata, maka kecepatan dari aliran air tersebut akan

kecil. Tetapi jika salah satu ujung dari sungai ataupun pipa lebih tinggi dari yang lainnya, kecepatan aliran air akan lebih besar. Makin besar perbedaan ketinggian, maka makin besar aliran arus sungai atau pipanya. Sama halnya seperti penambahan ketinggian dapat menyebabkan aliran air yang lebih besar, demikian halnya dengan beda potensial listrik yang lebih besar dapat menyebabkan aliran arus listrik menjadi lebih besar.

Aliran arus listrik pada penghantar tidak hanya bergantung pada nilai dari tegangan saja, tetapi bergantung juga pada nilai hambatan yang ada pada rangkaian listrik tersebut. Dinding pipa, batu-batu yang berada di tengah sungai ataupun tepian sungai itu sendiri merupakan hambatan yang diberikan terhadap aliran arus air. Dengan pemahaman yang sama terhadap rangkaian listrik, elektron-elektron yang mengalir di dalam suatu penghantar diperlambat lajunya karena adanya interaksi dengan atom-atom yang terdapat pada penghantar. Semakin tinggi hambatan yang terdapat pada rangkaian listrik tersebut ataupun pada penghantar tersebut, maka semakin kecil arus yang melintas pada tegangan senilai V .

Dari penjelasan di atas didapatkanlah definisi dari hukum ohm yang dengan jelas mengungkap bahwa untuk sebuah hambatan yang tetap, semakin besar tegangan listrik maka arus listrik akan semakin besar dan semakin besar hambatan untuk nilai tegangan yang sama maka arus listrik akan semakin kecil. Dengan kata lain, arus listrik berbanding lurus dengan tegangan yang diterapkan dan berbanding terbalik dengan hambatan.



Gambar 4.2 Hubungan antara tegangan, arus dan hambatan.

Secara matematis hubungan antara tegangan, arus dan hambatan dalam hukum Ohm dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = I \cdot R \quad (4.4)$$

di mana,

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ω)

Simbol untuk tegangan pada baterai biasanya disimbolkan dengan huruf besar E, sedangkan kehilangan energi potensial yang melintas pada suatu tahanan disimbolkan dengan huruf besar V.

Contoh soal:

1. Tentukan arus yang mengalir dari sebuah rangkaian listrik apabila disumberi oleh sebuah baterai bertegangan 9 V dan memiliki sebuah hambatan senilai 2,2 Ω .

Penyelesaian :

Diketahui : $V = 9 \text{ V}$

$R = 2,2 \Omega$

Ditanyakan : I

Jawab :

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

$$I = \frac{9 \text{ V}}{2,2 \Omega} = 4,09 \text{ A}$$

E. Daya Listrik

Daya listrik merupakan petunjuk mengenai berapa banyak kerja (perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya) yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu. Sebagai contoh, sebuah motor listrik yang memiliki kapasitas daya listrik yang besar tentunya memiliki daya kerja yang lebih besar apabila dibandingkan dengan motor listrik berkapasitas daya kecil karena motor listrik berkapasitas besar dapat merubah lebih banyak energi listrik menjadi energi mekanik dalam selang waktu yang sama. Energi yang diubah diukur dalam satuan Joule (J) dan waktu dalam detik (s), maka daya diukur dalam satuan Joule / Detik (J/s). Satuan pengukuran untuk daya listrik dikenal dengan Watt (W). Sehingga dapat disimpulkan bahwa 1 Watt = 1 Joule/detik. Secara umum, rumus dari daya listrik dapat dituliskan sebagai berikut:

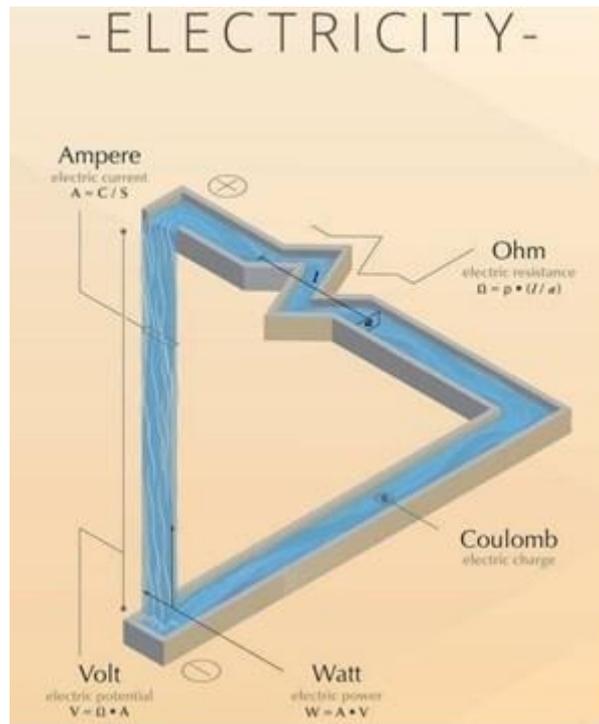
$$P = V \cdot I \quad (4.5)$$

di mana,

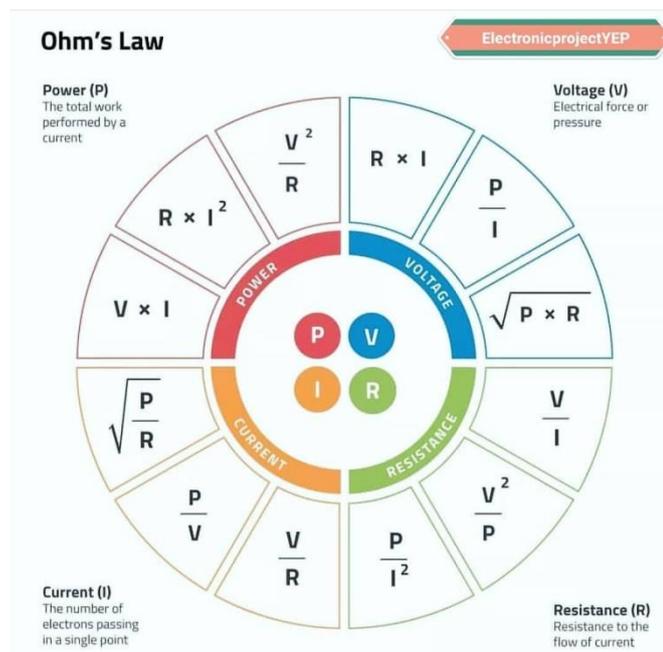
V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

P = Daya Listrik (Watt)



Gambar 4.3 Hubungan antara Tegangan, arus, hambatan dan daya listrik.



Gambar 4.4 Rumus-rumus Tegangan, arus, hambatan dan daya listrik.

Sumber : Instagram

4.4 Rangkuman

- (1) Arus listrik adalah jumlah total muatan yang melewati suatu penghantar per satu satuan waktu pada suatu titik.
- (2) Tegangan listrik adalah tanda seberapa banyak energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu muatan diantara 2 titik di dalam suatu kelistrikan.
- (3) Tahanan / resistansi merupakan nilai hambatan yang dimiliki oleh suatu bahan penghantar maupun bahan penyekat atau isolator.
- (4) Aliran arus listrik pada penghantar tidak hanya bergantung pada nilai dari tegangan saja, tetapi bergantung juga pada nilai hambatan yang ada pada rangkaian listrik tersebut.
- (5) Hukum Ohm dengan jelas mengungkap bahwa untuk sebuah hambatan yang tetap, semakin besar tegangan listrik maka arus listrik akan semakin besar dan semakin besar hambatan untuk nilai tegangan yang sama maka arus listrik akan semakin kecil. Dengan kata lain, arus listrik berbanding lurus dengan tegangan yang diterapkan dan berbanding terbalik dengan hambatan.
- (6) Daya listrik merupakan petunjuk mengenai berapa banyak kerja (perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya) yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu.

4.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

- (1) Jelaskan definisi dari arus listrik, tegangan, hambatan dan daya listrik.
- (2) Jelaskan definisi dari Hukum Ohm dan jelaskan hubungan antara arus listrik, tegangan dan hambatan.
- (3) Suatu muatan listrik mengalir pada suatu penghantar tembaga sebesar 5 Coulomb setiap 20 milidetik. Tentukan nilai arus listrik dari keterangan di atas.
- (4) Berapa besar perbedaan potensial diantara dua titik dari suatu sistem kelistrikan jika untuk memindahkan muatan sebesar 40 Coulomb memerlukan energi sebesar 80 Joule.
- (5) Tentukan arus yang mengalir dari sebuah rangkaian listrik apabila disumberi oleh sebuah baterai bertegangan 1,5 V dan memiliki sebuah hambatan senilai 1,1 Ω .

4.6 Tes Formatif 4

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Satuan untuk arus listrik dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
2. Satuan untuk muatan listrik dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
3. Satuan untuk tegangan dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
4. Satuan untuk hambatan dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Ohm
5. Satuan untuk energi dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Joule
 - c. Coulomb
 - d. Farad
6. Satuan untuk daya listrik dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Watt

7. Untuk sebuah hambatan yang tetap, semakin besar tegangan listrik maka arus listrik akan semakin besar dan semakin besar hambatan untuk nilai tegangan yang sama maka arus listrik akan semakin kecil, merupakan bunyi dari.....
 - a. Hukum kekekalan energi
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff
8. Petunjuk mengenai berapa banyak kerja yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu, merupakan pengertian dari...
 - a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan
9. Tanda seberapa banyak energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu muatan diantara 2 titik di dalam suatu kelistrikan
 - a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan
10. Jika $6,6242 \times 10^{18}$ elektron mengalir dengan kecepatan yang seragam melalui suatu penghantar dalam waktu satu detik maka aliran muatan tersebut disebut dengan
 - a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan



5. KEGIATAN BELAJAR 5



5.1 Hukum – hukum Tegangan dan Arus dalam Arus Searah

Pada saat ini terdapat dua macam jenis arus listrik yang dipergunakan dan dikenal secara umum, yaitu arus searah atau yang dikenal dengan *Direct Current* (DC) dan arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC). Dalam kegiatan belajar 5 ini kita akan coba membahas mengenai pengertian tentang apa itu arus DC dan juga hukum-hukum yang berlaku di dalam rangkaian listrik arus searah / arus DC.

5.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat:

- (1) Menjelaskan pengertian dari arus DC;
- (2) Menyebutkan sumber-sumber listrik untuk arus DC;
- (3) Memahami perbedaan antara rangkaian listrik seri dengan rangkaian listrik paralel dalam rangkaian listrik arus searah;
- (4) Memahami hukum arus Kirchoff (*Kirchoff's Current Law*, KCL);
- (5) Memahami hukum tegangan Kirchoff (*Kirchoff's Voltage Law*, KVL);
- (6) Menganalisis rangkaian-rangkaian seri dan paralel yang sederhana.

5.3 Uraian Materi

A. Arus Searah (DC)

Arus DC dinamakan dengan arus searah dikarenakan jenis arus tersebut yang mencakup bermacam-macam sistem listrik yang hanya memiliki satu arah aliran muatan. Sumber tegangan atau arus DC merupakan penyedia sumber listrik yang menyediakan tegangan dan arus yang tetap. Pada umumnya sumber tegangan DC dibagi menjadi tiga kategori umum yaitu: (1) baterai (reaksi kimia), (2) generator (elektro mekanik), dan (3) penyedia daya (penyearahan).

Bagi orang awam, baterai merupakan sumber listrik arus DC yang paling umum dan banyak dikenal serta dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Baterai diambil dari kata *battery of cell* yang berisi sebuah kombinasi dua atau lebih kombinasi sel-sel yang mirip, sebuah sel merupakan sumber energi listrik utama yang dihasilkan dari perubahan energi kimia atau dapat juga berasal dari energi surya.

Sebuah baterai dan aki yang bekerja berdasarkan prinsip elektro kimia memiliki rating kemampuan yang ditentukan dalam *Ampere Hours* (AH) atau *milliAmpere hours* (mAh).

Sebuah baterai yang memiliki rating 100 AH secara teoritis dapat menyediakan arus sebesar 1 A dalam waktu 100 jam, 2 A dalam 50 jam, 10 A dalam 10 jam dan seterusnya. Dalam rangkaian listrik simbol baterai digambarkan seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Simbol baterai dalam rangkaian listrik.

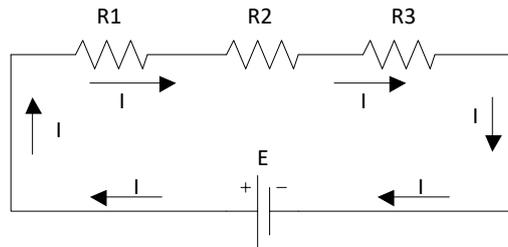
B. Rangkaian Seri

Sebuah rangkaian listrik arus DC sederhana pada umumnya terdiri dari sumber tegangan, penghantar dan tahanan atau hambatan. Simbol baterai yang umum dipergunakan dalam suatu analisa rangkaian listrik dapat kita lihat pada Gambar 5.1. Sedangkan simbol untuk penghantar pada umumnya digambarkan dalam sebuah garis lurus. Untuk simbol hambatan/R disimbolkan seperti pada Gambar 5.2. Pada rangkaian seri, Simbol untuk tegangan pada baterai biasanya disimbolkan dengan huruf besar E, sedangkan kehilangan energi potensial yang melintas pada suatu tahanan disimbolkan dengan huruf besar V.



Gambar 5.2 Simbol hambatan dalam rangkaian listrik.

Dua buah elemen atau lebih yang dikatakan sebagai rangkaian seri bila elemen-elemen pada rangkaian tersebut hanya memiliki sebuah titik utama yang tidak terhubung menuju elemen pembawa arus pada suatu jaringan listrik. Dalam suatu rangkaian seri, arus yang lewat pada setiap elemen yang tersusun secara seri bernilai sama besar.



Gambar 5.3 Rangkaian seri.

Dalam rangkaian seri, nilai hambatan total (R_T) pada suatu rangkaian dapat ditentukan dengan hanya melakukan operasi penambahan pada beberapa hambatan yang ada pada rangkaian listrik tersebut.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \dots \dots R_N (\Omega) \quad (5.1)$$

Setelah nilai dari hambatan total (R_T) dan sumber tegangan (E) pada suatu rangkaian listrik dapat diketahui, maka nilai dari arus listrik dari rangkaian listrik yang tersusun seri dapat ditentukan dengan menggunakan rumus hukum Ohm yang telah dijelaskan pada kegiatan belajar 4.

$$I = \frac{E}{R_T} \quad (5.2)$$

Tegangan pada masing-masing hambatan pada rangkaian listrik pada Gambar 5.3 dapat diketahui juga dengan menggunakan hukum ohm dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{R1} = I \cdot R_1, V_{R2} = I \cdot R_2, V_{R3} = I \cdot R_3, \dots \dots \dots V_{RN} = I \cdot R_N \quad (5.3)$$

Daya listrik yang dimiliki masing-masing tahanan juga dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$P_{R1} = V_{R1} \cdot I, P_{R2} = V_{R2} \cdot I, P_{R3} = V_{R3} \cdot I \quad (5.4)$$

di mana,

E = Sumber tegangan baterai (Volt)

I = Arus listrik yang mengalir pada rangkaian (Ampere)

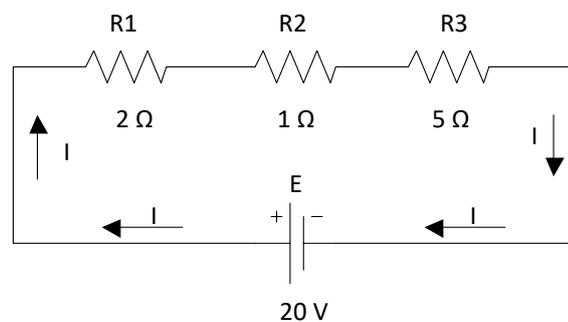
R_N = Hambatan listrik ke- n (Ω)

V_{RN} = Tegangan pada hambatan R ke-n (Volt)

P_{RN} = Daya listrik pada hambatan R ke-n (Watt)

Contoh soal :

1. Diketahui suatu rangkaian listrik seperti gambar di bawah ini :



Tentukan:

- Tentukan hambatan total untuk rangkaian seri di atas
- Hitunglah besar arus I
- Tentukan nilai tegangan pada hambatan R_1 , R_2 dan R_3
- Hitunglah daya listrik yang dilepas oleh hambatan R_1 , R_2 dan R_3
- Tentukan daya listrik yang diberikan oleh sumber baterai dan bandingkan dengan penjumlahan dari ketiga daya listrik pada hambatan R_1 , R_2 dan R_3 .

Penyelesaian :

a. $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$$R_T = 2\Omega + 1\Omega + 5\Omega = 8\Omega$$

b. $I = \frac{E}{R_T} = \frac{20\text{ V}}{8\Omega} = 2,5\text{ A}$

c. $V_{R1} = I \cdot R_1 = 2,5\text{ A} \times 2\Omega = 5\text{ V}$

$$V_{R2} = I \cdot R_2 = 2,5\text{ A} \times 1\Omega = 2,5\text{ V}$$

$$V_{R3} = I \cdot R_3 = 2,5\text{ A} \times 5\Omega = 12,5\text{ V}$$

d. $P_{R1} = V_{R1} \cdot I = 5\text{ V} \times 2,5\text{ A} = 12,5\text{ W}$

$$P_{R2} = V_{R2} \cdot I = 2,5\text{ V} \times 2,5\text{ A} = 6,25\text{ W}$$

$$P_{R3} = V_{R3} \cdot I = 12,5\text{ V} \times 2,5\text{ A} = 31,25\text{ W}$$

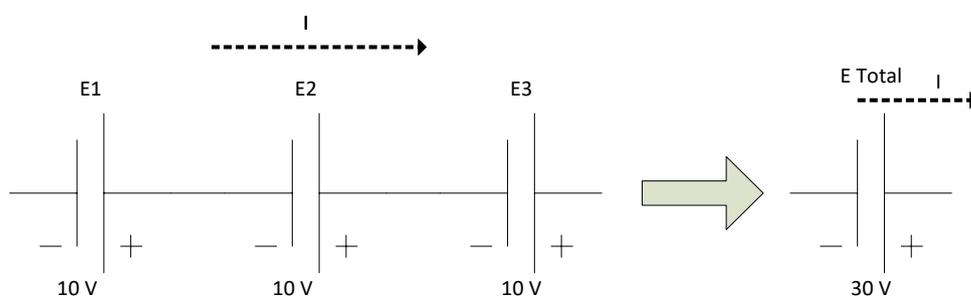
e. $P_E = E \cdot I = 20\text{ V} \cdot 2,5\text{ A} = 50\text{ W}$

$$P_E = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3}$$

$$50\text{ W} = 12,5\text{ W} + 6,25\text{ W} + 31,25\text{ W}$$

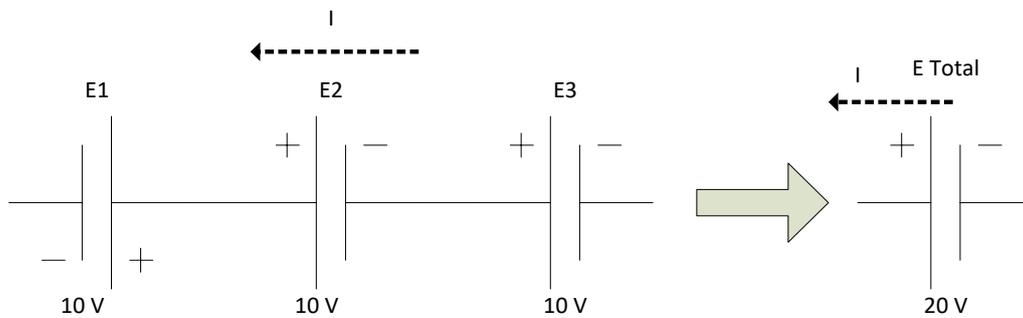
$$50\text{ W} = 50\text{ W}$$

Suatu sumber tegangan dapat dihubungkan secara seri. Biasanya hal ini dilakukan untuk dapat menaikkan tegangan total dari sumber tegangan sesuai dengan kebutuhan tegangan kerja yang diperlukan terhadap suatu sistem kelistrikan. Nilai dari tegangan total dari sumber tegangan yang dihubungkan secara seri dapat ditentukan dengan melakukan operasi penjumlahan terhadap dua atau lebih sumber tegangan yang dihubungkan secara seri, dengan syarat polaritas dari sumber-sumber tersebut adalah sama.



Gambar 5.4 Sumber tegangan dihubungkan seri dengan polaritas sama.

Apabila dua atau lebih sumber tegangan yang dihubungkan secara seri dihubungkan dengan polaritas yang berbeda, maka untuk menentukan nilai tegangan total dari sumber tegangan tersebut adalah dengan melakukan operasi pengurangan.



Gambar 5.5 Sumber tegangan dihubung seri dengan polaritas berbeda.

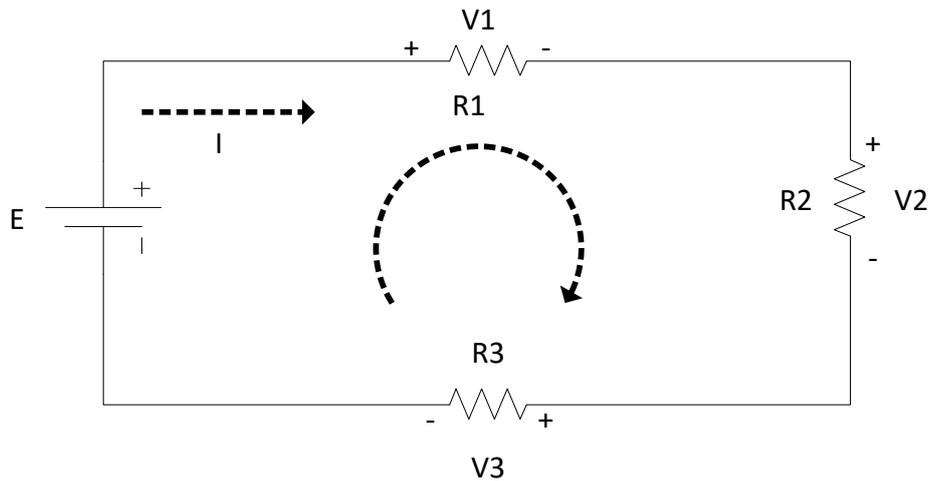
C. Hukum Tegangan Kirchoff

Hukum Tegangan Kirchoff (*Kirchoff's Voltage Law, KVL*) berbunyi bahwa jumlah aljabar tegangan pada sekeliling hambatan di sebuah rangkaian listrik tertutup adalah sama dengan nol. Pada rangkaian seri, tegangan merupakan ukuran dari selisih energi potensial yang terdapat pada terminal-terminal di elemen pada rangkaian listrik tertutup.

Penerapan KVL pada sebuah rangkaian listrik dapat dilakukan dengan berbagai cara dan metode yang berbeda-beda. Salah satu metode yang paling umum dipakai karena memiliki kemungkinan tingkat kesalahan yang kecil adalah metode dengan mengelilingi suatu rangkaian listrik tertutup dengan arah yang searah dengan perputaran jarum jam dan menuliskan nilai tegangan dari setiap elemen yang ada. Elemen yang terminal (+) nya dijumpai lebih dulu diberi harga positif, dan elemen yang terminal (-) dijumpai lebih dulu diberi harga negatif.

Secara matematis KVL dapat dituliskan dengan rumus :

$$\sum_{n=1}^N V_n = 0 \quad (5.5)$$



Gambar 5.6 Rangkaian listrik tertutup.

Dengan menggunakan KVL, maka rangkaian listrik pada Gambar 5.6 dapat dituliskan dengan persamaan:

$$- E + V_1 + V_2 + V_3 = 0 , \text{ atau}$$

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

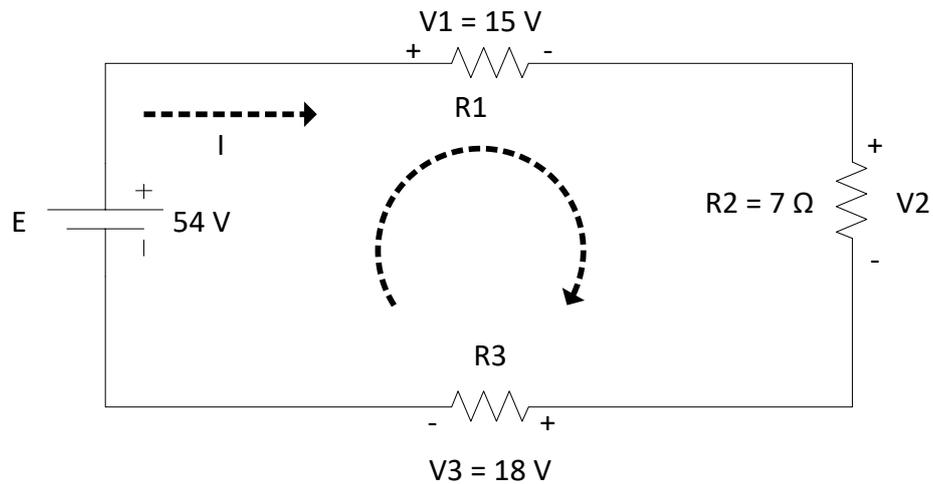
Apabila pada gambar 5.6 diketahui bahwa nilai dari V_1 , V_2 , dan V_3 berturut – turut adalah 5 V, 10 V dan 15 V. Maka dengan menggunakan KVL nilai dari sumber listrik E adalah :

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

$$E = 5 V + 10 V + 15 V$$

$$E = 30 V$$

Contoh soal :



Dari gambar di atas tentukan nilai dari I , V_2 , R_1 dan R_3 !

Penyelesaian:

Dengan menggunakan KVL, maka persamaan yang diperoleh untuk rangkaian di atas adalah :

$$-E + V_1 + V_2 + V_3 = 0$$

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

Maka nilai dari V_2 dapat diperoleh dengan cara :

$$54 V = 15 V + V_2 + 18 V$$

$$V_2 = 54 V - 18 V - 15 V$$

$$V_2 = 21 V$$

Setelah nilai V_2 diketahui, maka nilai arus I adalah :

$$I = \frac{V_2}{R_2} = \frac{21 V}{7 \Omega} = 3 A$$

Maka, nilai R_1 dan R_3 adalah :

$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{15 V}{3 A} = 5 \Omega$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{18 V}{3 A} = 6 \Omega$$

Dari keterangan dan beberapa contoh soal di atas dapat disimpulkan bahwa pada rangkaian seri nilai tegangan pada suatu hambatan akan terbagi sebagaimana besar dari hambatan itu sendiri. Selain itu dapat disimpulkan bahwa jumlah jatuh tegangan pada tahanan yang tersusun secara seri akan sama besar dengan nilai tegangan yang digunakan.

Pada pembahasan dan contoh soal di atas, arus listrik ditentukan sebelum nilai jatuh tegangan pada masing-masing hambatan ditentukan. Atau dengan kata lain kita baru dapat menentukan nilai jatuh tegangan dari masing-masing hambatan setelah kita mengetahui nilai arus listrik yang melintas pada rangkaian listrik tersebut. Akan tetapi ada sebuah metode yang direferensikan yang dikenal dengan aturan pembagai tegangan dimana metode ini dapat menentukan nilai dari tegangan jatuh dari setiap hambatan tanpa harus memperoleh nilai dari arus listrik terlebih dahulu. Secara matematis aturan pembagai tegangan dapat ditulis dengan rumus :

$$V_x = \frac{R_x \cdot E}{R_T} \quad (5.6)$$

di mana,

V_x = Nilai tegangan jatuh pada hambatan R_x (Vol)

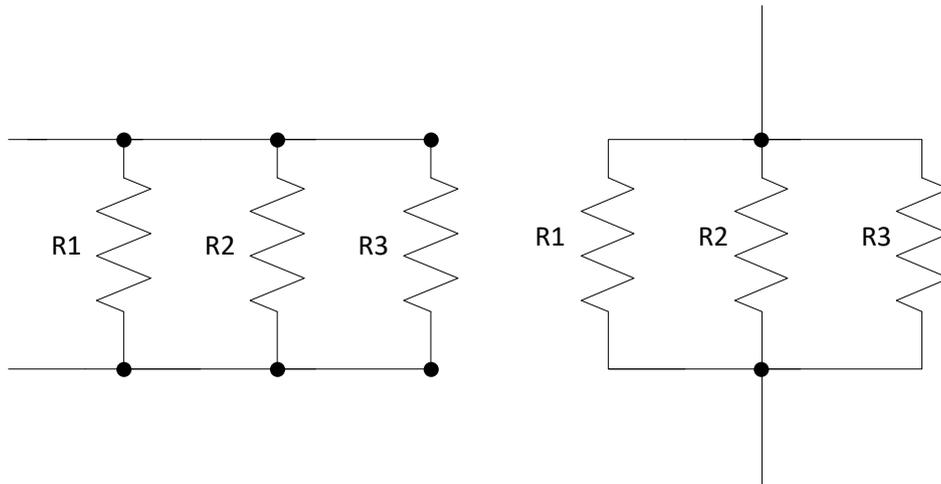
E = Sumber tegangan (Volt)

R_x = Hambatan suatu rangkaian (Ω)

R_T = Hambatan total suatu rangkaian listrik (Ω)

D. Rangkaian Sejajar (Paralel)

Suatu rangkaian listrik dapat dikatakan sebagai rangkaian sejajar atau paralel apabila dua atau lebih elemen yang berada pada rangkaian tersebut memiliki dua titik bersama.



Gambar 5.7 Hubungan sejajar / paralel suatu rangkaian.

Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa kedua rangkaian tersebut dikatakan sebagai rangkaian sejajar/paralel karena kedua kaki dari setiap elemen saling terhubung satu sama lain. Untuk mencari nilai hambatan total pada hubungan paralel dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (5.7)$$

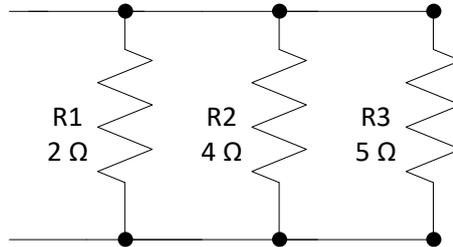
Hubungan sejajar/paralel merupakan kebalikan dari hubungan seri. Dengan kata lain, bahwa semakin banyak jumlah tahanan yang berada dalam hubungan sejajar atau paralel maka akan semakin besar arus yang melewati rangkaian tersebut untuk nilai tegangan yang sama.

Untuk tahanan yang memiliki nilai sama dan disusun secara paralel, hambatan totalnya sama dengan harga 1 buah tahanan dibagi dengan jumlah elemen yang tersusun paralel (N).

$$R_T = \frac{R}{N} \quad (5.8)$$

Contoh soal :

1. Tentukan nilai hambatan total dari rangkaian paralel di bawah ini:



Penyelesaian:

Dengan menggunakan rumus 5.7, maka nilai hambatan total dari rangkaian tersebut adalah :

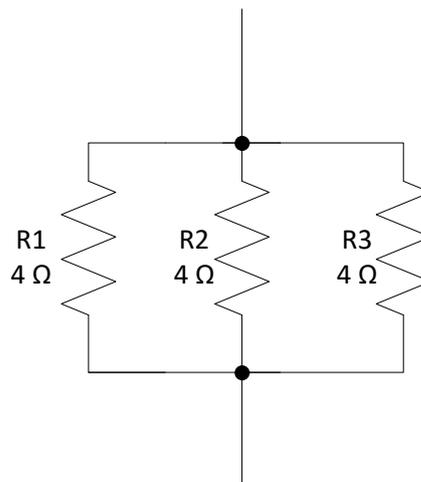
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{5\Omega}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{5 + 2,5 + 2}{10} = \frac{9,5}{10}$$

$$R_T = 1,053 \Omega$$

2. Tentukan nilai hambatan total dari rangkaian paralel di bawah ini:



Penyelesaian:

Contoh soal nomor 2, dikarenakan nilai seluruh hambatan yang terhubung paralel adalah sama besar yaitu 4Ω , maka nilai hambatan total dapat diselesaikan dengan menggunakan rumus 5.8

Diketahui : $R = 4 \Omega$

$N = 3$ (jumlah elemen hambatan yang tersusun paralel)

Ditanyakan : R_T

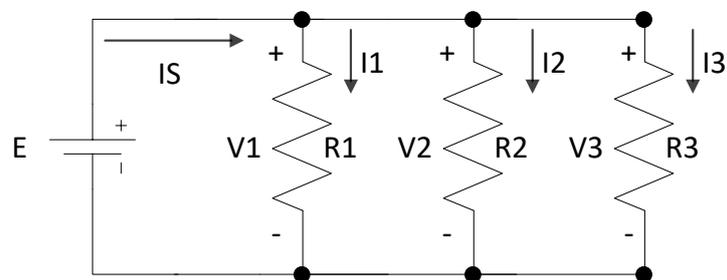
Jawab :

$$R_T = \frac{R}{N}$$

$$R_T = \frac{4 \Omega}{3}$$

$$R_T = 1,33 \Omega$$

Dari keterangan dan juga dari perhitungan contoh soal di atas, terdapat kesimpulan menarik yang dapat kita ambil, bahwa nilai dari hambatan total pada hubungan paralel selalu lebih kecil dari harga hambatan / tahanan yang bernilai paling kecil yang terdapat pada rangkaian paralel tersebut.



Gambar 5.8 Jaringan rangkaian paralel sederhana.

Gambar 5.8 merupakan jaringan rangkaian paralel yang paling sederhana. Seluruh terminal elemen yang terdapat di dalam rangkaian tersebut terhubung satu sama lain. Nilai hambatan total pada rangkaian tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan rumus 5.7 dan rumus

5.8 apabila nilai seluruh hambatannya sama besar. Setelah hambatan total dapat diketahui, maka kita dapat mencari nilai arus listrik sumber yang melintas pada rangkaian tersebut dengan menggunakan hukum Ohm yaitu $I_S = E/R_T$. Apabila terminal baterai terhubung secara langsung dengan terminal pada tahanan, seperti pada gambar 5.8 dimana terminal baterai E terhubung secara langsung dengan terminal pada hambatan R_1 , R_2 , dan R_3 , dapat dinyatakan suatu sifat tegangan pada hubungan paralel bahwa nilai tegangan yang melintas pada suatu elemen yang tersusun secara paralel adalah sama besar. Sehingga bila dituliskan secara matematis adalah :

$$E = V_1 = V_2 = V_3 \quad (5.9)$$

Maka,

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1}, I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2}, I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{E}{R_3} \quad (5.10)$$

Jika kita mengambil persamaan 5.7 untuk hambatan total dan mengalikan kedua sisi dengan elemen tegangan sumber yang digunakan, maka akan diperoleh suatu persamaan :

$$E \cdot \left(\frac{1}{R_T} \right) = E \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

maka,

$$\frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Karena $E/R_T = I_S$, maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

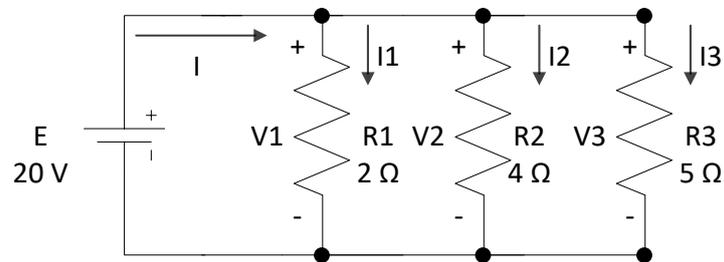
$$I_S = I_1 + I_2 + I_3 \quad (5.11)$$

Sehingga daya listrik pada masing-masing hambatan dapat ditentukan dengan :

$$P_{R1} = E \cdot I_1, P_{R2} = E \cdot I_2, P_{R3} = E \cdot I_3 \quad (5.12)$$

Contoh soal:

1. Diketahui suatu rangkaian listrik terhubung paralel seperti gambar di bawah ini:



Tentukanlah:

- Nilai hambatan total R_T
- Nilai dari arus I_S , I_1 , I_2 , dan I_3
- Daya dari masing-masing hambatan

Penyelesaian :

$$a. \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2\ \Omega} + \frac{1}{4\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{5 + 2,5 + 2}{10} = \frac{9,5}{10}$$

$$R_T = 1,053\ \Omega$$

$$b. I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{20\ V}{1,053\ \Omega} = 18,99\ A = 19\ A$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1} = \frac{20\ V}{2\ \Omega} = 10\ A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2} = \frac{20\ V}{4\ \Omega} = 5\ A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{E}{R_3} = \frac{20\ V}{5\ \Omega} = 4\ A$$

$$c. P_{R1} = E \cdot I_1 = 20 V \cdot 10 A = 200 \text{ Watt}$$

$$P_{R2} = E \cdot I_2 = 20 V \cdot 5 A = 100 \text{ Watt}$$

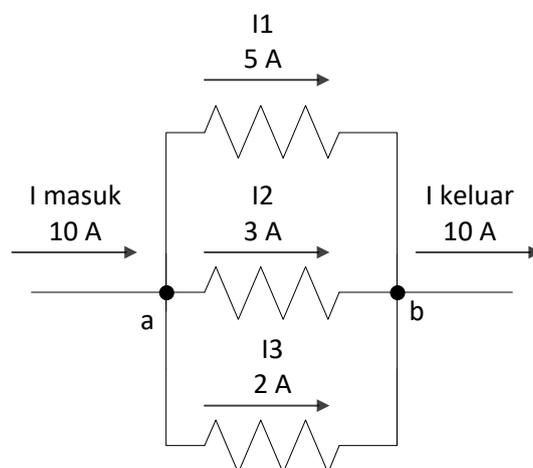
$$P_{R3} = E \cdot I_3 = 20 V \cdot 4 A = 80 \text{ Watt}$$

E. Hukum Arus Kirchoff

Hukum arus Kirchoff (*Kirchoff's Current Law, KCL*), berbunyi bahwa jumlah dari aljabar arus listrik yang masuk dan yang meninggalkan suatu sambungan harus sama dengan nol. Dengan kata lain bahwa jumlah arus listrik yang memasuki sebuah sambungan harus sama dengan jumlah arus listrik yang keluar meninggalkan sambungan tersebut. Atau dalam bentuk persamaan adalah :

$$\sum I_{Masuk} = \sum I_{Keluar} \quad (5.13)$$

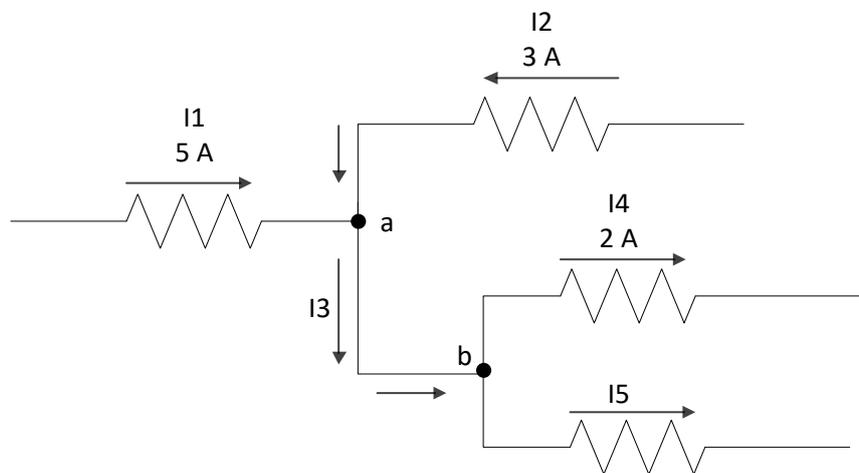
Sebuah contoh sederhana dari penerapan hukum arus Kirchoff / KCL dapat dilihat pada gambar 5.9. Pada gambar tersebut tiga buah hambatan yang terhubung secara paralel yang tersambung pada titik a pada salah satu sambungannya dan titik b pada sambungan yang lain. Arus listrik yang masuk melalui titik a bernilai 10 Ampere dan terbagi masuk ke dalam tiga hambatan dimana nilai arus yang masuk melalui masing-masing hambatan tergantung dari nilai hambatan tersebut. Pada saat arus listrik meninggalkan titik b, nilai arus tersebut sama dengan arus listrik yang masuk pada titik a.



Gambar 5.9 Penerapan Hukum Arus Kirchoff.

Contoh soal:

1. Tentukanlah nilai arus I_3 dan I_5 rangkaian di bawah ini dengan menggunakan hukum arus Kirchoff / KCL:



Penyelesaian:

Pada gambar di atas terdapat 2 titik sambungan, yaitu titik a dan titik b. Pada titik a, arus masuk yang melintas di titik tersebut adalah I_1 dan I_2 . Kemudian I_3 merupakan arus listrik yang keluar dari titik sambung a, sehingga dapat dituliskan bahwa:

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_3 = 5 A + 3 A = 8 A$$

Titik sambung b merupakan titik masuk arus I_3 , arus yang keluar dari titik b tercabang menjadi 2 bagian yaitu I_4 dan I_5 , sehingga:

$$I_3 = I_4 + I_5$$

$$I_5 = I_3 - I_4$$

$$I_5 = 8 A - 2 A = 6 A$$

Pada sub-bab hubungan seri di atas, telah dijelaskan mengenai aturan pembagi tegangan. Pada pembelajaran hubungan paralel juga dikenal suatu aturan yang serupa dengan aturan pembagi tegangan. Aturan ini dinamakan dengan aturan pembagi arus, di mana dari nama yang diberikan aturan pembagi arus akan menentukan bagaimana suatu arus listrik yang memasuki suatu titik cabang akan terbagi diantara elemen-elemen yang ada pada rangkaian tersebut. Aturan pembagi arus memiliki dua ketentuan, yaitu:

- (1) Untuk dua elemen yang terhubung paralel dan memiliki nilai hambatan yang sama besar, maka arus listrik yang melintas akan terbagi sama besar.
- (2) Untuk dua atau lebih elemen yang terhubung paralel dan memiliki nilai hambatan yang berbeda, semakin kecil hambatan akan semakin besar arus listrik yang melintas pada elemen tersebut.

Secara matematis persamaan untuk pembagi arus ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} \cdot I \quad (5.14)$$

di mana,

I_x = Nilai arus listrik yang melintas pada hambatan R_x (Ampere)

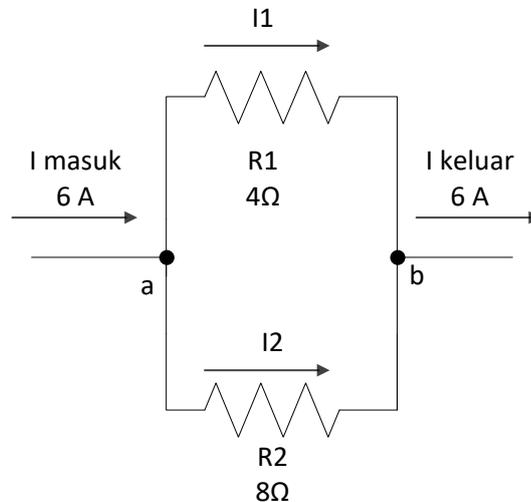
I = Besar arus listrik dari sumber listrik (Ampere)

R_x = Hambatan suatu rangkaian (Ω)

R_T = Hambatan total suatu rangkaian listrik (Ω)

Contoh soal:

1. Tentukanlah nilai I_1 dan I_2 pada rangkaian listrik di bawah ini:



Penyelesaian:

Untuk menyelesaikan permasalahan di atas, kita dapat menggunakan rumus dari aturan pembagi arus. Sebelum mencari nilai dari I_1 dan I_2 , kita harus mencari nilai dari hambatan total dari rangkaian tersebut.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ atau } R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{4 \Omega \cdot 8 \Omega}{4 \Omega + 8 \Omega} = \frac{32}{12} = \frac{8}{3} \Omega$$

Maka,

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} \cdot I$$

$$I_1 = \frac{R_T}{R_1} \cdot I = \frac{\frac{8}{3} \Omega}{4 \Omega} \cdot 6 A = \frac{2}{3} \cdot 6 = 4 A$$

$$I_2 = \frac{R_T}{R_2} \cdot I = \frac{\frac{8}{3} \Omega}{8 \Omega} \cdot 6 A = \frac{1}{3} \cdot 6 = 2 A$$

F. Pengukuran Nilai Tegangan, Arus dan Hambatan

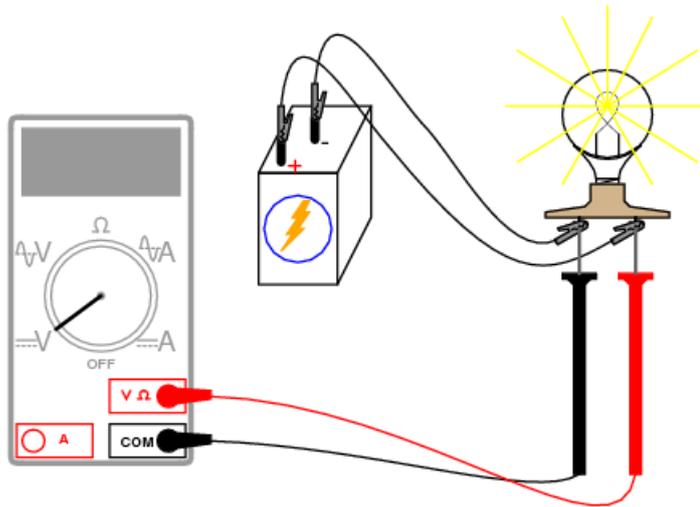
• Pengukuran Tegangan

Telah dijelaskan di atas bahwa satuan dari tegangan listrik adalah Volt. Alat untuk mengukur tegangan dinamakan dengan *Voltmeter*. Pengukuran dengan menggunakan *Voltmeter* harus diperhatikan, apakah rangkaian listrik yang akan diukur merupakan arus searah atau arus bolak-balik. Selain itu batas ukur tegangan pada *voltmeter* harus diperhatikan, untuk mengukur tegangan pada arus searah sebesar 12 V harus menggunakan batas ukur di atasnya, misalnya 20 V atau 24 V. Pengukuran tegangan arus bolak-balik sebesar 220 V, harus menggunakan batas ukur di atasnya, misalnya 500 V. Jika hal ini tidak diperhatikan, akan mengakibatkan voltmeter dapat terbakar dan rusak secara permanen.



Gambar 5.10 Voltmeter arus DC dan arus AC.

Sebuah voltmeter memiliki dua terminal, yaitu terminal positif (+) dan terminal negatif (-). Dalam melakukan pengukuran dengan menggunakan voltmeter baik arus searah maupun arus bolak-balik, pengukuran dilakukan dengan metode hubungan sejajar atau paralel. Dimana apabila kita ingin melakukan pengukuran sebuah baterai atau elemen lainnya maka kita harus menghubungkan secara paralel terminal positif pada voltmeter dengan kutub positif pada baterai dan terminal negatif pada voltmeter dengan kutub negatif pada baterai. Begitu juga dengan elemen atau komponen lainnya, pada saat melakukan pengukuran tegangan, voltmeter harus dihubungkan secara paralel dengan komponen atau elemen yang akan diukur nilai tegangannya.

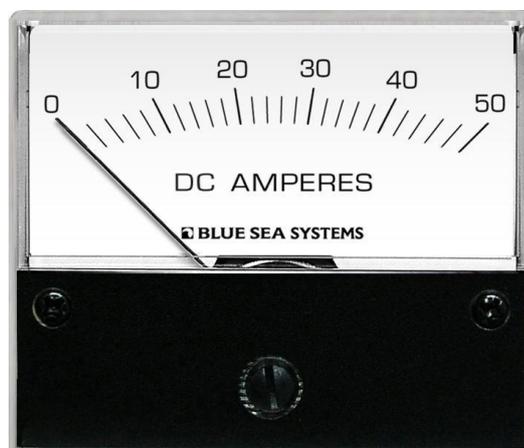


Gambar 5.11 Pengukuran dengan Voltmeter.

Sumber : Salim (2013). *Teknik Dasar Kelistrikan Kapal I*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

- **Pengukuran Arus**

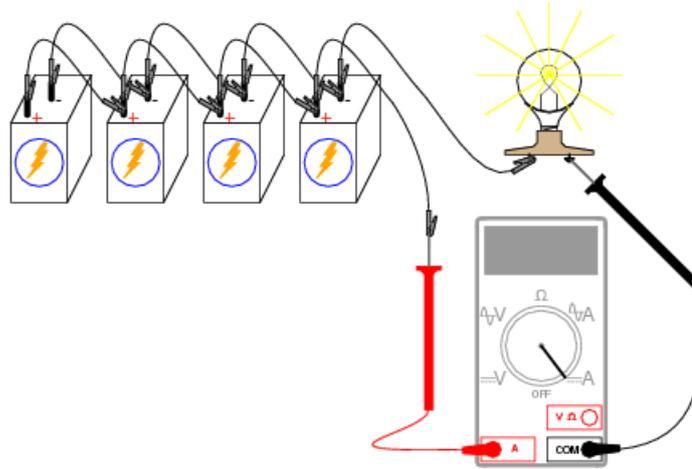
Satuan dari Arus listrik adalah Ampere, dan alat untuk mengukur arus listrik pada sebuah rangkaian listrik disebut Ampere-meter. Pengukuran dengan menggunakan Ampermeter harus diperhatikan, apakah rangkaian listrik yang akan diukur merupakan listrik arus searah atau listrik arus bolak-balik. Disamping itu batas ukur arus harus diperhatikan, apabila arus listrik yang akan diukur diperkirakan mencapai 10 A, maka harus menggunakan batas ukur di atasnya. Jika hal ini tidak diperhatikan, maka Ampere-meter dapat terbakar dan rusak secara permanen.



Gambar 5.12 Ampere-meter arus DC.

Sama halnya dengan voltmeter, ampere-meter juga memiliki dua terminal yaitu terminal positif (+) dan terminal negatif (-). Cara mengukur arus listrik searah dengan menggunakan ampere-meter misalnya pada sebuah baterai, Ampere-meter

dipasang dengan hubungan seri dengan beban yang akan diukur nilai arus listriknya. Terminal positif Ampere-meter terhubung ke kutub positif pada baterai, terminal negatif ampere-meter dihubungkan secara seri ke terminal positif pada beban dan terminal negatif pada beban dihubungkan ke kutub negatif pada baterai.



Gambar 5.13 Pengukuran dengan Ampere-meter.

Sumber : Agus Salim (2013). *Teknik Dasar Kelistrikan Kapal I*. Jakarta : Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

- **Pengukuran Hambatan / Tahanan**

Satuan dari hambatan atau tahanan adalah Ohm, dan alat untuk mengukur nilai hambatan/tahanan pada sebuah rangkaian listrik disebut Ohm-meter. Ohm meter merupakan suatu perangkat elektronika yang mempunyai fungsi untuk mengukur nilai resistansi atau hambatan suatu beban elektronika atau komponen elektronika. Ohm meter pada umumnya berfungsi untuk mengukur nilai resistansi atau hambatan suatu resistor.



Gambar 5.14 Ohm- Meter.

Seiring dengan kemajuan teknologi, telah banyak digunakan alat ukur *portable* yang dapat mengukur tegangan, arus listrik dan hambatan hanya dengan menggunakan satu buah alat ukur saja. Alat ini dinamakan dengan *multi-meter / multi-tester*. Ketika kita menggunakan multi-meter sebagai amper-meter untuk mengukur arus listrik pada rangkaian, maka kita harus menghubungkan multi-meter secara seri pada rangkaian tersebut. Ketika multi-meter digunakan untuk mengukur tegangan atau sebagai voltmeter, maka multi-meter harus dihubungkan secara paralel dengan komponen.



Gambar 5.15 Multi-meter.

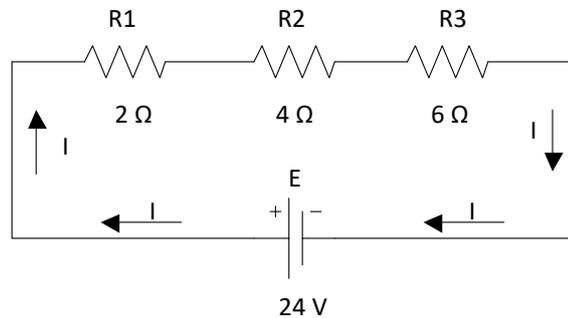
5.4 Rangkuman

- (1) Arus DC dinamakan dengan arus searah dikarenakan jenis arus tersebut yang mencakup bermacam-macam sistem listrik yang hanya memiliki satu arah aliran muatan.
- (2) Dua buah elemen atau lebih yang dikatakan sebagai rangkaian seri bila elemen-elemen pada rangkaian tersebut hanya memiliki sebuah titik utama yang tidak terhubung menuju elemen pembawa arus pada suatu jaringan listrik.
- (3) Dalam suatu rangkaian seri, arus yang lewat pada setiap elemen yang tersusun secara seri bernilai sama besar.
- (4) Dalam rangkaian seri, nilai hambatan total (RT) pada suatu rangkaian dapat ditentukan dengan hanya melakukan operasi penambahan pada beberapa hambatan yang ada pada rangkaian listrik tersebut.
- (5) Hukum Tegangan Kirchoff (Kirchoff's Voltage Law, KVL) berbunyi bahwa jumlah aljabar tegangan pada sekeliling hambatan di sebuah rangkaian listrik tertutup adalah sama dengan nol.
- (6) Suatu rangkaian listrik dapat dikatakan sebagai rangkaian sejajar atau paralel apabila dua atau lebih elemen yang berada pada rangkaian tersebut memiliki dua titik bersama.
- (7) Hukum arus Kirchoff (Kirchoff's Current Law, KCL), berbunyi bahwa jumlah dari aljabar arus listrik yang masuk dan yang meninggalkan suatu sambungan harus sama dengan nol.
- (8) Satuan dari tegangan listrik adalah Volt. Alat untuk mengukur tegangan dinamakan dengan Voltmeter.
- (9) Satuan dari Arus listrik adalah Ampere, dan alat untuk mengukur arus listrik pada sebuah rangkaian listrik disebut Ampere-meter.
- (10) Satuan dari hambatan atau tahanan adalah Ohm, dan alat untuk mengukur nilai hambatan / tahanan pada sebuah rangkaian listrik disebut Ohm-meter.

5.5 Penugasan

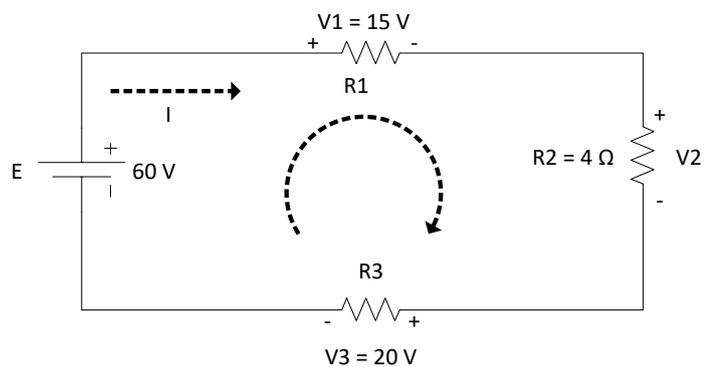
Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

1. Jelaskanlah pengertian dari arus searah dan sebutkanlah contoh dari sumber listrik yang menggunakan arus searah.
2. Diketahui suatu rangkaian listrik seperti gambar di bawah ini :



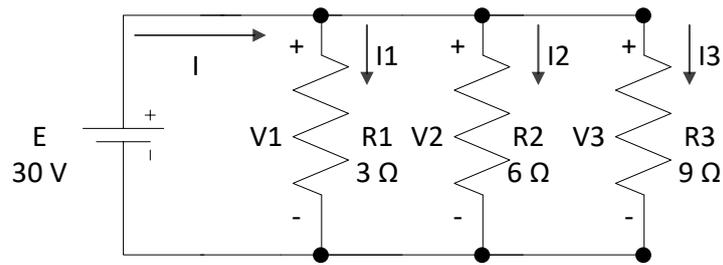
Tentukan:

- a. Tentukan hambatan total untuk rangkaian seri di atas
 - b. Hitunglah besar arus I
 - c. Tentukan nilai tegangan pada hambatan R_1 , R_2 dan R_3
 - d. Hitunglah daya listrik yang dilesap oleh hambatan R_1 , R_2 dan R_3
 - e. Tentukan daya listrik yang diberikan oleh sumber baterai dan bandingkan dengan penjumlahan dari ketiga daya listrik pada hambatan R_1 , R_2 dan R_3 .
3. Diketahui suatu rangkaian listrik seperti gambar di bawah ini :



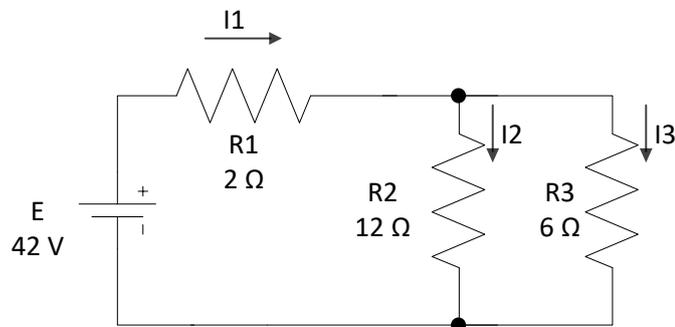
Dari gambar di atas tentukan nilai dari I, V_2 , R_1 dan R_3 !

4. Diketahui suatu rangkaian listrik terhubung paralel seperti gambar di bawah ini:



Tentukanlah:

- Nilai hambatan total R_T
 - Nilai dari arus I_S , I_1 , I_2 , dan I_3
 - Daya dari masing-masing hambatan
5. Diketahui suatu rangkaian listrik terhubung seri dan paralel seperti gambar di bawah ini



Tentukanlah:

- Nilai hambatan total R_T
- Nilai dari arus I_1 , I_2 , dan I_3

5.6 Tes Formatif 5

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Satuan untuk arus listrik dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
2. Satuan untuk muatan listrik dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
3. Satuan untuk tegangan dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
4. Satuan untuk hambatan dinyatakan dalam....
 - a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Ohm
5. Suatu sistem listrik yang hanya memiliki satu arah aliran muatan disebut....
 - a. Arus Searah
 - b. Arus bolak-balik
 - c. Resistansi
 - d. Arus bocor
6. Dalam suatu rangkaian seri, arus listrik yang lewat pada setiap elemen yang tersusun secara seri bernilai
 - a. Tergantung dari nilai hambatan yang dilaluinya
 - b. Sama dengan nilai tegangannya
 - c. Sama besar
 - d. Lebih kecil dari nilai hambatan

7. Jumlah aljabar tegangan pada sekeliling hambatan di sebuah rangkaian listrik tertutup adalah sama dengan nol, merupakan bunyi dari....
 - a. Hukum Kirchoff tegangan
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff Arus
8. Jumlah dari aljabar arus listrik yang masuk dan yang meninggalkan suatu sambungan harus sama dengan nol, merupakan bunyi dari hukum....
 - a. Hukum Kirchoff tegangan
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff Arus
9. Suatu instrument yang dipergunakan untuk mengukur nilai tegangan adalah
 - a. *Insulation tester*
 - b. Volt meter
 - c. Ampere-meter
 - d. Ohm-meter
10. Suatu instrument yang dipergunakan untuk mengukur nilai dari arus listrik adalah ...
 - a. *Insulation tester*
 - b. Volt meter
 - c. Ampere-meter
 - d. Ohm-meter



6. Kegiatan Belajar 6



6.1 Dasar Listrik Arus Bolak – Balik

Arus listrik bolak balik (*Alternating Current, AC*) dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik yang menggunakan mesin AC atau yang biasa dikenal dengan generator AC. Mesin listrik arus AC memegang peranan yang sangat penting dalam industri maupun dalam kehidupan sehari-hari. Pada suatu sistem pembangkitan listrik digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, di industri digunakan sebagai penggerak peralatan mekanik, seperti mesin pembuat tekstil, pembuat baja, dan mesin pembuat kertas. Dalam kehidupan sehari-hari mesin listrik banyak dimanfaatkan pada peralatan rumah tangga listrik, kendaraan bermotor, peralatan kantor, peralatan kesehatan, dan sebagainya. Kegiatan belajar ini akan menjelaskan mengenai teori dasar arus bolak-balik, bentuk gelombang arus bolak-balik atau yang dikenal dengan gelombang sinusoidal, sumber listrik arus bolak-balik dan juga contoh komponen atau mesin yang bekerja berdasarkan prinsip kerja arus bolak-balik atau arus AC.

6.2 Indikator

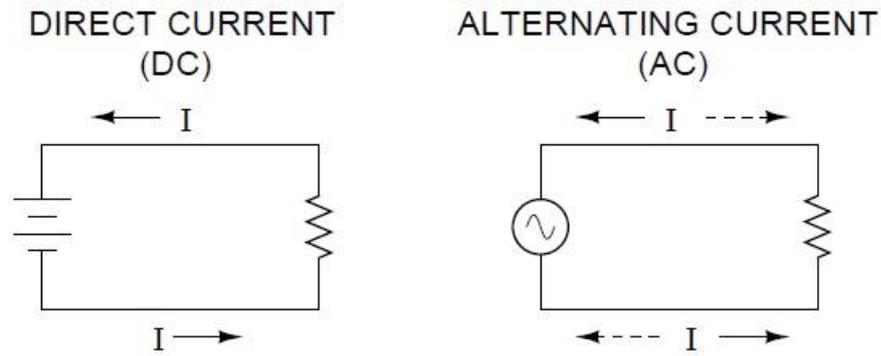
Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat :

- (1) Menjelaskan pengertian dari listrik arus bolak-balik/arus AC
- (2) Menggambarkan dan menjelaskan gelombang sinusoidal dari arus bolak-balik / arus AC
- (3) Menyebutkan sumber listrik dari arus bolak-balik
- (4) Menyebutkan macam-macam mesin yang bekerja berdasarkan prinsip kerja arus bolak-balik/arus AC.

6.3 Uraian Materi

A. Arus Bolak – Balik (Arus AC)

Yang dimaksud dengan arus bolak-balik (*Alternating Current, AC*) adalah arus yang arahnya dapat berubah-ubah secara periodik, begitu pula dengan pengertian dari tegangan bolak-balik adalah tegangan yang nilainya dapat berubah-ubah secara periodik. Arus bolak balik dihasilkan oleh generator AC yang menghasilkan tegangan bolak-balik dan biasanya dalam bentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 6.1 Perbedaan arah arus AC dengan arus DC.

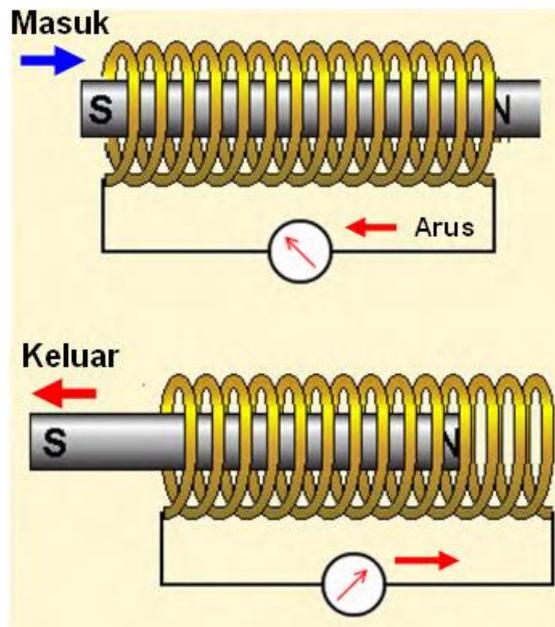
Sumber : Kuphaldt (2007). *Lesson in Electric Circuits, Volume II – AC*

Mesin listrik dengan arus bolak-bali-balik/arus AC mulai dikenal pada 1831 dengan adanya penemuan oleh Michael Faraday mengenai induksi elektromagnetik yang menjadi prinsip kerja dari listrik arus bolak-balik.

Dalam suatu eksperimennya Michael Faraday dengan menggunakan bahan-bahan berupa sebuah *coil*, magnet batang dan galvanometer dapat membuktikan bahwa bila kita mendorong medan magnet batang ke dalam *coil* tersebut, dengan kutub utaranya menghadap *coil* tersebut, ketika batang magnet sedang bergerak, jarum galvanometer memperlihatkan penyimpangan yang menunjukkan bahwa sebuah arus telah dihasilkan di dalam *coil* tersebut.

Bila batang magnet tersebut digerakkan dengan arah sebaliknya maka arah penunjukkan pada galvanometer arahnya pun berlawanan yang menunjukkan bahwa arah arus yang terjadi berlawanan juga.

Listrik arus bolak-balik atau arus AC dapat dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik, sebuah belitan kawat yang didekatkan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan akan timbul tegangan listrik yang dapat ditunjukkan dengan penunjukan jarum pada Voltmeter. Jarum Voltmeter bergoyang ke arah kanan dan ke kiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif.



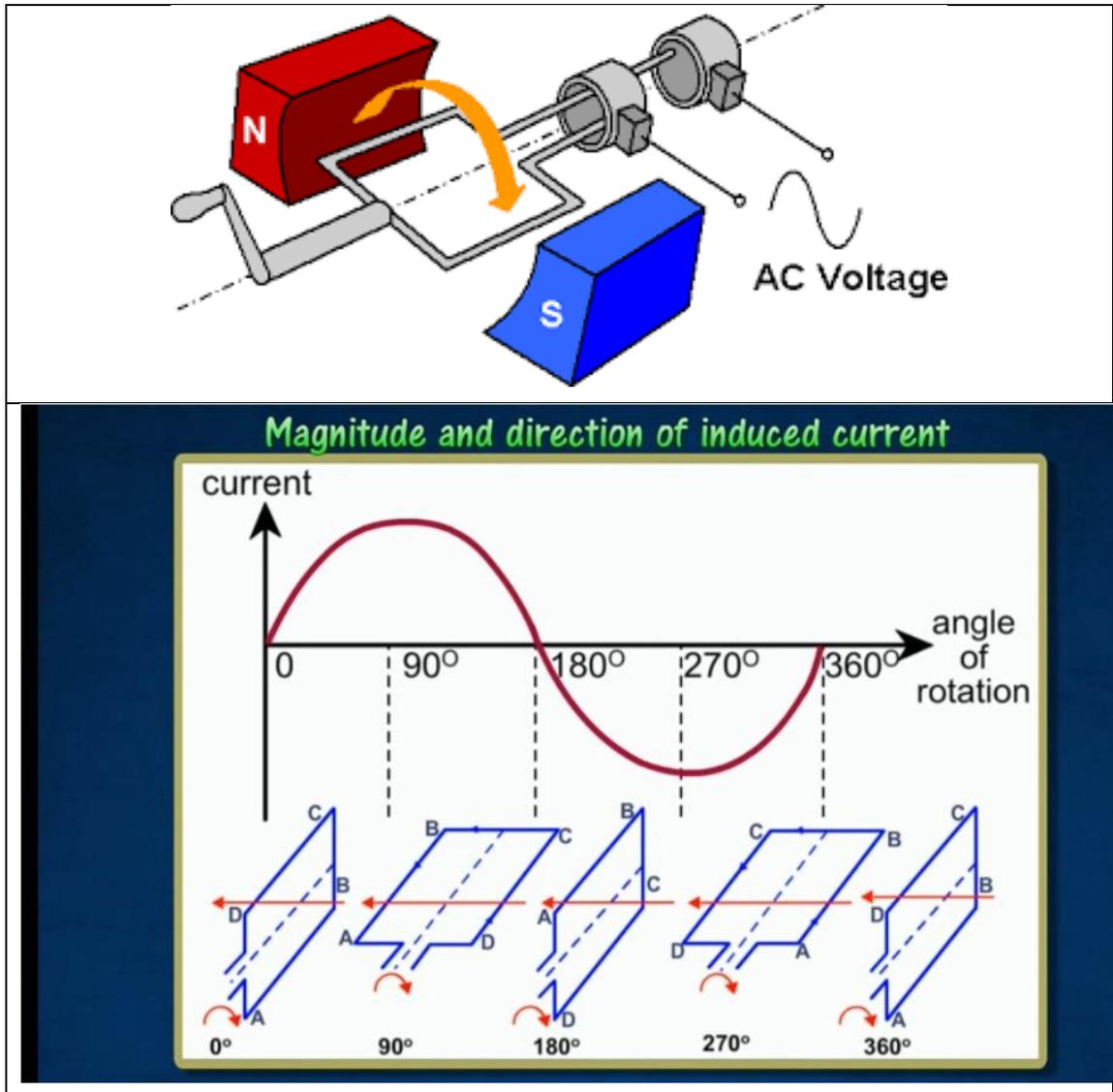
Gambar 6.2 Percobaan Induksi Elektromagnet oleh Michael Faraday.

Sumber : Sumardjati (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*.

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa arus listrik bolak balik (*Alternating Current, AC*) dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik yang menggunakan mesin AC atau yang biasa dikenal dengan generator AC. Generator AC sederhana terdiri dari stator sebagai bagian yang tidak bergerak dengan belitan kawat dan rotor sebagai bagian yang bergerak dan memiliki dua kutub. Saat rotor diputar sebanyak satu putaran dan ujung belitan diukur dengan voltmeter akan menghasilkan tegangan AC selama satu periode gelombang. Dari hasil perputaran rotor tersebut akan dihasilkan suatu bentuk gelombang tegangan yang dinamakan dengan gelombang sinusoidal.

Pada arus bolak – balik/ arus AC, nilai dari arus atau tegangan setiap saat akan berubah-ubah. Satu perubahan dari arus atau tegangan pada arus bolak-balik mulai dari 0, +, 0, -, kembali ke 0 disebut dengan istilah satu periode. Waktu yang dibutuhkan satu periode diberi tanda “T” yang memiliki satuan waktu detik. Pada arus bolak-balik contohnya dengan sistem frekuensi 50 Hz, dalam waktu satu detik gelombang sinusoidal akan mengalami perubahan sebanyak 50 periode, maka waktu yang dibutuhkan suatu gelombang sinusoidal untuk mencapai bentuk satu gelombang penuh dalam satu periode (T) adalah $1/50$ detik = 0,02 detik. Jumlah periode yang terjadi selama satu detik sering disebut dengan frekuensi, yang disingkat dengan “f” dalam satuan Hertz atau “Hz”. Jadi untuk waktu periode $T = 0,02$ detik, mempunyai frekuensi $(f) = 1/0,02 = 50$ Hz. Saat rotor diputar satu putaran, ujung belitan diukur tegangan dengan Voltmeter. Setiap satu putaran rotor akan menghasilkan dua siklus tegangan dalam bentuk gelombang

sinusoidal penuh. Jika frekuensi yang diinginkan adalah 50 Hz, maka rotor dalam satu detik harus berputar sebanyak 25 putaran/detik, atau kalau dalam waktu satu menit atau 60 detik, maka rotor harus berputar sebanyak 1.500 putaran/menit.



Gambar 6.3 Prinsip kerja generator AC sederhana.

Sumber : <http://94.242.228.149/ac-alternating-current-generators-clipart-1193860.html> & Youtube.

Frekuensi sistem kelistrikan yang dipakai di negara Indonesia adalah 50 Hz, hal itu juga berlaku di negara-negara Eropa. Untuk wilayah Amerika frekuensi sistem kelistrikan yang berlaku adalah 60 Hz.

Secara matematis nilai frekuensi dan periode dari gelombang sinusoidal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz, atau } T = \frac{1}{f} \text{ detik} \quad (6.1)$$

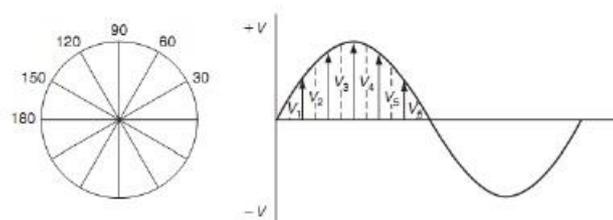
di mana,

f = Frekuensi = Jumlah periode gelombang yang terjadi selama 1 detik (Hz)

T = Periode = waktu yang dibutuhkan suatu gelombang sinusoidal untuk mencapai bentuk satu gelombang penuh (detik)

B. Nilai Efektif Tegangan dan Arus

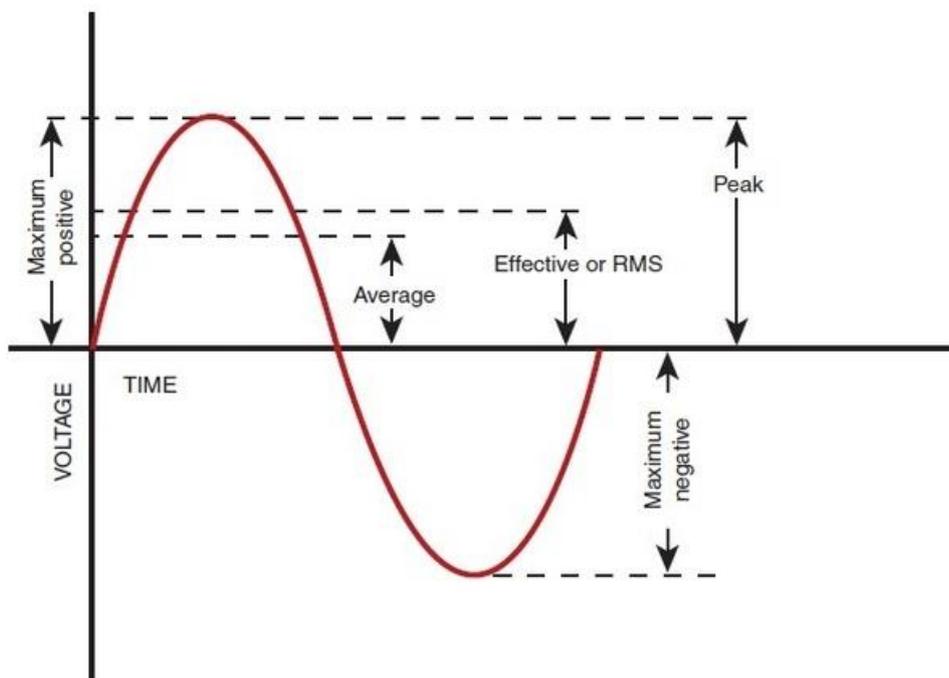
Dalam teori arus bolak-balik terdapat istilah nilai sesaat, nilai puncak, nilai efektif dan nilai rata-rata. Hal ini tentunya sangat berkaitan dengan gelombang sinusoidal yang menjadi pokok dari arus bolak-balik/arus AC. Nilai sesaat didefinisikan sebagai nilai amplitude sebuah gelombang pada saat tertentu. Nilai rata-rata (*average*) adalah suatu nilai rata-rata dari perubahan gelombang selama setengah periode dari nilai sesaat yang selalu berubah-ubah, dimulai dari nol sampai maksimum dan kembali ke titik nol. Nilai puncak adalah harga sesaat maksimum sebuah gelombang yang diukur dari tegangan senilai nol Volt. Nilai efektif merupakan ukuran yang menyatakan seberapa efektifnya sebuah sumber tegangan memberikan daya pada sebuah beban. Nilai tegangan sesaat suatu arus bolak balik dapat dilihat pada Gambar 6.4, dimana nilai tegangan selalu berubah-ubah dari V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 kemudian V_6 .



Gambar 6.4 Nilai sesaat gelombang sinusoidal.

Sumber : Agus Salim (2013). *Teknik Dasar Kelistrikan Kapal I*.

Sedangkan Gambar 6.5 menjelaskan kepada kita mengenai posisi dari nilai rata-rata, nilai efektif dan nilai puncak pada gelombang sinusoidal.



Gambar 6.5 Nilai Rata-rata, nilai efektif dan nilai puncak.

Sumber : <https://www.quora.com/Is-the-DC-voltage-the-same-in-the-RMS-voltage>

Pada umumnya kita akan sering mendengar bahwa tegangan yang masuk ke dalam rumah kita adalah sebesar 220 Volt dimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa frekuensi sistem kelistrikan negara Indonesia adalah 50 Hz. Apakah nilai tegangan sebesar 220 Volt tersebut merupakan tegangan puncak, tegangan efektif atau tegangan rata-rata?. Jika kita menampilkan suatu gelombang sinusoidal dari tegangan yang masuk ke dalam rumah kita melalui suatu alat yang dinamakan dengan osiloskop yang terkalibrasi dengan baik, maka akan didapatkan bahwa 220 Volt tersebut bukan merupakan tegangan puncak. Karena pada osiloskop akan terbaca bahwa nilai dari tegangan puncak adalah $(220 \cdot \sqrt{2})$ yaitu 311.13 Volt. Namun pada akhirnya kita akan mengetahui bahwa nilai 220 Volt merupakan nilai efektif dari tegangan sinusoidal tersebut. Nilai ini merupakan ukuran yang menyatakan seberapa efektifnya sebuah sumber tegangan memberikan daya ke sebuah beban.

Nilai sesaat untuk tegangan dan arus pada arus bolak-balik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}V_{Sesaat} &= V_{max} \cdot \sin \omega t = V_{max} \cdot \sin \alpha , \\I_{Sesaat} &= I_{max} \cdot \sin \omega t = I_{max} \cdot \sin \alpha\end{aligned}\quad (6.2)$$

Sedangkan nilai rata-rata untuk tegangan dan arus pada listrik arus AC dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_{avg} = 0,637 \cdot V_{max} \quad , \quad I_{avg} = 0,637 \cdot I_{max} \quad (6.3)$$

Nilai efektif dapat disebut juga dengan *root mean square* (rms) dan secara matematis nilai efektif dapat ditulis dengan rumus :

$$\begin{aligned}V_{rms} &= 0,707 \cdot V_{max} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} , \\I_{rms} &= 0,707 \cdot I_{max} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\end{aligned}\quad (6.4)$$

di mana,

V_{avg} = Nilai tegangan rata-rata (Volt)

V_{rms} = Nilai tegangan efektif (Volt)

V_{max} = Nilai tegangan puncak (Volt)

I_{avg} = Nilai arus rata-rata (Ampere)

I_{rms} = Nilai arus efektif (Ampere)

I_{max} = Nilai arus puncak (Ampere)

Contoh soal:

1. Suatu tegangan listrik arus bolak-balik rumah tangga mempunyai nilai tegangan efektif sebesar 220 Volt. Tentukan nilai dari tegangan puncak dan tegangan rata-rata dari gelombang sinusoidal tegangan listrik tersebut.

Penyelesaian:

Diketahui : $V_{rms} = 220$ Volt

Ditanyakan : V_{Sesaat} , V_{max} , V_{avg}

Jawab :

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari nilai tegangan puncak :

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

$$V_{max} = \sqrt{2} \cdot V_{rms} = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ Volt} = \mathbf{311,13 \text{ Volt}}$$

Setelah nilai V_{max} dapat diketahui, maka kita dapat mencari nilai dari V_{avg}

$$V_{avg} = 0,637 \cdot V_{max}$$

$$V_{avg} = 0,637 \cdot 311,13 \text{ Volt} = \mathbf{198,19 \text{ Volt}}$$

Untuk nilai tegangan sesaat, dapat diselesaikan dengan :

$$V_{Sesaat} = V_{max} \cdot \sin \omega t = V_{max} \cdot \sin \alpha$$

$$V_{30^\circ} = 311,13 \cdot \sin 30^\circ = 155,565 \text{ Volt}$$

$$V_{45^\circ} = 311,13 \cdot \sin 45^\circ = 220 \text{ Volt}$$

$$V_{60^\circ} = 311,13 \cdot \sin 60^\circ = 269,45 \text{ Volt}$$

$$V_{90^\circ} = 311,13 \cdot \sin 90^\circ = 311,13 \text{ Volt}$$

$$V_{120^\circ} = 311,13 \cdot \sin 120^\circ = 269,45 \text{ Volt}$$

$$V_{150^\circ} = 311,13 \cdot \sin 150^\circ = 155,565 \text{ Volt}$$

$$V_{180^\circ} = 311,13 \cdot \sin 180^\circ = 0 \text{ Volt}$$

C. Mesin Listrik AC

Prinsip dasar dari cara kerja suatu mesin listrik adalah dengan proses konversi energi elektromekanik, yaitu konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik ataupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik. Suatu alat yang dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik disebut dengan generator, apabila mesin melakukan proses konversi sebaliknya yaitu dari energi listrik menjadi energi mekanik disebut dengan motor.

Selain dari generator dan motor, terdapat juga suatu alat bernama transformator yang juga merupakan alat listrik yang akan menjadi bahasan pada saat mempelajari mesin listrik, meskipun energi yang masuk dan yang keluar dari transformator sama yaitu energi listrik. Pada transformator energi listrik yang diberikan pada lilitan akan mengakibatkan timbulnya medan magnet pada inti besi dan selanjutnya diubah kembali menjadi energi listrik.

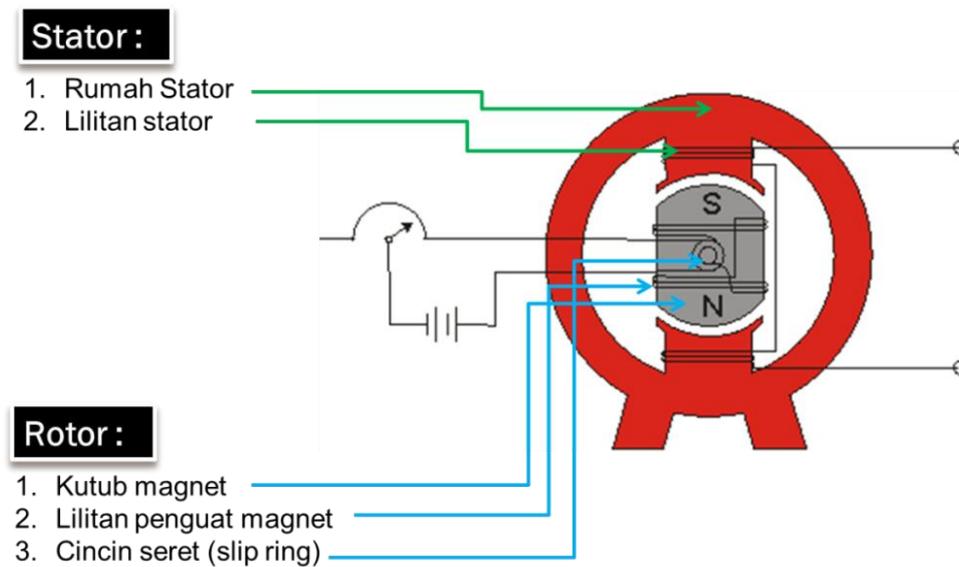
- **Generator**

Sebagian besar energi listrik yang dapat dinikmati oleh masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari dihasilkan oleh generator yang terdapat pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik. Generator yang dioperasikan oleh perusahaan pembangkitan listrik mempunyai kapasitas daya dari ratusan hingga ribuan Mega-volt-Ampere (MVA).

Generator arus bolak-balik berfungsi menkonversi energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Generator Arus Bolak-balik disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala.

Konstruksi generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu: (1) stator, yakni bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik, dan (2) rotor, yakni bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan *name plate* pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder).

Dalam proses pendistribusian tenaga listrik kepada masyarakat, Generator sinkron sering dioperasikan secara paralel, seperti pada pusat-pusat pembangkit listrik di Indonesia. Adapun tujuan dari memparalelkan generator adalah agar mendapatkan daya yang cukup besar untuk didistribusikan kepada masyarakat.



Gambar 6.6 Stator dan Rotor.

Sumber : Tim Fakultas Teknik Universitas Yogyakarta (2003). Teknik Dasar Generator.



Gambar 6.7 Generator Sinkron.

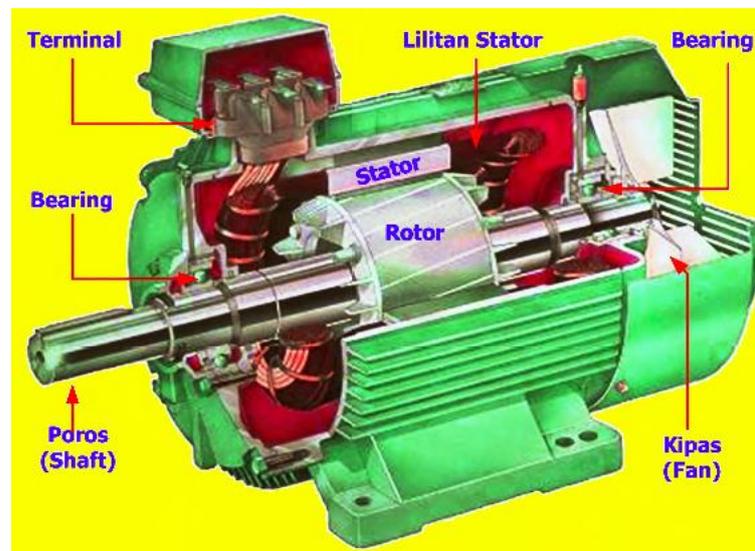
- **Motor Listrik**

Mesin-mesin listrik arus bolak-balik dipergunakan untuk mengubah suatu bentuk energi menjadi energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik disebut dengan generator, dan sebaliknya suatu mesin yang berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanis disebut dengan motor. Masing-masing mesin mempunyai bagian yang diam dan bagian yang bergerak.

Pada umumnya mesin-mesin penggerak arus bolak-balik yang digunakan baik pada Industri maupun rumah tangga mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 *Horse Power*, HP (1 HP = 746 Watt) dan pada umumnya motor listrik arus bolak-balik yang paling sering digunakan adalah motor Induksi.

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (ac) yang paling luas penggunaannya. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan satu atau tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.



Gambar 6.8 Penampang motor induksi.

Sumber : Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 , Departemen Pendidikan Nasional.

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri: badan motor, inti stator, belitan stator, bearing, dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang.

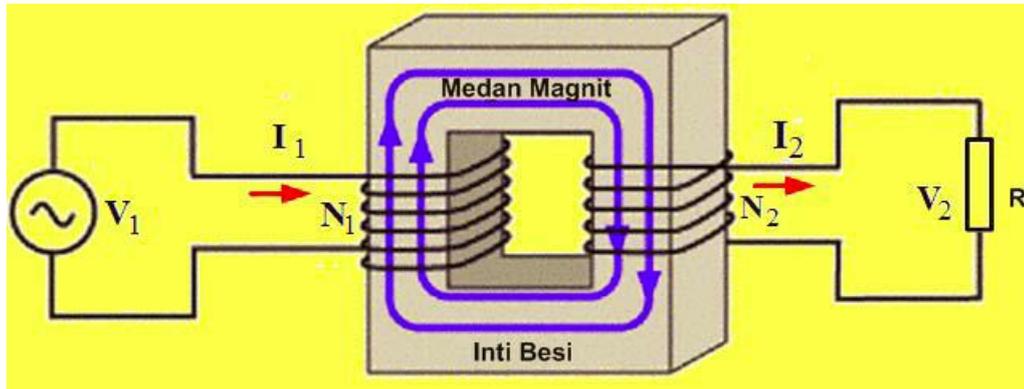
Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

- **Transformator**

Selain dari generator dan motor, transformator merupakan termasuk suatu alat listrik yang selalu menjadi bahasan pada saat kita mempelajari mesin AC, meskipun pada dasarnya energi yang masuk dan yang keluar dari transformator merupakan jenis energi yang sama yaitu energi listrik. Pada transformator, energi listrik yang diberikan pada lilitan primer akan mengakibatkan timbulnya suatu medan magnet pada inti besi dan selanjutnya diubah kembali menjadi energi listrik melalui lilitan sekunder transformator.

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi Listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai frekuensi yang sama besar, melalui suatu gandengan magnet yang terletak pada inti besi dan berdasarkan prinsip kerja dari induksi elektromagnet.

Konstruksi dari transformator terdiri dari dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik / arus AC, maka fluks bolak-balik akan terjadi pada kumparan sisi primer, fluks tersebut kemudian akan mengalir pada inti transformator, selanjutnya fluks ini akan mengimbas pada kumparan sekunder transformator yang akan mengakibatkan timbulnya fluks magnet di sisi kumparan sekunder transformator, sehingga pada sisi sekunder akan timbul tegangan arus bolak-balik.

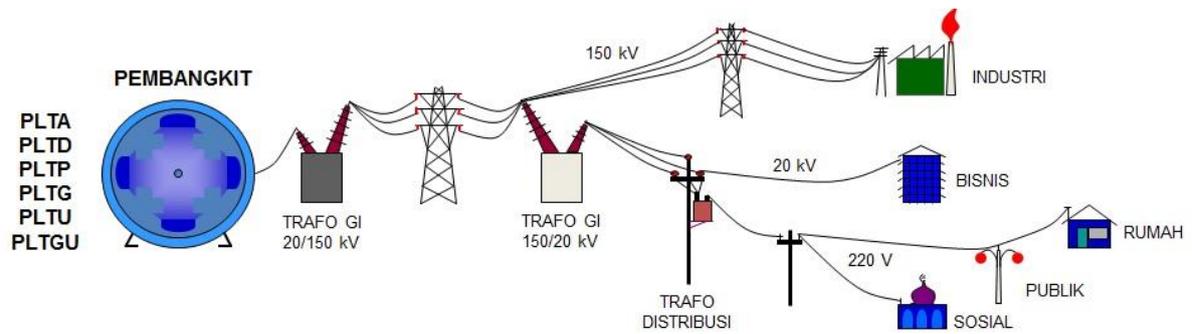


Gambar 6.9 Transformator sederhana.

Sumber: Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 , Departemen Pendidikan Nasional.

Transformator adalah suatu alat listrik yang banyak digunakan baik pada bidang tenaga listrik maupun pada bidang elektronika. Pada bidang tenaga listrik, transformator digunakan mulai dari pusat pembangkit tenaga listrik sampai ke pengguna tenaga listrik baik rumah tangga maupun industri. Sebelum suatu energi listrik di transmisikan, tegangan yang dihasilkan oleh generator pada proses pembangkitan tenaga listrik dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan sebuah transformator daya dengan tujuan untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi saat tenaga listrik di transmisikan. Kemudian sebelum digunakan oleh konsumen, tegangan listrik akan diturunkan kembali secara bertahap dengan menggunakan transformator distribusi, sesuai dengan peruntukannya seperti kawasan industri, komersial, atau perumahan.

Transformator yang biasanya dimanfaatkan untuk keperluan listrik rumah tangga pada umumnya mempunyai ukuran yang lebih kecil dari transformator daya maupun transformator distribusi, seperti yang biasa digunakan untuk menyesuaikan tegangan dari suatu peralatan pada listrik rumah tangga dengan menyesuaikan pada suplai daya listrik yang tersedia. Transformator dengan ukuran yang lebih kecil lagi biasanya digunakan juga pada perangkat elektronika seperti radio, televisi, dan sebagainya.



Gambar 6.10 Proses Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik.

Sumber: Bahan ajar Eksternalitas, Prof. Ir. Rinaldy Dalimi, M.Sc, Ph.D



Gambar 6.11 Transformator Tenaga Listrik.

6.4 Rangkuman

- (1) Yang dimaksud dengan arus bolak-balik (Alternating Current, AC) adalah arus yang arahnya dapat berubah-ubah secara periodik, begitu pula dengan pengertian dari tegangan bolak-balik adalah tegangan yang nilainya dapat berubah-ubah secara periodik.
- (2) Listrik arus bolak-balik atau arus AC dapat dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik
- (3) Arus listrik bolak balik (*Alternating Current, AC*) dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik yang menggunakan mesin AC atau yang biasa dikenal dengan generator AC
- (4) Dalam teori arus bolak-balik terdapat istilah nilai sesaat, nilai puncak, nilai efektif dan nilai rata-rata. Hal ini tentunya sangat berkaitan dengan gelombang sinusoidal yang menjadi pokok dari arus bolak-balik/arus AC.
- (5) Prinsip dasar dari cara kerja suatu mesin listrik adalah dengan proses konversi energi elektromekanik, yaitu konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik ataupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik.
- (6) Selain dari generator dan motor, transformator merupakan termasuk suatu alat listrik yang selalu menjadi bahasan pada saat kita mempelajari mesin AC, meskipun pada dasarnya energi yang masuk dan yang keluar dari transformator merupakan jenis energi yang sama yaitu energi listrik.

6.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

1. Jelaskanlah pengertian dari arus bolak – balik dan gambarkan perbedaan arah arus dari arus DC dan arus AC.
2. Jelaskan pengertian dari frekuensi 50 Hz pada sistem kelistrikan.
3. Gambarkan gelombang sinusoidal pada arus bolak-balik dan jelaskan pengertian dari nilai sesaat, nilai puncak, nilai rata-rata, dan nilai efektif.
4. Suatu tegangan listrik arus bolak-balik rumah tangga mempunyai nilai tegangan efektif sebesar 300 Volt. Tentukan nilai dari tegangan puncak, tegangan rata-rata dan tegangan sesaat dari gelombang sinusoidal tegangan listrik tersebut.
5. Jelaskanlah prinsip kerja dari generator, motor induksi, dan transformator dan sebutkan contoh aplikasi dari ketiga mesin AC tersebut.

6.5 Tes Formatif 6

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Suatu sistem kelistrikan dimana arah arusnya dapat berubah-ubah secara periodik disebut dengan....
 - a. Arus Searah
 - b. Arus bolak-balik
 - c. Resistansi
 - d. Arus bocor
2. Satuan untuk Frekuensi pada sistem listrik dinyatakan dalam....
 - a. Hertz
 - b. detik
 - c. Coulomb
 - d. Farad
3. Satuan untuk periode gelombang dinyatakan dalam....
 - a. Hertz
 - b. detik
 - c. Coulomb
 - d. Farad
4. Nilai amplitude sebuah gelombang pada saat tertentu disebut dengan.....
 - a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
5. Harga sesaat maksimum sebuah gelombang yang diukur dari tegangan senilai nol Volt disebut....
 - a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
6. Suatu nilai rata-rata dari perubahan gelombang selama setengah periode dari nilai sesaat yang selalu berubah-ubah, dimulai dari nol sampai maksimum dan kembali ke titik nol disebut dengan
 - a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif

7. Ukuran yang menyatakan seberapa efektifnya sebuah sumber tegangan memberikan daya pada sebuah beban disebut dengan
 - a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
8. Suatu mesin listrik yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik disebut dengan
 - a. Generator
 - b. Motor listrik
 - c. Transformator
 - d. Dioda
9. Suatu mesin listrik yang mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik disebut dengan
 - a. Generator
 - b. Motor listrik
 - c. Transformator
 - d. Dioda
10. Suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi Listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai frekuensi yang sama besar disebut dengan
 - a. Generator
 - b. Motor listrik
 - c. Transformator
 - d. Dioda



7. Kegiatan Belajar 7



7.1 Kapasitor dan Induktor

Kegiatan belajar ini akan mempelajari pengertian dari kapasitor dan induktor, rangkaian kombinasi antara hambatan dan kapasitor pada rangkaian arus bolak-balik dan mempelajari rangkaian kombinasi antara hambatan dan induktor pada rangkaian arus bolak-balik.

7.2 Indikator

Setelah melalui kegiatan belajar ini, diharapkan taruna dapat:

- (1) Menjelaskan pengertian dari kapasitor dan reaktansi kapasitif
- (2) Menjelaskan pengertian dari induktor dan reaktansi induktif
- (3) Menganalisa rangkaian kombinasi antara hambatan dan kapasitor pada rangkaian arus bolak-balik
- (4) Menganalisa rangkaian kombinasi antara hambatan dan induktor pada rangkaian arus bolak-balik

7.3 Uraian Materi

A. Kapasitor

Kapasitor adalah suatu alat yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Dalam rangkaian elektronika, kapasitor dilambangkan dengan huruf "C". Kapasitor ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Satuan kapasitor disebut Farad (F).

Sebuah kapasitor tersusun dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal adalah udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal pada kapasitor tersebut diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan listrik positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan listrik negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan.



Gambar 7.1 Lambang Kapasitor pada rangkaian listrik.

Dalam rangkaian elektronik praktis, satuan farad memiliki nilai yang sangat besar sekali. Umumnya kapasitor yang ada di pasaran memiliki satuan μF (mikro-Farad), nF (nano-Farad) dan pF (piko-Farad).

di mana,

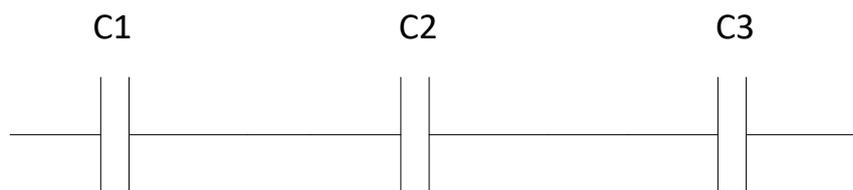
$$1 \text{ Farad} = 1.000.000 \mu\text{F} \text{ (mikro Farad)}$$

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

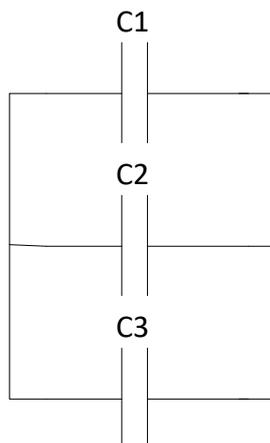
Dalam suatu rangkaian listrik, perhitungan nilai kapasitor berbeda dengan perhitungan nilai resistor. Pada kapasitor, penambahan nilai kapasitansi diperoleh dengan menempatkan kapasitor secara sejajar / parallel. Sebaliknya pengurangan nilai kapasitor diperoleh dengan menempatkan kapasitor secara seri.



Gambar 7.2 Kapasitor Seri.

Untuk menentukan nilai kapasitansi total pada gambar 7.2, maka:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \dots + \frac{1}{C_N} \quad (7.1)$$



Gambar 7.3 Kapasitor Paralel.

Untuk menentukan nilai kapasitansi total suatu kapasitor yang terhubung parallel seperti pada gambar 7.3 adalah:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \dots \dots C_N \quad (7.2)$$

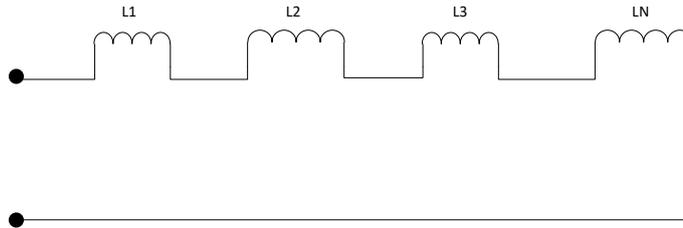
B. Induktor

Kemampuan sebuah kumparan untuk melawan sembarang perubahan arus listrik merupakan ukuran dari yang disebut dengan induktansi diri (*self inductance*) suatu kumparan. Induktor sendiri merupakan kumparan yang memiliki bermacam-macam ukuran yang dirancang untuk menghasilkan sejumlah induktansi tertentu ke dalam sebuah rangkaian. Dalam rangkaian listrik induktor dilambangkan dengan huruf L. induktansi diukur dengan satuan Henry (H) diambil dari seorang ahli fisika yang berasal dari Amerika yang bernama Joseph Henry.



Gambar 7.4 Lambang Induktor.

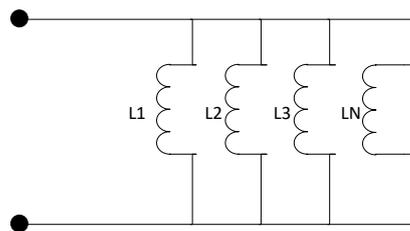
Induktor, seperti halnya dengan tahanan dan kapasitor dapat dihubungkan dalam susunan seri maupun parallel. Serupa dengan tahanan, penambahan harga induktansi diperoleh dengan menghubungkan induktor secara seri. Sedangkan pengurangan harga induktansi diperoleh dengan menghubungkan induktor secara seri.



Gambar 7.5 Induktor Hubungan Seri.

Untuk menentukan nilai induktansi total suatu induktor yang terhubung seri seperti pada gambar 7.5 adalah:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots \dots \dots L_N \quad (7.3)$$



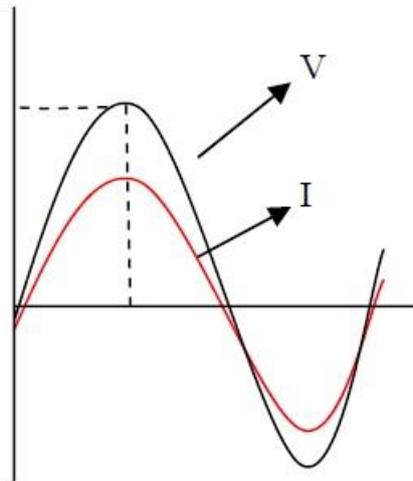
Gambar 7.6 Induktor Hubungan parallel.

Untuk menentukan nilai Induktansi total pada Gambar 7.6, maka :

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots \dots + \frac{1}{L_N} \quad (7.4)$$

C. Beban Listrik Arus Bolak-Balik

Beban listrik merupakan setiap alat yang membutuhkan energi atau daya listrik dalam pengoperasiannya. Beban listrik dalam arus bolak-balik terdiri dari tiga jenis yaitu: (1) beban resistif; (2) beban kapasitif; dan (3) beban induktif. Pada sub-bagian ini kita akan membahas secara teori rangkaian resistif (tahanan) murni, induktif dan kapasitif yang bereaksi sendirian pada listrik arus bolak-balik. sebelum melanjutkan pembahasan lebih dalam mengenai resistansi, induktansi dan kapasitansi yang beraksi dan bereaksi bersama-sama.



Gambar 7.8 Bentuk gelombang sinusoidal beban resistif.

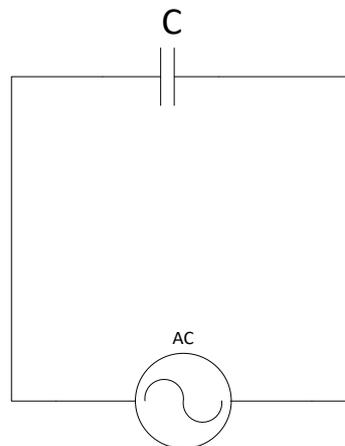
Tegangan AC dengan Kapasitor

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik dalam waktu sementara. Apabila suatu kapasitor diberikan tegangan arus searah/DC, maka kapasitor akan melakukan pengisian muatan listrik hingga sampai pada nilai tegangan yang sama dengan nilai tegangan yang diberikannya. Demikian juga apabila tegangan yang diberikan kepadanya berkurang, maka muatan yang tersimpan dalam kapasitor juga akan berkurang atau melakukan pembuangan muatan (*discharge*).

Namun apabila sebuah kapasitor diberikan tegangan arus bolak-balik/AC yang memiliki polaritas tegangan yang berubah-ubah dari polaritas positif ke polaritas negatif kemudian dari polaritas negatif ke polaritas positif dengan tingkat frekuensi tertentu seperti pada gelombang sinusoidal tegangan. Dengan demikian, muatan pada Kapasitor akan diisi dan dibuang/dilepas secara terus menerus sesuai dengan frekuensi tegangan AC yang diberikannya tersebut.

Pada saat waktu pengisian dan pembuangan muatan pada kapasitor yang diberikan tegangan arus bolak-balik/AC, aliran arus listrik yang melewati kapasitor tersebut dibatasi oleh resistansi yang ada di dalam kapasitor itu sendiri. Resistansi Kapasitor ini dikenal dengan istilah Reaktansi Kapasitif atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Capacitive Reactance* yang biasanya dilambangkan dengan simbol X_c dengan satuan Ohm (Ω). Dengan kata lain, reaktansi kapasitif dapat diartikan sebagai hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak-balik (arus AC). Berbeda dengan resistor yang memiliki nilai resistansi yang tetap (10Ω , 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$ dan sebagainya), reaktansi kapasitif ini memiliki nilai yang dapat berubah-

ubah tergantung dari frekuensi tegangan arus bolak-balik/AC yang diberikan pada kapasitor tersebut. Jadi pada dasarnya, setiap perubahan frekuensi yang diaplikasikan ke kapasitor akan memberikan efek yang besar terhadap nilai reaktansi kapasitif pada kapasitor tersebut. Semakin tinggi Frekuensi (f) yang diaplikasikan pada kapasitor semakin rendah nilai reaktansi kapasitifnya. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi tegangan AC yang diberikan ke kapasitor tersebut, semakin tinggi nilai reaktansi kapasitif.



Gambar 7.9 Rangkaian sumber AC dengan Kapasitor.

Secara matematis nilai dari reaktansi kapasitif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f.C} \quad (7.6)$$

di mana,

X_C = Reaktansi Kapasitif (Ω)

C = Kapasitor (Farad)

π (phi) = 3,14

f = Frekuensi (Hz)

ω = radian

Contoh soal:

1. Hitunglah Reaktansi Kapasitif suatu Kapasitor yang memiliki nilai 330 nano Farad pada frekuensi 500 Hz.

Penyelesaian :

Diketahui : $C = 330 \text{ nF} = 330 \times 10^{-9} \text{ F}$
 $f = 500 \text{ Hz}$

Ditanyakan : X_C

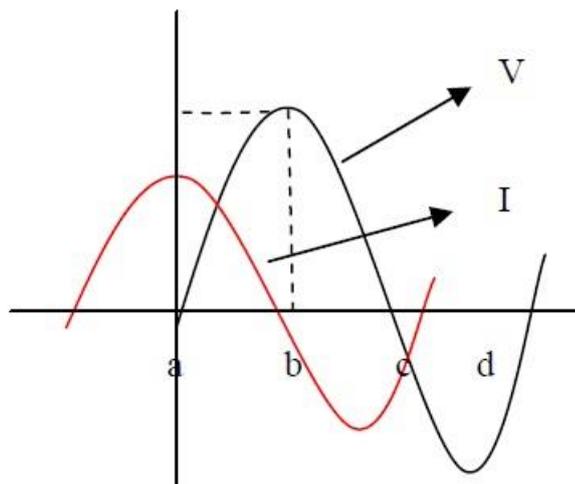
Jawab :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \pi f \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 500 \times (330 \times 10^{-9})}$$

$$X_C = 962 \Omega$$

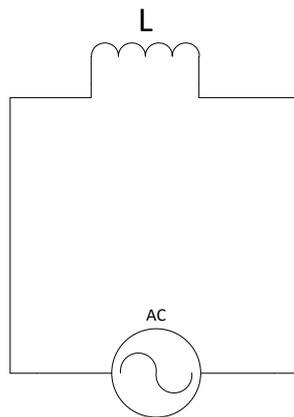
Tidak seperti pada rangkaian arus bolak-balik dengan resistor dimana apabila dilihat dari gelombang sinusoidal tegangan dan arus berjalan sefasa, tegangan dan arus pada rangkaian yang memiliki sifat kapasitif tidak berjalan sefasa. Pada rangkaian beban kapasitif nilai arus akan mendahului nilai tegangan sebesar 90° atau yang umumnya dikenal dengan istilah *leading*.



Gambar 7.10 Bentuk gelombang sinusoidal beban kapasitif.

Tegangan AC dengan Induktor

Induktor merupakan suatu komponen elektronika pasif yang akan menimbulkan medan magnet saat dialiri arus listrik dan dapat menyimpan arus listrik dalam waktu yang relatif singkat. Komponen yang tersusun dari lilitan kawat ini juga memiliki sifat yang dapat menghantarkan arus listrik searah (DC) namun akan menghambat arus listrik bolak-balik (AC). Sifat Induktor yang dapat menghambat arus listrik AC (arus bolak-balik) inilah yang disebut dengan Reaktansi Induktif (*Inductive Reactance*). Reaktansi Induktif adalah hambatan atau tahanan Induktor terhadap arus listrik bolak-balik/arus AC. Nilai Reaktansi Induktif dinyatakan dengan Ohm (Ω).



Gambar 7.11 Rangkaian sumber AC dengan Induktor.

Secara matematis nilai dari reaktansi kapasitif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X_L = \omega L = 2 \pi f \cdot L \quad (7.7)$$

di mana,

X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

L = Induktor (Henry)

π (phi) = 3,14

f = Frekuensi (Hz)

ω = radian

Contoh soal:

1. Sebuah kumparan yang memiliki nilai induktansi sebesar 200 mH dihubungkan ke tegangan AC 220V dengan frekuensi sistem 60Hz. Hitunglah nilai Reaktansi Induktif.

Penyelesaian :

Diketahui : $L = 200 \text{ mH} = 0,2 \text{ H}$
 $f = 60 \text{ Hz}$

Ditanyakan : X_L

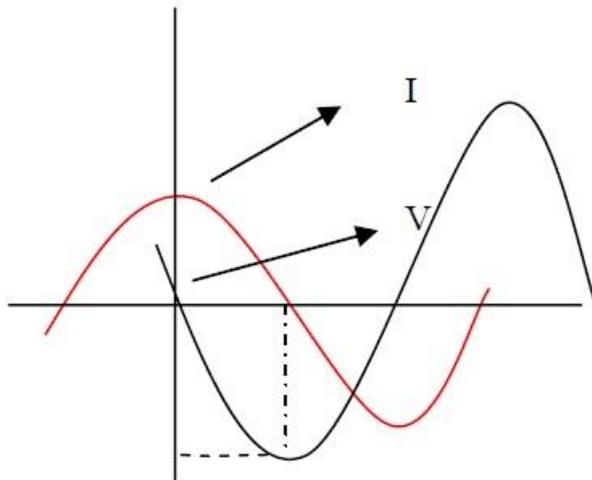
Jawab :

$$X_L = \omega L = 2 \pi f \cdot L$$

$$X_L = 2 \times 3,14 \times 60 \times 0,2$$

$$X_L = 75,36 \Omega$$

Pada saat suatu induktor dialiri arus searah/arus DC, arus induktor akan terus meningkat seiring dengan waktu hingga mencapai kondisi stabil pada nilai arus maksimumnya. Arus Maksimum yang mengalir melalui Induktor ditentukan oleh hambatan pada gulungan Induktor itu sendiri yang biasanya dinyatakan dengan Ohm (Ω). Namun pada saat dialiri arus listrik bolak-balik/arus AC, karakteristik arus listrik yang melewati Induktor akan sangat berbeda dengan saat Induktor yang dilewati oleh arus listrik tegangan DC. Efek dari gelombang sinus arus listrik AC yang diberikan ke Induktor akan mengakibatkan perbedaan fasa pada bentuk gelombang tegangan (*voltage*) dan arus listrik (*current*). Atau dengan kata lain sama halnya dengan beban kapasitif, beban induktif mengakibatkan tegangan dan arus tidak berjalan sefasa pada sisi gelombang sinusoidalnya. Pada beban induktif, nilai arus akan tertinggal sebesar 90° atau yang biasa dikenal dengan istilah *lagging*.



Gambar 7.12 Gelombang Sinusoidal beban Induktif.

Impedansi

Di dalam ilmu kelistrikan terdapat istilah yang dikenal dengan impedansi. Impedansi adalah suatu variable untuk mengukur sejauh mana suatu rangkaian listrik dapat menghambat suatu aliran listrik yang melintasi rangkaian tersebut. Seluruh bahan material kelistrikan memiliki beberapa tingkat hambatan listrik, yang dapat mengakibatkan beberapa energi akan hilang menjadi panas, dan juga mengurangi aliran arus.

Bentuk umum dari impedansi dalam notasi polar adalah :

$$Z = |Z| \angle \theta \quad (7.8)$$

$$Z = Z \cdot \cos \theta + j Z \cdot \sin \theta \quad (7.9)$$

$$Z = R + j X \quad (7.10)$$

Jika pada suatu rangkaian yang diketahui adalah nilai hambatan R dan nilai reaktansi X, maka untuk mencari nilai impedansi adalah:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (7.11)$$

$$\theta = \arctan \frac{X}{R} = \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (7.12)$$

di mana,

Z = Impedansi (Ω)

θ = Sudut fasor

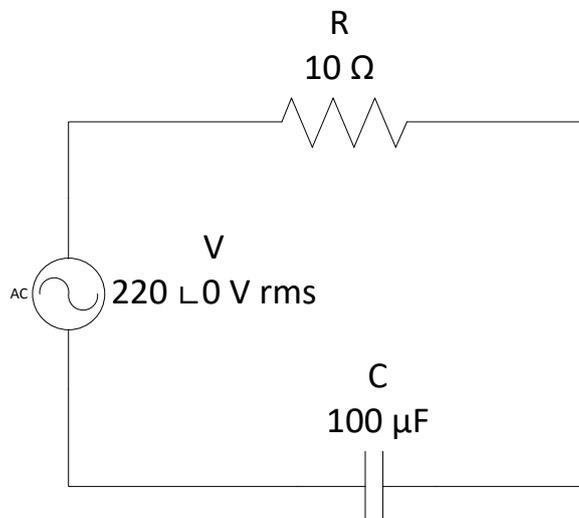
R = Nilai hambatan (Ω)

X = Reaktansi, dapat berupa reaktansi kapasitif maupun reaktansi induktif (Ω)

Secara garis besar impedansi merupakan hambatan, tetapi yang menjadi pembeda antara impedansi dan resistor adalah suatu nilai impedansi dapat berupa impedansi resistif murni, impedansi kapasitif murni, impedansi induktif murni. Dari rumus di atas juga dapat diketahui bahwa impedansi dapat merupakan suatu rangkaian gabungan antara hambatan, kapasitor dan induktor.

Impedansi antara tahanan dan kapasitor

Rangkaian arus bolak balik dengan kombinasi tahanan dan kapasitor yang dihubung seri dapat dilihat pada Gambar 7.13.



Gambar 7.13 Rangkaian arus bolak-balik dengan tahanan dan kapasitor.

Untuk menentukan nilai impedansi di atas, maka nilai kapasitor perlu dirubah ke dalam bentuk reaktansi kapasitif dengan menggunakan rumus 7.6.

$$X_C = \frac{1}{j \omega C} = \frac{1}{j 2 \pi f \cdot C}$$

Apabila frekuensi sistem kelistrikan yang dipakai sebagai acuan adalah 50 Hz (frekuensi sistem kelistrikan di Indonesia), maka nilai reaktansi kapasitif dari rangkaian di atas adalah :

$$X_C = \frac{1}{j 2 \pi f \cdot C} = \frac{1}{j (2 \times 3,14 \times 50 \times (100 \times 10^{-6}))}$$

Karena $\frac{1}{j} = -j$, maka

$$X_C = -j 31,85 \Omega$$

Sehingga dalam bentuk persamaan impedansi, impedansi rangkaian di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z = R + j X_C$$

$$Z = 10 - j 31,85 \Omega$$

Atau apabila dalam bentuk bilangan polar, maka nilai impedansi adalah:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{10^2 + (-31,85)^2} = \sqrt{100 + 1014,42} = \sqrt{1114,42} = 33,38 \Omega$$

$$\theta = \arctan \frac{X}{R}$$

$$\theta = \arctan \frac{-31,85}{10} = \arctan -3,185 = -72,57^\circ$$

Sehingga nilai impedansinya adalah **33,38 \angle -72,57 $^\circ$ Ω** .

Setelah nilai impedansi diketahui, dengan menggunakan hukum ohm, maka nilai arus listrik yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah:

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

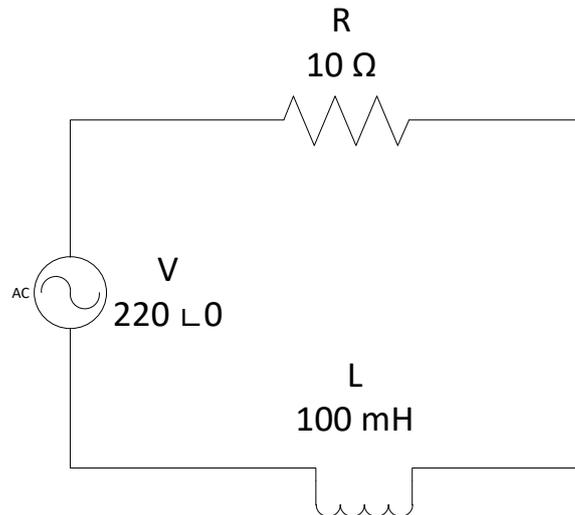
$$I = \frac{220 \angle 0^\circ V}{33,38 \angle -72,57^\circ \Omega}$$

$$I = 6,6 (0^\circ - (-72,57^\circ)) A$$

$$I = 6,6 \angle 72,57^\circ A$$

Impedansi antara tahanan dan induktor

Setelah kita melakukan perhitungan rangkaian arus bolak-balik dengan kombinasi tahanan dan kapasitor, sekarang kita coba bandingkan dengan rangkaian arus bolak-balik dengan kombinasi tahanan dan induktor.



Gambar 7.14 Rangkaian arus bolak-balik dengan tahanan dan induktor.

Untuk menentukan nilai impedansi di atas, maka nilai induktor perlu dirubah ke dalam bentuk reaktansi induktif dengan menggunakan rumus 7.7.

$$X_L = j \omega L = j 2 \pi f \cdot L$$

Apabila frekuensi sistem kelistrikan yang dipakai sebagai acuan adalah 50 Hz (frekuensi sistem kelistrikan di Indonesia), maka nilai reaktansi induktif dari rangkaian di atas adalah :

$$X_L = j \omega L = j 2 \pi f \cdot L$$

$$X_L = j (2 \times 3,14 \times 50 \times (100 \times 10^{-3})) = j \mathbf{31,4 \Omega}$$

Sehingga dalam bentuk persamaan impedansi, impedansi rangkaian di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z = R + j X_L$$

$$Z = \mathbf{10 + j 31,4 \Omega}$$

Atau apabila dalam bentuk bilangan polar, maka nilai impedansi adalah:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{10^2 + (31,4)^2} = \sqrt{100 + 985,96} = \sqrt{1085,96} = \mathbf{32,95 \Omega}$$

$$\theta = \text{arc tan } \frac{X}{R}$$

$$\theta = \arctan \frac{31,4}{10} = \arctan 3,14 = 72,33^\circ$$

Sehingga nilai impedansinya adalah **$32,95 \angle 72,33^\circ \Omega$** .

Setelah nilai impedansi diketahui, dengan menggunakan hukum ohm, maka nilai arus listrik yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah:

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

$$I = \frac{220 \angle 0^\circ V}{32,95 \angle 72,33^\circ \Omega}$$

$$I = 6,7 (0^\circ - 72,33^\circ) A$$

$$I = 6,7 \angle -72,57^\circ A$$

Dari kedua rangkaian di atas dapat dilihat bahwa nilai sudut dari impedansi kedua rangkaian tersebut berbeda, meskipun nilai dari arus dan nilai impedansinya cenderung mendekati. Hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa impedansi dengan nilai sudut positif mengindikasikan bahwa pada rangkaian tersebut ada komponen yang memiliki sifat induktif. Sedangkan impedansi dengan nilai sudut negatif mengindikasikan bahwa adanya komponen beban yang bersifat kapasitif.

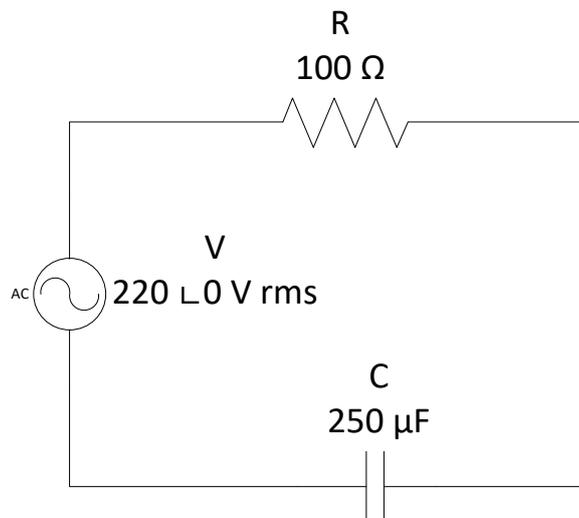
7.4 Rangkuman

- (1) Kapasitor adalah suatu alat yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik.
- (2) Induktor merupakan kumparan yang memiliki bermacam-macam ukuran yang dirancang untuk menghasilkan sejumlah induktansi tertentu ke dalam sebuah rangkaian.
- (3) Reaktansi kapasitif dapat diartikan sebagai hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak-balik (arus AC).
- (4) Pada rangkaian beban kapasitif nilai arus akan mendahului nilai tegangan sebesar 90° atau yang umumnya dikenal dengan istilah *leading*.
- (5) Reaktansi Induktif adalah hambatan atau tahanan Induktor terhadap arus listrik bolak-balik/arus AC
- (6) Pada beban induktif, nilai arus akan tertinggal sebesar 90° atau yang biasa dikenal dengan istilah *lagging*.
- (7) Impedansi adalah suatu variabel untuk mengukur sejauh mana suatu rangkaian listrik dapat menghambat suatu aliran listrik yang melintasi rangkaian tersebut.

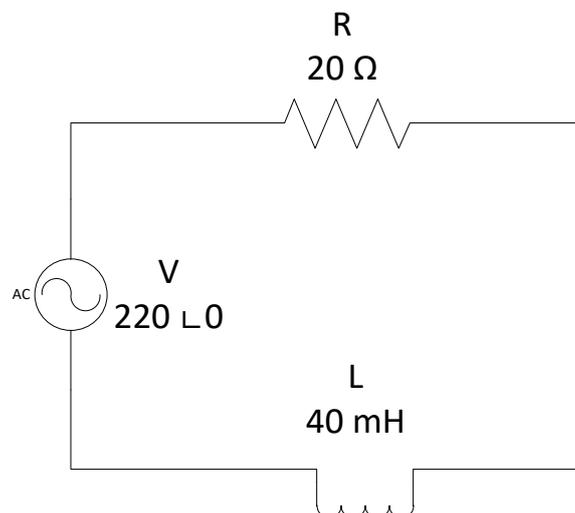
7.5 Penugasan

Kerjakanlah soal – soal di bawah ini dengan teliti dan tepat !

1. Jelaskan pengertian dan fungsi dari kapasitor
2. Jelaskan pengertian dari induktor
3. Apabila diketahui suatu frekuensi sistem kelistrikan adalah 50 Hz, maka tentukan nilai reaktansi elemen di bawah ini :
 - a. Kapasitor 500 μF
 - b. Kapasitor 1.000 nF
 - c. Kapasitor 2.000 pF
 - d. Induktor 20 H
 - e. Induktor 100 mH
 - f. Induktor 250 mH
4. Apabila diketahui frekuensi sistem kelistrikan adalah 50 Hz, tentukan nilai Impedansi dan arus listrik rangkaian di awah ini dalam bentuk bilangan polar.



5. Apabila diketahui frekuensi sistem kelistrikan adalah 50 Hz, tentukan nilai Impedansi dan arus listrik rangkaian di awah ini dalam bentuk bilangan polar.



7.6 Tes Formatif 7

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Suatu alat yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik
 - a. Transistor
 - b. Dioda
 - c. Kapasitor
 - d. Induktor
2. Satuan untuk kapasitor pada sistem listrik dinyatakan dalam....
 - a. Farad
 - b. Ohm
 - c. Henry
 - d. Ampere
3. Kemampuan sebuah kumparan untuk melawan sembarang perubahan arus listrik disebut dengan....
 - a. Reaktansi Induktif
 - b. Reaktansi kapasitif
 - c. Induktansi diri
 - d. Impedansi
4. Hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak-balik (arus AC) disebut dengan...
 - a. Tahanan
 - b. Reaktansi Kapasitif
 - c. Reaktansi Induktif
 - d. Impedansi
5. Pada rangkaian beban kapasitif nilai arus akan mendahului nilai tegangan sebesar 90° atau yang umumnya dikenal dengan istilah
 - a. Landing
 - b. Lying
 - c. Lagging
 - d. Leading
6. Satuan untuk Induktor pada sistem listrik dinyatakan dalam....
 - a. Farad
 - b. Ohm
 - c. Henry
 - d. Ampere

7. Pengertian dari reaktansi induktif adalah
 - a. Kemampuan sebuah kumparan untuk melawan sembarang perubahan arus listrik
 - b. Hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak balik (arus AC)
 - c. Hambatan atau tahanan Induktor terhadap arus listrik bolak-balik/arus AC
 - d. Variabel untuk mengukur sejauh mana suatu rangkaian listrik dapat menghambat suatu aliran listrik yang melintasi rangkaian tersebut.
8. Pada beban induktif, nilai arus akan tertinggal sebesar 90° atau yang biasa dikenal dengan istilah
 - a. Landing
 - b. Lying
 - c. Lagging
 - d. Leading
9. Di bawah ini merupakan termasuk jenis dari beban listrik pada arus bolak-balik, kecuali
 - a. Beban Resistif
 - b. Beban tak seimbang
 - c. Beban Kapasitif
 - d. Beban Induktif
10. Variable untuk mengukur sejauh mana suatu rangkaian listrik dapat menghambat suatu aliran listrik yang melintasi rangkaian tersebut disebut dengan
 - a. Tahanan
 - b. Reaktansi Kapasitif
 - c. Reaktansi Induktif
 - d. Impedansi

PENUTUP

Demikian penyusun modul Ilmu Listrik Kapal Penangkap Ikan 1 disusun untuk dapat digunakan sebagai salah satu media pembelajaran pada penyelenggaraan pendidikan vokasi di Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai.

Rekomendasi: **Tuntas/Tidak Tuntas**

“Untuk dapat melanjutkan pada kegiatan pembelajaran pada modul berikutnya”

Keterangan:

- *) 1. CORET pada kata **Tuntas** apabila peserta didik belum memenuhi nilai minimal 80
- *) 2. CORET pada kata ~~Tidak Tuntas~~ apabila peserta didik telah memenuhi nilai minimal 80

TES SUMATIF

Pilihlah jawaban yang paling tepat !

1. Benda yang kekurangan elektron disebut
 - a. bermuatan positif
 - b. bermuatan negatif
 - c. netral
 - d. bermuatan neutron
2. Berikut ini adalah cara-cara yang dapat dilakukan untuk membuat muatan listrik statis, kecuali
 - a. menggosok dan konduksi
 - b. induksi dan konklusi
 - c. menggosok dan induksi
 - d. konduksi dan induksi
3. Pemisahan muatan pada sebuah benda karena didekati benda lain yang bermuatan disebut
 - a. induksi
 - b. konduksi
 - c. menggosok
 - d. mendekatkan
4. Jika jarak dari dua muatan A dan B diperkecil, maka gaya listrik pada kedua muatan itu akan
 - a. makin kecil
 - b. makin besar
 - c. tetap
 - d. tidak ada gaya listrik
5. nilai dari suatu muatan per satu elektron adalah ...
 - a. $1,4 \times 10^{-17}$ Coulomb
 - b. $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb
 - c. $1,8 \times 10^{-15}$ Coulomb
 - d. $2,0 \times 10^{-13}$ Coulomb
6. Jumlah bersih muatan listrik yang dihasilkan pada dua benda yang berbeda (penggaris plastik dan kain wol) dalam suatu proses penggosokan adalah nol, merupakan bunyi dari.....
 - a. Hukum kekekalan energi
 - b. Hukum kekekalan muatan

- c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff
7. Gaya listrik (tarik-menarik atau tolak-menolak) antara dua muatan sebanding dengan besar muatan listrik masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara kedua muatan listrik, merupakan bunyi dari.....
- a. Hukum kekekalan energi
 - b. Hukum kekekalan muatan
 - c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Coulomb
8. Yang termasuk ke dalam jenis Logam Fero adalah
- a. Aluminium
 - b. Tembaga
 - c. Baja
 - d. Kuningan
9. Di bawah ini termasuk ke dalam jenis logam berat non Fero, kecuali
- a. Tembaga
 - b. Timah
 - c. Aluminium
 - d. Nikel
10. Sifat kelistrikan suatu material konduktor sangat dipengaruhi beberapa hal di bawah ini, kecuali.....
- a. Daya tahan jenis material
 - b. Harga material
 - c. Daya hantar jenis material
 - d. Suhu
11. Nilai tahanan jenis bahan perak pada suhu 20⁰C adalah.....
- a. $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - b. $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - c. $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - d. $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$
12. Nilai tahanan jenis bahan tembaga pada suhu 20⁰C adalah.....
- a. $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - b. $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - c. $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - d. $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$

13. Nilai tahanan jenis bahan Aluminium pada suhu 20°C adalah.....
- $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - $2,24 \times 10^{-8} \Omega.m$
 - $2,65 \times 10^{-8} \Omega.m$
14. Nilai koefisien suhu bahan tembaga adalah.....
- 0,00411/°C
 - 0,00426/°C
 - 0,00365/°C
 - 0,00420/°C
15. Nilai koefisien suhu bahan aluminium adalah.....
- 0,00411/°C
 - 0,00426/°C
 - 0,00365/°C
 - 0,00420/°C
16. Yang termasuk ke dalam jenis bahan isolator gas adalah
- Kayu
 - Kertas
 - Porselen
 - Udara
17. Penggunaan gas SF₆ sebagai isolator dalam dunia kelistrikan dapat dijumpai pada ...
- Medium Voltage Circuit Breaker*
 - Saklar
 - Kontaktor
 - Relai
18. Sifat kelistrikan suatu material isolator sangat dipengaruhi beberapa hal di bawah ini yaitu...
- Higroskopitas
 - Wilayah tropis
 - Resistivitas dan Permittivitas
 - Kelenturan
19. Berikut ini termasuk ke dalam jenis material isolator kelas Y, kecuali.....
- Katun
 - Sutera
 - Wol Sintetis
 - Mika

20. Yang termasuk ke dalam jenis bahan material isolator kelas B adalah.....
- Katun
 - Kertas
 - asbes
 - Karet
21. kemampuan atau kapasitas suatu bahan isolator dalam menyerap air bila bahan tersebut dicelupkan ke dalam air, merupakan sifat fisis dan kimia dari bahan isolator dilihat dari sisi....
- Higroskopitas
 - Penyerapan air
 - Pengaruh tropis
 - Resistansi radiasi
22. Satuan untuk tegangan dinyatakan dalam....
- Volt
 - Ampere
 - Coulomb
 - Farad
23. Satuan untuk hambatan dinyatakan dalam....
- Volt
 - Ampere
 - Coulomb
 - Ohm
24. Satuan untuk energi dinyatakan dalam....
- Volt
 - Joule
 - Coulomb
 - Farad
25. Satuan untuk daya listrik dinyatakan dalam....
- Volt
 - Ampere
 - Coulomb
 - Watt
26. Untuk sebuah hambatan yang tetap, semakin besar tegangan listrik maka arus listrik akan semakin besar dan semakin besar hambatan untuk nilai tegangan yang sama maka arus listrik akan semakin kecil, merupakan bunyi dari.....
- Hukum kekekalan energi
 - Hukum kekekalan muatan

- c. Hukum Ohm
 - d. Hukum Kirchoff
27. Petunjuk mengenai berapa banyak kerja yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu, merupakan pengertian dari...
- a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan
28. Tanda seberapa banyak energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu muatan diantara 2 titik di dalam suatu kelistrikan
- a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan
29. Jika $6,6242 \times 10^{18}$ elektron mengalir dengan kecepatan yang seragam melalui suatu penghantar dalam waktu satu detik maka aliran muatan tersebut disebut dengan
- a. Energi listrik
 - b. Daya listrik
 - c. Arus listrik
 - d. Tegangan
30. Satuan untuk arus listrik dinyatakan dalam....
- a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
31. Satuan untuk muatan listrik dinyatakan dalam....
- a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad
32. Satuan untuk tegangan dinyatakan dalam....
- a. Volt
 - b. Ampere
 - c. Coulomb
 - d. Farad

33. Satuan untuk hambatan dinyatakan dalam....
- Volt
 - Ampere
 - Coulomb
 - Ohm
34. Suatu sistem listrik yang hanya memiliki satu arah aliran muatan disebut....
- Arus Searah
 - Arus bolak-balik
 - Resistansi
 - Arus bocor
35. Dalam suatu rangkaian seri, arus listrik yang lewat pada setiap elemen yang tersusun secara seri bernilai
- Tergantung dari nilai hambatan yang dilaluinya
 - Sama dengan nilai tegangannya
 - Sama besar
 - Lebih kecil dari nilai hambatan
36. Jumlah aljabar tegangan pada sekeliling hambatan di sebuah rangkaian listrik tertutup adalah sama dengan nol, merupakan bunyi dari....
- Hukum Kirchoff tegangan
 - Hukum kekekalan muatan
 - Hukum Ohm
 - Hukum Kirchoff Arus
37. Jumlah dari aljabar arus listrik yang masuk dan yang meninggalkan suatu sambungan harus sama dengan nol, merupakan bunyi dari hukum....
- Hukum Kirchoff tegangan
 - Hukum kekekalan muatan
 - Hukum Ohm
 - Hukum Kirchoff Arus
38. Suatu instrument yang dipergunakan untuk mengukur nilai tegangan adalah
- Insulation tester*
 - Volt meter
 - Ampere-meter
 - Ohm-meter
39. Suatu instrument yang dipergunakan untuk mengukur nilai dari arus listrik adalah ...
- Insulation tester*
 - Volt meter
 - Ampere-meter

- d. Ohm-meter
40. Harga sesaat maksimum sebuah gelombang yang diukur dari tegangan senilai nol Volt disebut....
- a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
41. Suatu nilai rata-rata dari perubahan gelombang selama setengah periode dari nilai sesaat yang selalu berubah-ubah, dimulai dari nol sampai maksimum dan kembali ke titik nol disebut dengan
- a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
42. Ukuran yang menyatakan seberapa efektifnya sebuah sumber tegangan memberikan daya pada sebuah beban disebut dengan
- a. Nilai sesaat
 - b. Nilai puncak
 - c. Nilai rata-rata
 - d. Nilai efektif
43. Suatu mesin listrik yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik disebut dengan
- a. Generator
 - b. Motor listrik
 - c. Transformator
 - d. Dioda
44. Suatu mesin listrik yang mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik disebut dengan
- a. Generator
 - b. Motor listrik
 - c. Transformator
 - d. Dioda
45. Suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi Listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai frekuensi yang sama besar disebut dengan
- a. Generator
 - b. Motor listrik

- c. Transformator
 - d. Dioda
46. Hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak-balik (arus AC) disebut dengan.....
- a. Tahanan
 - b. Reaktansi Kapasitif
 - c. Reaktansi Induktif
 - d. Impedansi
47. Pada rangkaian beban kapasitif nilai arus akan mendahului nilai tegangan sebesar 90° atau yang umumnya dikenal dengan istilah
- a. Landing
 - b. Lying
 - c. Lagging
 - d. Leading
48. Satuan untuk Induktor pada sistem listrik dinyatakan dalam....
- a. Farad
 - b. Ohm
 - c. Henry
 - d. Ampere
49. Pengertian dari reaktansi induktif adalah
- a. Kemampuan sebuah kumparan untuk melawan sembarang perubahan arus listrik
 - b. Hambatan atau resistansi yang timbul pada kapasitor yang dilewati oleh arus bolak balik (arus AC)
 - c. Hambatan atau tahanan Induktor terhadap arus listrik bolak-balik / arus AC
 - d. Variable untuk mengukur sejauh mana suatu rangkaian listrik dapat menghambat suatu aliran listrik yang melintasi rangkaian tersebut.
50. Pada beban induktif, nilai arus akan tertinggal sebesar 90° atau yang biasa dikenal dengan istilah
- a. Landing
 - b. Lying
 - c. Lagging
 - d. Leading

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

1. a
2. b
3. a
4. b
5. c
6. a
7. b
8. b
9. d
10. a

Tes Formatif 2

1. a
2. a
3. c
4. c
5. b
6. a
7. b
8. d
9. b
10. d

Tes Formatif 3

1. a
2. b
3. d
4. a
5. c
6. d
7. c
8. b
9. c
10. d

Tes Formatif 4

1. b
2. c
3. a
4. d
5. b
6. d

7. c
8. b
9. d
10. c

Tes Formatif 5

1. b
2. c
3. a
4. d
5. a
6. c
7. a
8. d
9. b
10. c

Tes Formatif 6

1. b
2. a
3. b
4. a
5. b
6. c
7. d
8. b
9. a
10. c

Tes Formatif 7

1. c
2. a
3. c
4. b
5. d
6. c
7. c
8. c
9. b
10. d

Kunci Jawaban Tes Sumatif

- | | |
|-------|-------|
| 1. a | 26. c |
| 2. b | 27. b |
| 3. a | 28. d |
| 4. b | 29. c |
| 5. b | 30. b |
| 6. b | 31. c |
| 7. d | 32. a |
| 8. c | 33. d |
| 9. c | 34. a |
| 10. b | 35. c |
| 11. a | 36. a |
| 12. b | 37. d |
| 13. d | 38. b |
| 14. b | 39. c |
| 15. d | 40. a |
| 16. d | 41. c |
| 17. a | 42. d |
| 18. c | 43. b |
| 19. d | 44. a |
| 20. c | 45. c |
| 21. b | 46. b |
| 22. a | 47. d |
| 23. d | 48. c |
| 24. b | 49. c |
| 25. d | 50. c |

Daftar Pustaka

- Agus Adiarta. (2017). *Dasar-Dasar Instalasi*. Depok : PT. RajaGrafindo Persada.
- Agus Salim. (2013). *Teknik Dasar Kelistrikan Kapal I*. Jakarta : Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Diana Puspita dan lip Rohima. (2009). *Alam Sekitar IPA Terpadu*. Jakarta : Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Dickson Kho. (2019). Pengertian Reaktansi Kapasitif (*Capacitive Reactance*) dan Cara Menghitungnya. [Internet]. Tersedia di:
<https://teknikelektronika.com/pengertian-reaktansi-kapasitif-capacitive-reactance-rumus-cara-menghitungnya/>
- _____. (2019). Pengertian Reaktansi Induktif (*Inductive Reactance*) dan Rumus Reaktansi Induktif. [Internet]. Tersedia di:
<https://teknikelektronika.com/pengertian-reaktansi-induktif-inductive-reactance-rumus-reaktansi-induktif/>
- Douglas C.Giancoli.(2001). *Fisika Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- Margiono Abdillah. 2018. *Instalasi Listrik Kapal Penumpang dan Niaga*. Pontianak : Yayasan Kemajuan Teknik.
- Muhaimin, H.A.. (2007). *Bahan – Bahan Listrik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Muslihun dan Adhita Asma Nurunnizar. (2018). *Smart Book Fisika*. Jakarta : PT. Gramedia.
- Rudy Setiabudy. (2007). *Material Teknik Listrik*. Depok : Universitas Indonesia.
- Soepono Soeparlan dan Umar Yahdi. (1995). *Tenik Rangkaian Listrik Jilid 1*. Jakarta : Gunadarma
- _____. (1995). *Tenik Rangkaian Listrik Jilid 2*. Jakarta : Gunadarma
- Sumanto. (2005). *Pengetahuan Bahan Untuk Mesin dan Listrik*. Yogyakarta : Andi.
- Supadi, Dewi Rossalia, dan Yhoseph Gita. (2018). *Big Book Fisika*. Jakarta : CMedia.
- Tony R Kuphaldt. (2007). *Lesson in Electric Circuits, Volume II – AC*.
- William H. Hyat, Jr, Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin.(2005). *Rangkaian Listrik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.