

MODUL PEMBELAJARAN

KODE : LIS.PTL013 (P) (40 Jam)

PRINSIP DASAR ARUS SEARAH

**BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK PEMANFAATAN ENERGI**



**PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPILAN HIDUP
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2003**

KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk modul/paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi (*Competency Based Training*). Untuk itu modul ini sangat sesuai dan mudah untuk dipelajari secara mandiri dan individual. Oleh karena itu walaupun modul ini dipersiapkan untuk peserta diklat/siswa SMK dapat digunakan juga untuk diklat lain yang sejenis.

Dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan asas keluwesan dan keterlaksanaannya, yang menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum/program diklat, guna merealisasikan penyelenggaraan pembelajaran di SMK. Penyusunan Bahan Ajar Modul bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai tuntutan penguasaan kompetensi tamatan SMK sesuai program keahlian dan tamatan SMK.

Demikian, mudah-mudahan modul ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam pembekalan kompetensi kejuruan peserta diklat.

Jakarta, 01 Desember 2003
Direktur Dikmenjur,

Dr. Ir. Gator Priowirjanto
NIP 130675814

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
PETA KEDUDUKAN MODUL	iv
PERISTILAHAN	v
I PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	2
C. Petunjuk Penggunaan Modul	2
D. Tujuan Akhir.....	3
E. Standar Kompetensi.....	4
F. Cek Kemampuan	5
II PEMBELAJARAN	6
A. RENCANA BELAJAR SISWA	6
B. KEGIATAN BELAJAR.	7
KEGIATAN BELAJAR 1	7
A. Tujuan Kegiatan	7
B. Uraian Materi	7
C. Tes Formatif	40
KEGIATAN BELAJAR 2	46
A. Tujuan Kegiatan	46
B. Uraian Materi	46
KEGIATAN BELAJAR 3	60
A. Tujuan Kegiatan	60
B. Uraian Materi	60
C. Rangkuman	71
D. Tes Formatif	72
KEGIATAN BELAJAR 4	73
A. Tujuan Kegiatan	73
B. Uraian Materi	73

KEGIATAN BELAJAR 5	89
A. Tujuan Kegiatan	89
B. Uraian Materi	89
C. Tes Formatif	112
D. Jawaban Tes Formatif	115
KEGIATAN BELAJAR 6	120
A. Tujuan Kegiatan	120
B. Uraian Materi	120
C. Tes Formatif	140
III EVALUASI	141
KUNCI JAWABAN	153
DAFTAR PUSTAKA	155
LAMPIRAN	

PERISTILAHAN / GLOSSARY

Konduktor	:	Bahan listrik yang bersifat menghantarkan muatan listrik
Isolator	:	Bahan listrik yang bersifat tidak menghantarkan muatan listrik
Resistor	:	Bahan listrik yang bersifat menahan muatan listrik
Induktor	:	Bahan listrik yang bersifat menghambat muatan listrik AC
Kapasitor	:	Komponen listrik yang dapat menyimpan muatan listrik
Germanium	:	Jenis atom semikonduktor yang memiliki lapisan terluar elektron 4 buah
Silicon	:	Jenis atom semikonduktor yang memiliki lapisan terluar elektron 4 buah
Elektron	:	Adalah bagian daripada atom yang bermuatan negatif
Proton	:	Adalah bagian daripada atom yang bermuatan positif
Neutron	:	Adalah bagian daripada atom yang bermuatan netral
Self Induction	:	Induksi sendiri pada lilitan berarus listrik
GGL	:	Gaya Gerak Listrik
AC	:	Alternating Current
DC	:	Direct Current
Motor	:	Mesin listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik
Generator	:	Mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
Shaded pole	:	Kutub bayangan yang digunakan pada motor dengan torsi yang kecil
Komutator	:	Lapisan logam terisolasi/tersekat-sekat untuk menyearahkan AC pada mesin listrik
Armature	:	Adalah jangkar (bagian mesin listrik yang berlilitan kawat) biasanya sebagai rotor
Dioda	:	Komponen elektronik yang dapat menyearahkan AC

Transformator	:	Komponen elektronik/listrik yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik pada lilitan kabel
Rectifier	:	Penyearah (pengubah arus listrik AC menjadi DC)
Doubler	:	Pelipat dua tegangan / frekwensi listrik
Trippler	:	Pelipat tiga tegangan/ frekwensi listrik
Clipper	:	Pemotong bagian gelombang listrik
Clamper	:	Pendorong sinyal keatas atau kebawah garis netral

I. PENDAHULUAN

A. DESKRIPSI MODUL

Terdapat tiga tantangan cukup berat yang dihadapi bangsa Indonesia saat ini yaitu (1) adanya kebijaksanaan otonomi daerah (desentralisasi) yang sudah mulai digulirkan ; (2) adanya AFTA dan AFLA mulai berlaku tahun 2003 ; dan (3) tantangan globalisasi yang akan terjadi 2020. Ketiga tantangan tersebut merupakan ujian yang harus dihadapi, maka perlu peningkatan kualitas sumber daya manusia (SDM) sebagai langkah yang harus direncanakan secara strategis. Strategi peningkatan kualitas SDM dilakukan dengan berbagai strategi antara lain melalui pembelajaran berbasis kompetensi (competency based training). Pelaksanaan strategi tersebut dilakukan melalui (1) penataan kurikulum; (2) penyusunan bahan ajar/modul; (3) penyusunan standar pelayanan minimal; dan (4) penyelenggaraan diklat berbasis produksi (production based training).

Kegiatan pembelajaran dengan berbasis produksi pada hakekatnya merupakan perpaduan antara penguasaan konsep dan prinsip terhadap suatu obyek serta penerapannya dalam kegiatan produksi, dengan memperhatikan fakta lapangan dan menggunakan prosedur tetap untuk menghasilkan produk barang dan jasa yang standar.

Pendekatan pembelajaran dengan sistem modul memberikan kesempatan kepada peserta diklat untuk belajar secara mandiri sesuai dengan percepatan pembelajaran masing-masing. Modul sebagai alat atau sarana pembelajaran yang berisi materi, metode, batasan-batasan dan cara mengevaluasi yang dirancang secara sistematis dan menarik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Untuk itu perlu adanya penyusunan bahan ajar atau modul sesuai dengan analisis kompetensi, agar peserta diklat dapat belajar efektif dan efisien.

Isi modul ini diarahkan untuk dapat memahami prinsip-prinsip dasar arus searah, meliputi konduktor-isolator-kapasitor dan induktor, dasar-dasar elektromagnetik-elektromekanik dan mesin listrik arus bolak-balik, dasar-dasar listrik dan magnet,

dasar-dasar motor listrik arus bolak-balik, dasar-dasar motor listrik arus searah serta penggunaan dioda semikonduktor sebagai komponen pengubah besaran listrik arus bolak-balik menjadi besaran listrik arus searah.

B. PRASYARAT

Untuk dapat mengikuti modul ini peserta harus sudah lulus dan kompeten pada pendidikan dan pelatihan berbasis pada modul-modul :

1. Ilmu bahan listrik
2. Komponen elektronika aktif dan pasif
3. Teknik pengukuran besaran listrik/elektronika
4. Dasar ilmu listrik

C. PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Isi dan urutan dari modul ini disiapkan untuk materi diklat pada program peningkatan kompetensi yang mengacu kepada kebutuhan kompetensi industri dibidang keahlian rangkaian elektronika arus searah.

Modul ini berisi 6 kegiatan belajar, setiap kegiatan belajar berisi lembar informasi sebagai dasar teori penunjang praktek dan lembar kerja serta langkah kerja dan diakhiri dengan lembar evaluasi dan referensi yang digunakan/disarankan.

Dalam pelaksanaannya, semua urutan langkah kerja pada setiap topik kegiatan pembelajaran adalah individual learning yang harus dilakukan oleh praktikan/peserta diklat, pembimbing memeriksa setiap langkah kerja yang dilakukan oleh praktikan dengan cara membubuhkan paraf pembimbing untuk setiap langkah kerja yang sudah dilakukan oleh praktikan.

Laporkan setiap hasil percobaan sirkit praktek kepada pembimbing bila operasi rangkaian praktek telah sesuai dengan instruksi/kesimpulan sesuai dengan modul.

Agar supaya diperoleh hasil yang diinginkan pada peningkatan kompetensi, maka tata cara belajar bagi siswa memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Ikutilah langkah-langkah belajar seperti yang diinstruksikan

- b. Persiapkanlah perlengkapan-perengkapan yang dibutuhkan sesuai dengan petunjuk modul ini

Peran guru assesor antara lain :

1. Membantu siswa dalam merencanakan proses belajar, memahami konsep dan praktik baru serta membantu siswa dalam mengakses sumber belajar
2. Menjawab pertanyaan siswa
3. Merencanakan proses penilaian dan melaksanakan penilaian
4. Menjelaskan kepada siswa tentang sikap pengetahuan dan keterampilan dari suatu kompetensi yang perlu untuk dibenahi dan merundingkan rencana pembelajaran serta mencatat pencapaian kemajuan siswa

Setiap percobaan berisi lembar informasi sebagai dasar teori penunjang praktek dan lembar kerja serta langkah kerja dan diakhiri dengan lembar evaluasi dan referensi yang digunakan/disarankan.

Dalam pelaksanaannya , semua urutan langkah kerja pada setiap topik kegiatan pembelajaran adalah individual learning yang harus dilakukan oleh praktikan/peserta diklat, pembimbing memeriksa setiap langkah kerja yang dilakukan oleh praktikan dengan cara membubuhkan paraf pembimbing untuk setiap langkah kerja yang sudah dilakukan oleh praktikan.

Laporkan setiap hasil percobaan sirkit praktek kepada pembimbing bila operasi rangkaian praktek telah sesuai dengan instruksi/kesimpulan sesuai dengan modul.

D. TUJUAN AKHIR

Modul ini bertujuan memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan kepada peserta untuk mengarah kepada standar kompetensi tentang prinsip dasar listrik arus searah.

Anda dapat dinyatakan telah berhasil menyelesaikan modul ini jika anda telah mengejakan seluruh isi dari modul ini termasuk latihan teori dan praktek dengan benar juga telah mengikuti evaluasi berupa test dengan skor minimum adalah 70.

Setelah selesai mempelajari materi ini peserta diklat diharapkan dapat :

1. Mengidentifikasi jenis-jenis penghantar listrik
2. Mempraktekan prinsip elektromagnetik, elektromekanik dan memahami prinsip dasar generator arus bolak-balik
3. Memahami dan mempraktekan jenis dan karakteristik generator arus searah
4. Mempraktekan prinsip-prinsip dasar generator searah serta menggunakan sistem pengubah listrik arus bolak-balik menjadi listrik arus searah.

E. STANDAR KOMPETENSI

Kode Kompetensi : PTL.HAR.001 () A

Kompetensi : Mengoperasikan mesin produksi dengan kendali generator/motor (mesin) listrik

Sub Kompetensi : 1. Mengoperasikan sistem pengontrolan generator dc
2. Mengaplikasikan generator listrik dc pada kontrol di industri

Tujuan Umum

- a. Mengoperasikan mesin dengan pengontrol generator/motor dc
- b. Menggunakan motor ac dan motor dc dalam sirkit aplikasi kontrol otomatis

Ruang Lingkup :

1. Bahan konduktor, isolator dan semikonduktor, jenis-jenis induktor dan rangkaiannya, sifat dan jenis magnet, fluks magnet, kuat medan, hukum faraday, rangkaian megnet.
2. Konversi energi, ggl, kopel, frekwensi, komutator, generator arus searah, motor arus searah

Standar kompetensi

1. Judul Unit

- a. Mengoperasikan sistem generator arus searah
- b. Mengaplikasikan generator listrik dc pada kontrol di industri

2. Uraian Unit

Unit-unit ini mengidentifikasikan kompetensi yang dibutuhkan untuk menggunakan generator/motor dc sebagai pengontrol utama pada kontrol dIindustri

3. Elemen Kompetensi dan Kriteria Unjuk Kerja

Sub Kompetensi :

1. Mengoperasikan generator/ motor dc

KUK :

- a. Bahan konduktor diidentifikasi dengan benar
- b. Cara kerja induktor dijelaskansesuai dengan spesifikasi dan operasinya
- c. Dasar-dasar elektromagnetik difahami dan diidentifikasi sesuai dengan prinsip kerjanya
- d. Generator/motor diidentifikasi dengan benar sesuai karakteristiknya.

2. Mengaplikasikan generator/motor listrik dc pada kontrol di industri

KUK :

1. Generator/Motor dc dioperasikan dengan benar sesuai ketentuan
2. Motor dc dioperasikan dengan benardan digunakan dengan benar sesuai fungsinya
3. Komponen perubah tegangan ac menjadi tegangan dc dijelaskan sesuai karakteristik dan fungsinya

Kode Modul : LIS.PTL.013 (P)

F. CEK KEMAMPUAN

Untuk mengukur penguasaan kompetensi-kompetensi yang akan dipelajari pada modul ini, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

1. Sebutkan bahan-bahan konduktor, isolator dan semikonduktor
2. Jelaskan fungsi dari komutator dan operasi kerjanya
3. Sebutkan perbedaan motor dan generator
4. Apa yang anda ketahui tentang rotor dan ststor
5. Jelaskan aplikasi dari genertor ac pada kehidupan sehari-hari tanpa listrik PLN.
6. Jelaskan apakah sebuah mesin listrik dapat digunakan untuk motor dan sekaligus untuk generator ?
7. Jelaskan dengan singkat bagaimana proses terjadinya ggl
8. Jelaskan proses terjadinya ggl lawan pada sirkit induktor

II. PEMBELAJARAN

A. RENCANA BELAJAR SISWA

Jenis kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat belajar	Alasan perubahan	Tanda tangan guru

A.1. Pedoman penilaian

Penilaian pada modul “ dasar-dasar arus searah” ini berpedoman pada standar kompetensi industri yang telah disyahkan oleh asosiasi industri yang diakui baik dalam skala nasional maupun internasional (ISO)

B. KEGIATAN BELAJAR

KEGIATAN BELAJAR 1

KONDUKTOR, ISOLATOR , RESISTOR, KAPASITOR DAN INDUKTOR

1. Kegiatan Belajar 1

1.1 KONDUKTOR DAN ISOLATOR

Kegiatan belajar ini bertujuan memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan kepada peserta diklat tentang dasar-dasar arus searah yang selalu dibutuhkan dan digunakan pada pengontrolan mesin (generator dan motor) pada line produksi di industri. Anda dapat dinyatakan telah berhasil menyelesaikan modul ini jika anda telah menjejakan seluruh isi dari modul ini termasuk latihan teori dan praktek dengan benar juga telah mengikuti evaluasi berupa test dengan skor minimum adalah 70.

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 1

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian konduktor dan isolator
2. Menjelaskan pengertian tahanan jenis konduktor
3. Mengidentifikasi bahan-bahan konduktor dan isolator
4. Menghitung konduktifitas dan koefisien suhu

b. Uraian materi 1

Konduktor ialah suatu bahan yang dapat menghantarkan arus listrik. Bahan konduktor pada umumnya terbuat dari logam. Contohnya : tembaga, besi, aluminium, perak, emas dan lain-lain. Selain logam ada bahan konduktor yang bukan logam tapi dapat menghantarkan arus listrik yakni macam-macam zat cair yang mengandung zat asam dan garam.

Isolator ialah suatu bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Contohnya : kertas, kayu, kaca, plastik, karet dan lain-lain. Disamping bahan konduktor dan bahan isolator ada bahan yang bersifat semikonduktor. Semikonduktor ialah suatu bahan yang tidak dapat dikelompokkan dalam konduktor maupun isolator. Contohnya : Silikon (Si) dan Germanium (Ge). **Superkonduktor** ialah suatu bahan yang sangat baik dalam menghantarkan arus listrik. Tahanan dalam penghantar tidak ada ($= 0$), Contohnya serat optik.

Tahanan Jenis ialah besarnya tahanan pada suatu bahan yang panjangnya satu meter (1 m) dengan penampang satu milli meter persegi (1 mm^2). Tahanan jenis dinyatakan dengan ρ ($\Omega \cdot \text{m}$). Tahanan jenis dari beberapa bahan ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1.

Nama Bahan	Tahanan Jenis	Nama Bahan	Tahanan Jenis
Tembaga	0,0175	Perak	0,016
Aluminium	0,03	Wolfram	0,055
Besi	0,12	Timah	0,13

Konduktifitas konduktor ialah kemampuan suatu konduktor untuk menghantarkan arus listrik. Konduktifitas konduktor sering juga disebut daya hantar konduktor. Konduktifitas dinyatakan dengan G satuannya mho.

Persamaannya :

$$G = \frac{1}{R} \dots\dots\dots \text{ mho}$$

Koefisien suhu konduktor ialah besarnya perubahan nilai tahanan per ohm, yang disebabkan adanya perubahan suhu sebesar 1° C . Koefisien suhu ini umumnya dinyatakan dengan α .

Koefisien suhu suatu tembaga 0,004, berarti jika suhu itu bertambah 1° C . untuk tiap-tiap 1 ohm tahanan akan terdapat tambahan 0,004 ohm.

Untuk menghitung pertambahan resistansi suatu konduktor digunakan rumus :

$$R_t = R + (R \alpha \Delta t)$$

$$R_t = R (1 + \alpha \Delta t) \quad \dots\dots\dots \text{ohm } (\alpha \text{)}$$

Dimana :

R_t = Tahanan sesudah terjadi perubahan panas (suhu)

R = Tahanan sebelum terjadi perubahan panas (suhu)

α = Koefisien suhu

Δt = Perubahan temperatur yang diukur dengan derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$)

d. Tugas 1

1. Sebuah penghantar dengan panjang 50 m mempunyai konduktifitas 0,25. Apabila resistansi yang dimiliki 10 Ω , hitung luas penampangnya !
2. Pada suhu awal $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ sebuah penghantar perak dengan panjang 40 m dan luas penampang 2 mm² memiliki konduktifitas 0,016. Hitung resistansi penghantar pada suhu $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$!
3. Sebuah penghantar besi dengan panjang 10 m dan luas penampang 1,5 mm² , pada suhu awal $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$ memiliki konduktifitas 0,2. Hitung resistansi penghantar pada suhu $t_2 = 30^{\circ}\text{C}$!

e. Tes formatif 1

Sebuah penghantar tembaga dengan panjang 30 m dan luas penampang 2,5 mm² mempunyai koefisien suhu 0,0045. Jika pada suhu awal $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$ konduktifitasnya 0,12, hitung besar resistansi pada suhu $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$!

f. Kunci jawaban tes formatif

Diketahui : $l = 30\text{ m}$, $A = 2,5\text{ mm}^2$;

$\alpha = 0,12$ pada $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$

$\alpha = 0,0045$; $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$

Hitung R_{t_2} pada $t = 60^{\circ}\text{C}$

Jawab :

$$R = \frac{V}{A} = \frac{0,12 \times 30}{2,5} = 1,44 \text{ ?}$$

$$\begin{aligned} \text{pada } t = 60^\circ \text{C} &= 1,44 + 1,44 \times 0,0045 (60^\circ \text{C} - 15^\circ \text{C}) \\ &= 1,74 \text{ ?} \end{aligned}$$

Jadi resistansi pada suhu $t = 60^\circ \text{C} = 1,74 \text{ ?}$

1.2 RESISTOR

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 2

Setelah selesai pelajaran, siswa dapat :





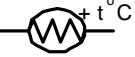

1. Menjelaskan pengertian resistor
2. Menyebutkan jenis-jenis resistor
3. Membaca kode warna resistor
4. Menyebutkan batas daya pada resistor
5. Menghitung resistansi rangkaian resistor

b. Uraian materi 2

Resistor ialah komponen elektronika yang sering dijumpai dalam rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menahan arus listrik, menurunkan tegangan dan membagi tegangan. Adapun bentuk, ukuran dan nilai resistansinya beragam tapi mudah dikenali. Jenis bahan yang digunakan untuk membuat resistor antara lain :

1. Metal film resistor
2. Metal okside resistor
3. Carbon film resistor

Tabel 2. Jenis Resistor

NO	JENIS RESISTOR	SIMBOL
1	Resistor tetap	
2	Resistor variabel	
3	LDR	
4	Potensiometer	
5	Thermistor PTC	
6	Thermistor NTC	

Resistor terdiri dari dua kelompok yaitu :

1. Resistor tetap

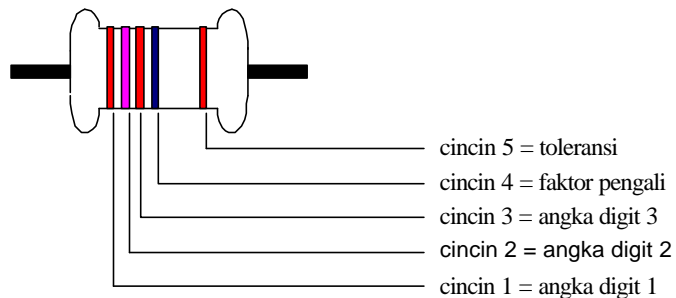
- a. Resistor tetap terdiri dari :
- b. Resistor karbon
- c. Resistor nekelin
- d. Resistor film
- e. Resistor metal okside

2. Resistor variabel

Resistor variabel terdiri dari :

- a. Potensiometer :
 - 1) Linier
 - 2) Logaritmik
- b. Trimer potensiometer (trimport)
- c. Thermistor :
 - 1) Negative Temperatur Coefisien (NTC)
 - 2) Positive Temperatur Coefisien (PTC)
- d. Light Dependent Resistor (LDR)

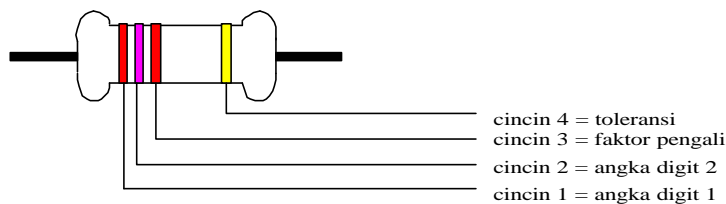
Nilai resistansi sebuah resistor dicantumkan dengan lambang bilangan dan kode warna. Banyaknya cincin kode warna pada resistor ada yang berjumlah 4 cincin dan ada yang berjumlah 5 cincin.



Gambar 1. Resistor 5 cincin

Tabel 3. Kode warna resistor 5 cincin

NO.	Warna	Cincin ke-1	Cincin ke-2	Cincin ke-3	Cincin ke-4 Faktor Pengali	Cincin ke-5 Toleransi
1	Hitam	--	--	--	1	--
2	Coklat	1	1	1	10	1 %
3.	Merah	2	2	2	100	2%
4.	Jingga	3	3	3	1000	--
5.	Kuning	4	4	4	10000	--
6.	Hijau	5	5	5	100000	0,5 %
7.	Biru	6	6	6	1000000	0,25 %
8.	Ungu	7	7	7	10000000	--
9.	Abu-abu	7	7	7	100000000	--
10.	Putih	9	9	9	1000000000	--
11.	Emas	--	--	--	0.1	5 %
12.	Perak	--	--	--	0.01	10 %
13.	Tanpa warna	--	--	--	--	20 %



Gambar 2. Resistor 4 cincin

Tabel 4. Kode warna resistor 4 cincin

NO.	Warna	Cincin ke-1	Cincin ke-2	Cincin ke-3 Faktor Pengali	Cincin ke-4 Toleransi
1.	Hitam	--	0	1	--
2.	Coklat	1	1	10	1 %
3.	Merah	2	2	100	2%
4.	Jingga	3	3	1000	--
5.	Kuning	4	4	10000	--
6.	Hijau	5	5	100000	--
7.	Biru	6	6	1000000	--
8.	Ungu	7	7	10000000	--
9.	Abu-abu	7	8	100000000	--
10.	Putih	9	9	1000000000	--
11.	Emas	--	--	0.1	5 %
12.	Perak	--	--	0.01	10 %

Batas daya dari suatu resistor terdapat pada badan resistor tersebut, tetapi ada yang tidak terdapat pada badan resistor, ditentukan oleh pabrik pembuatnya yang semakin besar ukuran resistor semakin besar batas dayanya.

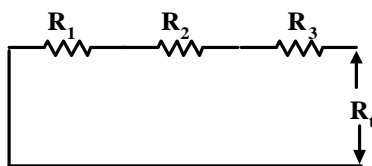
Contoh :

Tabel 5. Pembacaan resistor 4 cincin

Cincin 1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
Merah	Merah	Merah	Emas	2200? ? 5%
Coklat	Hitam	Jingga	Perak	10 k? ? 10%
Jingga	Jingga	Coklat	Emas	330 ? ? 5%
Kuning	Ungu	Hitam	Perak	47 ? ? 10%
Biru	Abu-abu	Emas	Emas	6,8 ? ? 5%

Hubungan Resistor

1. Hubungan seri

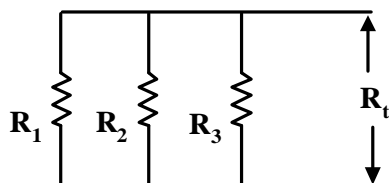


Gambar 3. Rangkaian Resistor Seri

Untuk menghitung resistor yang dihubungkan secara seri digunakan persamaan :

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

2. Hubungan Paralel



Gambar 4. Rangkaian resistor paralel

Resistor yang dihubungkan secara paralel nilainya akan menjadi lebih kecil dari resistor terkecil yang dirangkai. Untuk menghitung nilai total dari resistor yang dihubungkan secara paralel digunakan persamaan :

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Khusus untuk dua resistor yang dihubungkan paralel dapat dipergunakan rumus :

$$R_{Total} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Contoh :

Diketahui tiga resistor dengan nilai masing-masing resistor $R_1 = 4 \Omega$; $R_2 = 8 \Omega$; $R_3 = 2 \Omega$, apabila ketiga resistor tersebut dihubungkan secara paralel. Hitung resistansi dari rangkaian resistor tersebut !

Penyelesaian :

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{3 + 1,5 + 1}{15}$$

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{5,5}{15}$$

$$R_{Total} \times 5,5 = 15 \times 1 \qquad R_{total} = \frac{15}{5,5} = 2,7 \text{ ?}$$

Latihan 2

1. Jelaskan tiga jenis resistor yang kamu ketahui ?
2. Sebutkan macam-macam resistor ?
3. Dua resistor dengan nilai yang sama yakni $R_1 = R_2 = 100 \text{ ?}$, Jika resistor tersebut dihubung secara paralel maka hitung resistansi rangkaian resistor tersebut !
4. Lima resistor dengan besar masing-masing : $R_1 = 100 \text{ ?}$; $R_2 = 47 \text{ ?}$; $R_3 = 56 \text{ ?}$; $R_4 = 1k \text{ ?}$; $R_5 = 820 \text{ ?}$. Apabila kelima resistor diatas dihubung secara seri, hitung resistansi rangkaian resistor tersebut !
5. Tentukanlah resistansi dari resistor dalam tabel di bawah ini !

NO	Cincin ke -1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
1.	Merah	Merah	Coklat	Perak	
2.	Coklat	Hitam	Hitam	Emas	
3.	Kuning	Ungu	Kuning	Perak	
4.	Biru	Abu-abu	Coklat	Emas	
5.	Abu-abu	Merah	Merah	Emas	
6.	Jingga	Putih	Jingga	Emas	

d. Tugas 2

Diketahui tiga resistor dengan nilai masing-masing resistor $R_1 = 4 \text{ ?}$; $R_2 = 8 \text{ ?}$; $R_3 = 2 \text{ ?}$, apabila ketiga resistor tersebut dihubung secara paralel. Hitung resistansi dari rangkaian resistor tersebut !

e. Tes formatif 2

Diketahui $R_1 = 5 \text{ ?}$; $R_2 = 10 \text{ ?}$; $R_3 = 15 \text{ ?}$

Jika ketiga resistor tersebut dihubung secara seri, hitung resistansi rangkaian resistor tersebut !

f. Kunci jawaban tes formatif 2

$$R_{\text{Total}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{\text{Total}} = 5 + 10 + 15$$

$$R_{\text{Total}} = 30 \text{ ?}$$

1.3 KAPASITOR

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 3

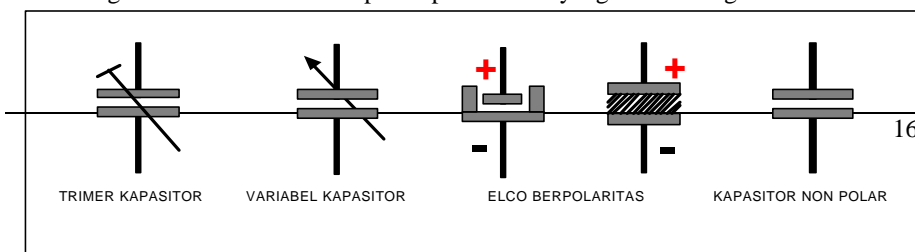
Setelah selesai mengikuti pelajaran, siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian kapasitor
2. Menjelaskan pengertian kapasitansi
3. Membaca kode angka dan kode warna pada kapasitor
4. Menyebutkan jenis kapasitor
5. Menghitung besarnya kapasitansi suatu kapasitor
6. Menghitung kapasitansi dari rangkaian kapasitor

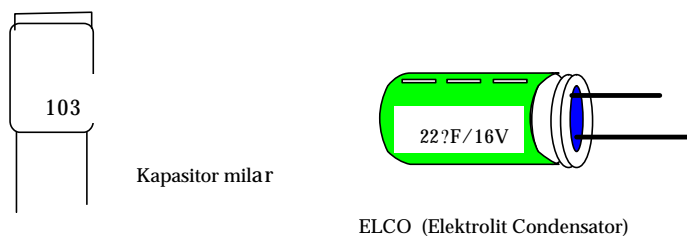
b. Uraian Materi

Pada dasarnya *kapasitor* merupakan alat menyimpan muatan listrik, yang pembentukannya dari dua piringan/plat yang dipisahkan oleh suatu penyekat. Penyekat yang memisahkan dua plat dinamakan *dielektrikum*. Nama kapasitor disesuaikan dengan bahan dielektrikumnya. Dielektrum bermacam-macam jenisnya, diantaranya keramik, mika, elektrolit kertas dan lain sebagainya.

Rangkaian elektronika terdapat kapasitor liar yang tidak diinginkan dinamakan



kapasitansi parasitik (parasit). Penyebabnya adalah adanya komponen-komponen yang berdekatan, misalnya jalur penghantar listrik yang berdekatan, gulungan-gulungan kawat yang berdekatan, pertemuan semikonduktor dan lain sebagainya.



Gambar 5.Macam Kapasitor beserta simbolnya

Satuan kapasitor adalah farad (F). Sebuah kapasitor dikatakan mempunyai **kapasitansi 1 farad** apabila muatan (Q) sebesar satu coulomb tegangannya naik sebesar 1 volt. Namun dalam pembuatannya 1 farad terlalu besar sehingga hanya digunakan satuan mikro farad, nano farad dan piko farad.

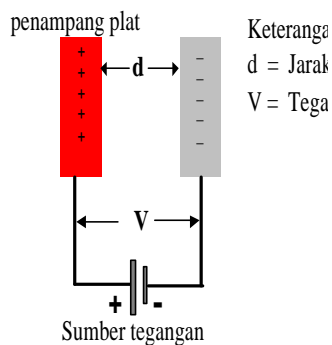
$$1 \text{ mikro farad } (\mu\text{F}) = 1 \times 10^{-6} \text{ farad} = 1000 \text{ nF}$$

$$1 \text{ nano farad } (\text{nF}) = 1 \times 10^{-9} \text{ farad} = 1000 \text{ pF}$$

$$1 \text{ piko farad } (\text{pF}) = 1 \times 10^{-12} \text{ farad} = 1 \times 10^{-3} \text{ nF}$$

Kapasitansi ialah kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik, dinyatakan dengan simbol **C** dan satuan farad (F), adapun muatan listrik dengan simbol **Q** satuannya coulomb, tegangan diantara dua plat bersimbol **V** satuannya volt (V).

Kapasitas sebuah kapasitor adalah perbandingan antara banyaknya muatan listrik dengan tegangan kapasitor .



Gambar 6. Konstruksi Kapasitor

Untuk kapasitor plat sejajar kapasitasnya tergantung pada luas dan jarak antara plat serta jenis atau macam zat yang berada diantara dua plat tersebut.

Dinyatakan dengan persamaan :

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Dimana :

C = Kapasitas

A = Luas plat dalam meter persegi (m^2)

d = Jarak antar plat dalam meter (m)

ϵ = Konstanta dielektrik mutlak

Dapat pula untuk menghitung kapasitas kapasitor dengan menggunakan persamaan :

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

Dimana :

C = Kapasitas

Q = Muatan

V = Tegangan pada kapasitor

Macam-macam kapasitor

Dilihat dari polaritasnya kapasitor terbagi menjadi dua kelompok yaitu :

1. Non-polar (tidak mempunyai polaritas)
2. Polar (mempunyai polaritas positif dan negatif)

Menurut jenisnya kapasitor terbagi menjadi dua yaitu :

1. Kapasitor tetap
2. Kapasitor variabel (varikap) sering juga disebut (varco), biasanya dielektrikumnya udara.

Kapasitor ditinjau dari bahan dielektrikumnya terdiri dari :

- a. Kapasitor keramik bahan dielektrikumnya keramik
- b. Kapasitor mika bahan dielektrikumnya mika
- c. Kapasitor kertas bahan dielektrikumnya kertas
- d. Kapasitor film bahan dielektrikumnya film
- e. Kapasitor tantalum bahan dielektrikumnya tantalum
- f. Kapasitor elektrolit bahan dielektrikumnya elektrolit

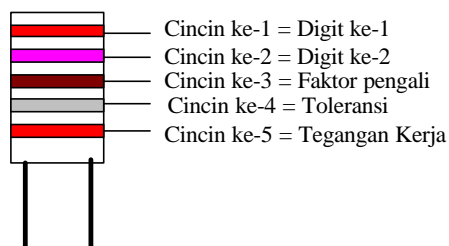
Kode angka pada kapasitor cara pembacaanya sama seperti pada pembacaan pada resistor angka pertama dan kedua merupakan angka digit dan angka ke tiga merupakan faktor pengali, adapun dari faktor perkalian hasilnya mempunyai satuan piko farad (pF).

Contoh :

1. Pada badan kapasitor keramik atau milar tertulis angka 403 berarti :
Angka 4 dan angka 0 merupakan angka digit menjadi 40 dan angka 3 merupakan faktor pengali $\times 1000$, sehingga hasilnya $40 \times 1000 = 40.000$ pF atau sama dengan 40 nF.
2. Pada badan kapasitor keramik atau milar tertulis 0.33 atau .33 berarti :
Langsung dibaca dengan satuan mikro Farad (μ F) yaitu 0,33 μ F
Bila tertulis 0,22 atau .22 berarti 0,22 μ F
3. Pada badan kapasitor elektrolit tertulis 100 μ F/ 16 volt
Angka 100 μ F merupakan kapasitansi dari kapasitor dan 16 volt merupakan batas maksimal tegangan kerja kapasitor dan bila tegangan kerja melebihi batas

maksimalnya maka kapasitor akan mengalami kerusakan, mungkin akan meletus atau mengeluarkan cairan dari elektrolitnya.

Kode warna pada kapasitor sama seperti kode warna pada resistor cincin pertama dan kedua merupakan digit (angka) dan cincin ketiga merupakan faktor pengali. Sedangkan cincin keempat dan kelima merupakan besarnya toleransi dan tegangan kerja.



Gambar 7. Kapasitor dengan kode warna

Tabel 6. Kode warna kapasitor .

NO	Warna	Cincin ke-1	Cincin ke-2	Cincin ke-3 Faktor Pengali	Cincin ke-4 Toleransi	Cincin ke-5 Tegangan kerja
1.	Hitam	--	0	1 pF	20 %	--
2.	Coklat	1	1	10 ¹ pF	--	100 Volt
3.	Merah	2	2	10 ² pF	--	250 Volt
4.	Jingga	3	3	10 ³ pF	--	--
5.	Kuning	4	4	10 ⁴ pF	--	400 Volt
6.	Hijau	5	5	10 ⁵ pF	--	--
7.	Biru	6	6	10 ⁶ pF	--	630 Volt
8.	Ungu	7	7	--	--	--
9.	Abu-abu	7	8	--	--	--
10.	Putih	9	9	--	10 %	--

Contoh :

Warna jingga = 3

Warna biru = 6

Warna kuning = x 10⁴ dalam pF

Warna putih = Toleransi 10 %

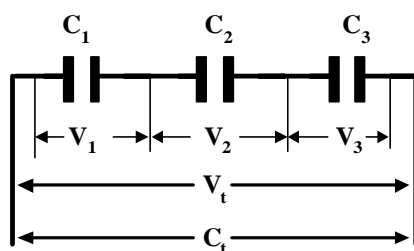
Warna merah = Tegangan kerja maksimum 250 Volt

Jadi nilai kapasitansya = $36 \times 10^{-4} = 36 \times 10.000 = 360.000 \text{ pF}$

Toleransi 10 % dan tegangan kerja maksimum 250 Volt.

Rangkaian kapasitor

1. Rangkaian seri



Gambar 8. Rangkaian kapasitor seri

Berdasarkan gambar di atas maka :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

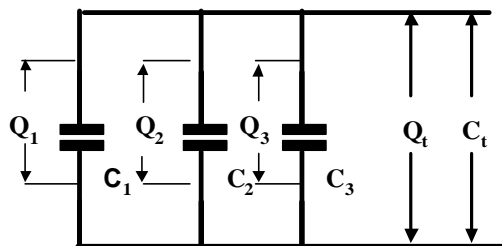
Dimana :

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} ; V_2 = \frac{Q}{C_2} ; V_3 = \frac{Q}{C_3} ;$$

$$\text{Karena : } V = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C} + \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = \frac{Q}{C} + Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

Sehingga :

$$\frac{1}{C_{Total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



Gambar 9. Rangkaian Kapasitor Paralel

2. Rangkaian Paralel

Berdasarkan gambar 9. maka :

$$Q_{\text{Total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Karena : $Q = C.V$; maka : $C_{\text{Total}} . V = V (C_1 + C_2 + C_3)$

Sehingga :

$$C_{\text{Total}} = C_1 + C_2 + C_3$$

Latihan 3

1. Lima kapasitor keramik dimana pada masing-masing kapasitor badannya tertulis kode angka 104, 473, 203, 102 dan 223, tentukan kapasitansi masing-masing kapasitor tersebut.
2. Suatu kapasitor dengan menggunakan kode warna mempunyai susunan warna sebagai berikut :
 - Cincin ke-1 berwarna kuning
 - Cincin ke-2 berwarna ungu
 - Cincin ke-3 berwarna jingga
 - Cincin ke-4 berwarna hitam
 - Cincin ke-5 berwarna biruHitung kapasitansi beserta tegangan kerjan dari kapasitor tersebut !

3. Suatu kapasitor dengan menggunakan kode warna mempunyai susunan warna sebagai berikut :
Cincin ke-1 berwarna coklat
Cincin ke-2 berwarna merah
Cincin ke-3 berwarna kuning
Cincin ke-4 berwarna hitam
Cincin ke-5 berwarna kuning
Hitung kapasitansi beserta tegangan kerjanya dari kapasitor tersebut !
4. Lima kapasitor dengan nilai masing-masing $C_1 = 100 \text{ ?F}$; $C_2 = 220 \text{ ?F}$; $C_3 = 47 \text{ ?F}$; $C_4 = 10 \text{ ?F}$ dan $C_5 = 22 \text{ ?F}$. Apabila kelima kapasitor tersebut dihubungkan secara paralel, hitung kapasitansi total dari rangkaian kapasitor diatas !
5. Tiga kapasitor dengan nilai masing-masing $C_1 = 20 \text{ ?F}$; $C_2 = 12 \text{ ?F}$ dan $C_3 = 14 \text{ ?F}$. Apabila ketiga kapasitor tersebut dihubungkan secara seri, hitung kapasitansi totalnya !

1.4 INDUKTOR

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 4

Setelah mempelajari materi ini siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian induktor
2. Menyebutkan jenis-jenis induktor berdasarkan intinya
3. Menjelaskan fungsi induktor
4. Menghitung nilai reaktansi induktif (X_L)

b. Uraian Materi 4

Induktor atau kumparan adalah salah satu komponen elektronika yang terbuat dari kawat penghantar yang dililitkan pada suatu medium, medium dari induktor antar lain udara kertas, besi, ferrit dan lain sebagainya. Cara kerja induktor berdasarkan induksi magnet yang disebabkan aliran arus listrik yang berbolak-balik (AC = Alternating Current).

Perlu diingat bahwa dalam penyelidikan kawat lurus berarus yang menerobos medan magnet homogen besarnya gaya Lorentz yang dialami kawat tersebut adalah maximum jika kedudukan kawat tegak lurus dengan garis gaya magnetnya dan gaya magnet tersebut minimum ($= 0$) jika kawat sejajar dengan garis-garis gaya magnet.

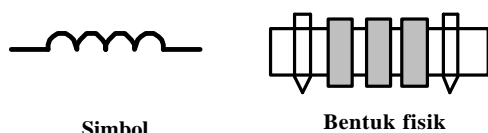
Induktor biasa juga disebut spull atau kumparan dibuat dari bahan kawat beremail tipis, diberi simbol L dengan satuan henry (H), milli henry (mH), mikro henry (μ H).

Berdasarkan kegunaan kita kenal coil atau spull yang bekerja pada :

1. Frekuensi tinggi contohnya spul antena dan oscilator.
2. Frekuensi menengah contoh pada spul MF.
3. Frekuensi rendah contohnya pada trafo input dan trafo output, spull speaker, spul relay, spul trafo adaptor dan spul filter.

Macam-macam induktor

1. Induktor dengan inti udara

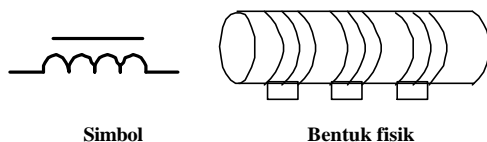


Simbol

Bentuk fisik

Gambar. 15 Induktor inti udara

2. Induktor dengan inti besi

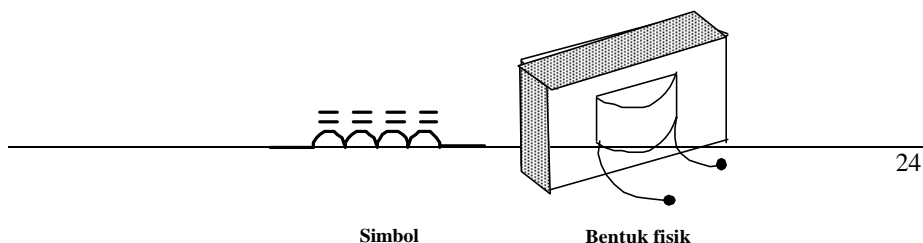


Simbol

Bentuk fisik

Gambar 16. Induktor inti besi

3. Induktor dengan inti ferit

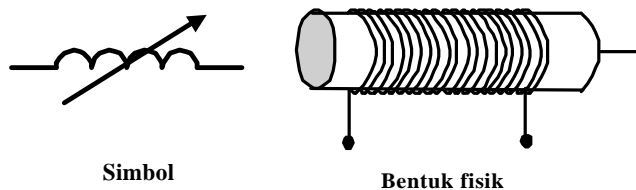


Simbol

Bentuk fisik

Gambar 17. Induktor inti ferit

4. Induktor dengan perubahan inti

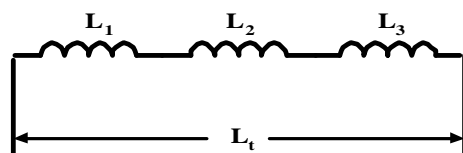


Gambar 18. Induktor Variabel

Induktansi

Oleh karena arus bolak-balik yang mengalir melalui kumparan itu selalu berubah-ubah maka garis-garis gaya magnet yang terjadi pada kumparan itu akan berubah-ubah pula sehingga terjadilah *induksi sendiri* berupa tegangan dan arahnya berlawanan dengan arus yang diberikan. Besar kecilnya efisiensi induksi disebut induktansi. Hubungan Induktor terdiri dari

1. Hubungan seri



Gambar 20. Induktor dihubung seri

Jumlah reaktansinya adalah jumlah reaktansi induktif yang dihubungkan seri tersebut.

Untuk induktor yang dihubung secara seri persamannya adalah :

$$X_{L_{Total}} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} \text{ dimana : } X_L = \omega L = 2\pi fL \quad \omega = 2\pi f$$

Dimana :

$X_{L_{Total}}$ = Jumlah Reaktansi induktif.

$$L_{Total} = L_1 + L_2 + L_3$$

L_{Total} = Jumlah (total) Induktansi

Contoh :

Jika $L_1 = 10 \text{ mH}$

$L_2 = 5 \text{ mH}$

$L_3 = 4 \text{ mH}$ dan frekuensi yang bekerja pada sumber masukan 50 Hz .

Maka,

$$L_{\text{Total}} = 10 \text{ mH} + 5 \text{ mH} + 4 \text{ mH} = 19 \text{ mH}.$$

Sedangkan

$$X_{L_{\text{Total}}} = 2\pi fL_1 + 2\pi fL_2 + 2\pi fL_3$$

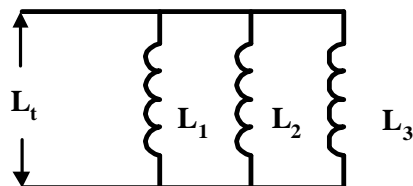
$$X_{L_{\text{Total}}} = 2\pi \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-2} + 2\pi \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 2\pi \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$$

$$X_{L_{\text{Total}}} = 3,14 \cdot 1,57 + 1,256 + = 5,966 \text{ ohm}$$

Jadi reaktansi induktifnya = $5,966 \text{ ?}$

Comment:

2. Hubungan Paralel



Gambar 21. Induktor dihubung Paralel

Bila semua ujung induktor digabungkan menjadi satu dan ujung lainnya juga digabungkan kemudian setiap ujung gabungan tadi dihubungkan dengan sumber tegangan yang mempunyai frekuensi.

Jumlah total induktor tersebut dapat dihitung dengan :

$$\frac{1}{L_{\text{Total}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Jumlah total reaktansi induktifnya ialah :

$$L_{\text{Total}} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Jumlah total reaktansi induktifnya adalah :

$$\frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \dots + \frac{1}{X_{Ln}}$$

Latihan 4

1. Lima buah induktor yang masing-masing besarnya 3 mH, 5 mH, 10 mH, 6 mH dan 2 mH dihubungkan seri. Hitunglah induktansi total dan reaktansi induktif kelima induktor tersebut bila frekuensi arus bolak-balik sebesar 50 Hz.
2. Empat buah induktor yang masing-masing besarnya adalah 2 mH, 4 mH, 6 mH, 8 mH dihubungkan paralel. Hitunglah induktansi dan reaktansi dari rangkaian induktor tersebut, bila frekuensi arus bolak-balik sebesar 50 Hz.

d. Tugas 4

Dua induktor dihubungkan seri yang masing-masing nilainya $L_1 = 15 \text{ mH}$; $L_2 = 20 \text{ mH}$. Kedua induktor tersebut kemudian dihubungkan secara paralel dengan dua induktor yaitu $L_3 = 6 \text{ mH}$ dan $L_4 = 14 \text{ mH}$ yang dirangkai secara seri. Hitung induktansi total dari rangkaian induktor diagram atas !

e. Tes formatif 4

Contoh :

Tiga buah induktor yang masing-masing besarnya 1 mH, 8 mH dan 5 mH dihubungkan paralel. Hitunglah nilai induktor dan reaktansi induktif ketiga induktor tersebut bila frekuensi arus bolak-balik yang digunakan sebesar 50 Hz.

f. Kunci jawaban tes formatif 4

Diketahui : $L_1 = 10 \text{ mH}$

$$L_2 = 8 \text{ mH}$$

$$L_3 = 5 \text{ mH}$$

Ditanya : L_{Total} dan $X_{L\text{Total}}$!

Jawab :

$$\frac{1}{L_{\text{Total}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_{\text{Total}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{8} + \frac{1}{5}$$

$$L_{\text{Total}} = \frac{40}{17} = 2,35 \text{ mH}$$

$$X_{L1} = 2\pi fL_1 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 10^{-2} = 3,14 \text{ ?}$$

$$X_{L2} = 2\pi fL_2 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 8 \cdot 10^{-3} = 2,512 \text{ ?}$$

$$X_{L3} = 2\pi fL_3 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 5 \cdot 10^{-3} = 1,57 \text{ ?}$$

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{3,14} + \frac{1}{2,512} + \frac{1}{1,57}$$

$$X_{L\text{Total}} = 1,3538 \text{ ohm}$$

Jadi $X_{L\text{Total}} = 1,3538 \text{ ?}$

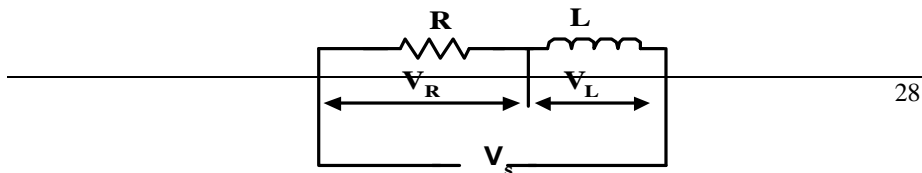
1.5 HUBUNGAN R L C

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 5

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

1. Menyebutkan jenis rangkaian R L C
2. Menghitung rangkaian R L C

b. Uraian Materi



R diseri dengan L

Gambar 22. Hubungan R dan L yang diseri

Dalam hubungan R dan L yang diseri tegangan (V) terbagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Tegangan E_R , Besarnya tegangan $V_R = IR$
- b. Tegangan V_L , Besarnya $V_L = I \cdot X_L$ yang 90° mendahului I

Dalam rangkaian R dan L yang diseri hanya ada satu arus (I)

Menurut hukum Ohm :

$$V = I.R$$

Sehingga apabila kita terapkan pada rangkaian ini maka ;

$$V = V_R + V_L$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

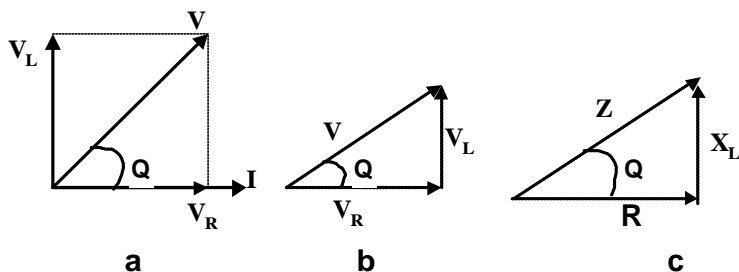
$$V = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} \quad \text{-----} \quad X_L = 2\pi fL$$

$$V = I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Jadi :

$$V = I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{atau} \quad V = I.Z$$

$\sqrt{R^2 + X_L^2}$ = dinamakan impedansi dan diberi simbol Z.



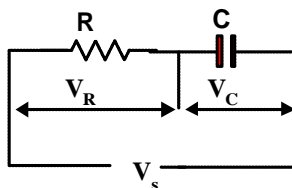
Gambar 23. a dan b Vektor tegangan , 23 c. Vektor diagram resitor

Jika vektor diagram tegangan masing-masing dibagi 1 maka terjadilah vektor impedansi yang persamaannya menjadi :

$$\cos Q = \frac{V_R}{V} \text{ atau } \frac{R}{Z}$$

$$\text{tg } Q = \frac{X_L}{R}$$

R diseri dengan C



Gambar 24. Resistor diseri dengan Kapasitor

Dalam hal ini tegangan V dibagi 2 bagian, yaitu :

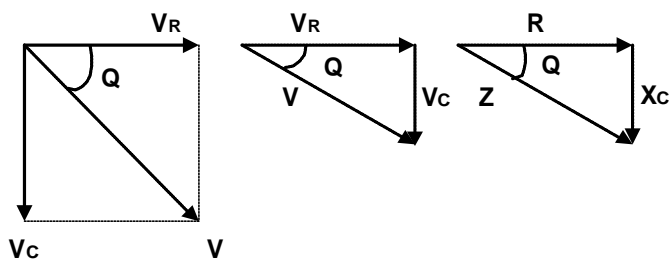
1. Tegangan pada resistor (V_R)
2. Tegangan pada kapasitor (V_C) dimana V_C mengikuti I sebesar 90°

Untuk mendapatkan besar (V) digunakan persamaan :

$$V = V_R + V_C$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

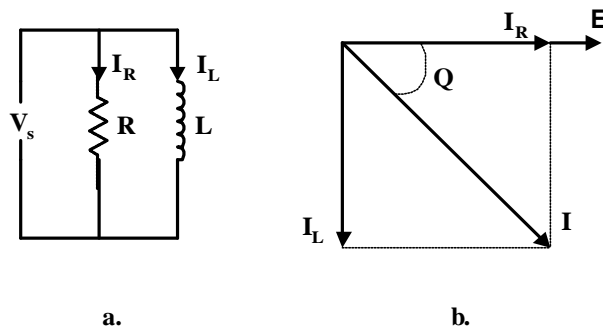
$$V = I \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



Gambar 25. Vektor diagram Tegangan dan Vektor diagram Resistor

$$\cos Q = \frac{V}{R} \quad ; \quad \operatorname{tg} Q = \frac{X_C}{R} \quad ; \quad \cos Q = \text{faktor kerja}$$

R diparalel dengan L



Gambar 26a dan b. Hubungan R- L Paralel dan Vektor diagram arusnya

I_R sephas dengan V

I_L mengikuti Besarnya arus tiap-tiap cabang dapat dihitung :

$$I_R = \frac{V}{R} \quad \text{dan} \quad I_L = \frac{V}{X_L} \quad \text{-----} \quad I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

Sedangkan ----- $R = X_L$

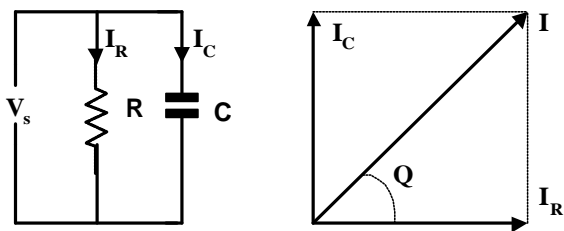
Secara vektoris ----- $I = I_R + I_L$

$$\operatorname{tg} Q = \frac{I_L}{I_R} \quad \text{atau} \quad \cos Q = \frac{I_R}{I} \quad \text{dan} \quad Z = \frac{V}{I}$$

Besarnya arus tiap cabang

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

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$



R diparalel dengan C

a.

b.

Gambar 27a dan b. Hubungan R - C paralel dan Vektor diagram arusnya

Dalam hal ini :

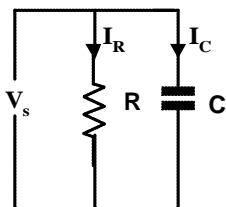
I_R sefase dengan V

I_C mendahului V sebesar 90°

$$I_{\text{Total}} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$\text{tg } Q = \frac{I_C}{I_R} \quad \text{dan} \quad \cos Q = \frac{I_R}{I}$$

Contoh :



Berdasarkan gambar di atas apabila nilai $R = 8 \, \Omega$; dan $X_C = 6 \, \Omega$. Hitung besar impedansi (Z) bila diketahui tegangan sumber (V_s) = 220 volt dan frekuensinya (f) = 50 Hz !

Penyelesaian :

Diketahui : $R = 8 \text{ } \Omega$; $X_c = 6 \text{ } \Omega$

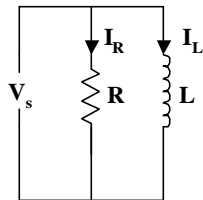
$V = 220 \text{ volt}$; $f = 50 \text{ Hz}$

Ditanya : $Z = ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X_c^2} \\ &= \sqrt{8^2 + 6^2} \\ &= \sqrt{64 + 36} \\ &= \sqrt{100} \\ &= 10 \end{aligned}$$

2. Sesuai dengan gambar di bawah jika diketahui $R = 10 \text{ } \Omega$; $L = 31,8 \text{ mH}$ dihubungkan dengan tegangan (V) = 200 volt dan $f = 50 \text{ Hz}$.



- Hitunglah :
- Arus tiap cabang (I_R dan I_L)
 - Arus total (I_{Total})
 - Impedansi. (Z)

Penyelesaian :

Diketahui : $R = 10\ \Omega$; $L = 31,8\ \text{mH}$; $V = 200\ \text{volt}$ dan $f = 50\ \text{Hz}$.

Ditanya : a. Arus cabang (I_R dan I_L) ?

b. Arus total (I_{Total}) ?

a. Impedansi (Z) ?

Jawab :

a. $X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0318 = 10\ \Omega$?

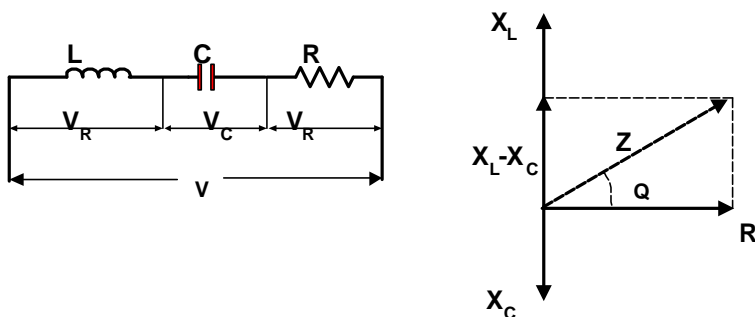
$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{10} = 20\ \text{A.}$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{200}{10} = 20\ \text{A}$$

b. $I_{\text{Total}} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$
 $= \sqrt{20^2 + 20^2}$
 $= 20\ \text{A.}$

c. $Z = \frac{V}{I_{\text{Total}}} = \frac{200}{20} = 10\ \Omega$.

Hubungan resistansi, induktansi dan kapasitansi (R, L dan C) disarikan.



Gambar 28. Rangkaian R L C seri

Pada rangkaian ini tegangan sumber terbagi menjadi tiga bagian yaitu :

- a. V_R sephasa dengan I
- b. V_L mendahului 90° dengan I
- c. V_C mengikuti 90° dengan I

Jadi harga mutlak untuk nilai tegangannya adalah :

$$V = V_R + V_L + V_C$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2 + V_C^2}$$

$$V = I \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2}$$

$$I = \frac{V}{Z}; \quad \cos Q = \frac{R}{Z}$$

Contoh :

1. Sebuah resistor murni $10 \, \Omega$ dihubung seri dengan kapasitor $300 \, \mu\text{F}$ dan induktor $0,05 \, \text{H}$, besarnya tegangan sumber $100 \, \text{volt}$ dengan frekuensi $50 \, \text{Hz}$.

Hitunglah :

- a. Impedansi dan arus
- b. Pergeseran fasa ($\cos Q$)
- c. Tegangan bagian (V_R , V_L dan V_C)
- d. Gambar diagram vektor

Penyelesaian :

- a. $X_L = 2\pi fL$

$$2 \times 3,14 \times 50 \times 0,05$$

$$15,7 ?$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 30 \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{94200} = 10,62 ?$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2} = \sqrt{10^2 + 15,7^2 + 10,62^2} = \sqrt{100 + 25,08} \\ = \sqrt{125,064} = 11,22 ?$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100V}{11,22?} = 8,91 \text{ Ampere}$$

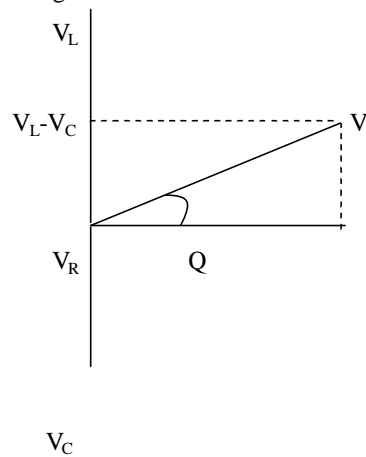
$$b. \cos Q = \frac{R}{Z} = 0,89$$

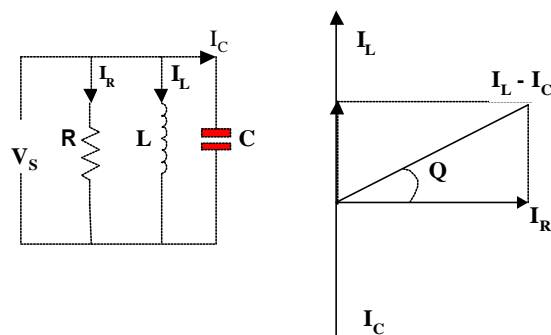
$$c. V_R = I \cdot R = 8,91 \times 10 = 89,1V$$

$$V_L = I \cdot X_L = 8,91 \times 15,7 = 139,89V$$

$$V_C = I \cdot X_C = 8,91 \times 10,62 = 94,62 V$$

d. Gambar diagram vektor





6. Hubungan R, L dan C diparalelkan

Gambar 28. Rangkaian R L C paralel

Besarnya arus tiap cabang dapat dihitung dengan

$$I_R = \frac{V}{R} \quad I_{\text{Total}} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2 + I_C^2}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} \quad \text{tg } Q = \frac{I_L - I_C}{I_R}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} \quad Z = \frac{V}{I}$$

Contoh :

Jika $R = 10 \, \Omega$ dan reaktansi induktif $X_L = 8 \, \Omega$ dan reaktansi kapasitif $X_C = 15 \, \Omega$

Diparalelkan dan dihubungkan dengan tegangan 240 V, 50 Hz.

Hitung:

- Arus tiap cabang
- I total
- Pergeseran phasa
- Impedansi

Penyelesaian:

$$\text{a. } I_R = \frac{V}{R} = \frac{240V}{10\Omega} = 24 \text{ A}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{240V}{8\Omega} = 30 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240V}{15\Omega} = 15 \text{ A}$$

$$b. I_{\text{Total}} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2 + I_C^2} = \sqrt{24^2 + 30^2 + 16^2} = \sqrt{576 + 900 + 256} = 27,78 \text{ Ampere}$$

$$c. \text{tg } Q = \frac{I_L + I_C}{I_R} = \frac{14}{24} = 0,58$$

$$\text{sudut } (Q) = 30,25^\circ$$

$$d. \text{ Impedansi } Z = \frac{V}{I} = \frac{240V}{27,78A} = 8,63 \Omega$$

Latihan 6

1. Sebuah resistor murni 20Ω diseri dengan kapasitor $100 \mu\text{F}$, dihubungkan dengan sumber tegangan 100 volt , 50 Hz .

Hitunglah : impedansi (Z), dan arusnya (I)

2. Sebuah resistor murni 10Ω diparalel dengan induktor $0,05 \text{ H}$, dihubungkan dengan sumber tegangan 100 volt , 50 Hz .

Hitunglah : impedansi (Z) dan arus total yang mengalir (I)

3. Sebuah resistor murni 25Ω diseri dengan kapasitor $100 \mu\text{F}$ diseri dengan induktor $0,02 \text{ H}$, sumber tegangan 50 volt , 50 Hz .

Hitunglah : impedansi (Z), arus total (I) dan tegangan pada (V_R, V_C, V_L)

d. Tugas 5

Sebuah resistor murni 10Ω dihubung paralel dengan kapasitor $10 \mu\text{F}$ dan induktor $0,02 \text{ H}$, dengan sumber tegangan 10 volt , 50 Hz .

Hitunglah : impedansi (Z), dan arus tiap-tiap cabang (I_R, I_L, I_C)

e. Tes formatif 5

Jika $R = 10 \Omega$ dan reaktansi induktif $X_L = 8 \Omega$ dan reaktansi kapasitif $X_C = 15 \Omega$
 Diparalelkan dan dihubungkan dengan tegangan 240 V, 50 Hz.

Hitung:

- a. Arus tiap cabang
- b. I total
- c. Pergeseran fasa
- d. Impedansi

f. Kunci jawaban tes formatif 5

a. $I_R = \frac{V}{R} = \frac{240V}{10\Omega} = 24 \text{ A}$

$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{240V}{8\Omega} = 30 \text{ A}$

$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240V}{15\Omega} = 15 \text{ A}$

c. $I_{\text{Total}} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2 + I_C^2} = \sqrt{24^2 + 30^2 + 15^2} = \sqrt{576 + 900 + 225} = \sqrt{1701} = 41,25 \text{ Ampere}$

c. $\text{tg } Q = \frac{I_L + I_C}{I_R} = \frac{14 + 16}{24} = 1,17$

sudut (Q) = $30,25^\circ$

d. Impedansi $Z = \frac{V}{I} = \frac{240V}{27,78A} = 8,63 \Omega$

EVALUASI

1. Hitunglah nilai resistansi dalam tabel apabila diketahui cincin warna di bawah:

Cincin 1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
Coklat	Hitam	Jingga	Emas	
Merah	Ungu	Coklat	Perak	

Jingga	Jingga	Hitam	Emas	
Jingga	Putih	Jingga	Emas	
Kuning	Ungu	Emas	Emas	
Hijau	Biru	Merah	Perak	
Biru	Abu abu	Hijau	Emas	

2. Diketahui $R_1 = R_2 = R_3 = 100\ \Omega$; dihubungkan secara paralel kemudian dirangkai dengan R_4 dan R_5 secara seri, dimana besar $R_4 = 560\ \Omega$ dan $R_5 = 1\ k\Omega$. Hitung nilai Resistor totalnya !
3. Diketahui koefisien suhu suatu tembaga 0,004, bila besarnya tahanan awal tembaga tersebut $20\ \Omega$ dengan suhu awal $20\ ^\circ C$ dan suhu akhirnya $35\ ^\circ C$. Hitunglah besarnya tahanan akhir dari resistansi tembaga tersebut pada suhu $35\ ^\circ C$
4. Tiga buah induktor yang masing-masing besarnya 12 mH, 6 mH dan 8 mH dihubungkan paralel. Hitunglah nilai induktor dan reaktansi induktif ketiga induktor tersebut bila frekuensi arus bolak-balik sebesar 50 Hz ?
5. Jelaskan maksud tulisan $12\ \Omega / 20\ W$ pada resistor dan dimanakah penggunaan pada rangkaian yang kamu ketahui ?
6. Apa maksud angka yang tertulis pada bodi/badan kapasitor keramik dibawah ini:
 - a. 473
 - b. 333
 - c. 0.47
 - d. 560
7. Apa maksud angka yang tertulis pada kapasitor elektrolit dibawah ini :
 - a. $4700\ \mu F / 45\ V$
 - b. $220\ \mu F / 16\ V$
 - c. $100\ \mu F / 25\ V$
 - d. $2,2\ \mu F / 16\ V$
8. Bagaimanakah sifat induktor yang dialiri tegangan yang mempunyai frekuensi tinggi dan sifat induktor yang dialiri tegangan searah (dc) ?
9. Sebutkan macam-macam kapasitor ditinjau dari bahan dielektrumnya !
10. Apa yang dimaksud dengan :

- a. Gaya Bio-Savart
- b. Gaya Lorentz

KUNCI JAWABAN

Latihan 1

- 1. $A = 6 \text{ mm}^2$
- 2. $R_t = 0,96 ?$
- 3. $R_t = 1 ?$

Latihan 2

- 1.
 - a. Resistor metal film
 - b. Resistor nikelin
 - c. Resistor karbon
- 2.
 - a. NTC
 - b. PTC
 - d. Potensiometer

 - c. Resistor variabel
 - d. Resistor tetap
 - e. LDR
- 3. $R_{\text{Total}} = 50 ?$
- 4. $R_{\text{Total}} = 2023 ?$
- 5.
 - a. $220 ?$
 - b. $10 ?$
 - c. 470 k?
 - d. 680 k?
 - e. $8\text{K}2 ?$
 - f. 39 k?

Latihan 3

- $104 = 100 \text{ nF}$
 - $473 = 47 \text{ nF}$
 - $203 = 20 \text{ nF}$
 - $102 = 1 \text{ nF}$
 - $223 = 22 \text{ nF}$
- Nilai capasitor = 47 nF
Tegangan kerja maksimum = 630 volt
- Nilai capasitor = 120 nF
Tegangan kerja maksimum = 400 volt
- $C_t = 399 \text{ ?F}$
- $C_t = 10 \text{ ?F}$

Latihan 4

- $L_{\text{Total}} = 26 \text{ mH}; X_{L_{\text{total}}} = 8,164 \text{ ?}$
- $L_{\text{Total}} = 0,96 \text{ mH}; X_{L_{\text{total}}} = 0,29 \text{ ?}$
- $L_{\text{Total}} = 12,73 \text{ mH}$

Latihan 5

- Macam bentuk magnet : magnet batang, magnet ladam (U) dan magnet jarum
- Kaidah tangan kanan Ampere
Kalau suatu kompas ditempatkan diatas telapak tangan yang kemudian terdapat arus listrik (I) dari pergelangan menuju ke ujung jari maka ujung kutub utara kompas akan menyimpang serarah dengan ibu jari.

2. Suatu ruang bila ditempatkan magnet dan magnet tersebut mempunyai pengaruh terhadap benda lain yang berada di sekitar/diagram dalam ruangan tersebut, maka pada ruangan tersebut terjadi medan magnet
3. Gaya Bio-Savart adalah gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik.
4. Kaidah tangan kiri lorentz :
 “ Jika suatu arus berada diantara suatu kutub utara magnet dan tapak tangan kiri sedangkan arus listrik seakan-akan berjalan dari pergelangan ke jari-jari tangan, maka arah gaya Lorentz ini mengarah ke ibu jari tangan kiri”.

Latihan 6

1. a. $Z = 37,59\ \Omega$,
 b. $I = 1,33\ A$
2. a. $Z = 18,62\ \Omega$,
 b. $I = 0,889\ A$
3. a. $X_L = 6,28\ \Omega$, $X_C = 31,83\ \Omega$, $Z = 25,55\ \Omega$
 b. $I = 1,4\ A$
 c. $V_R = 35\ V$, $V_L = 8,79\ V$, $V_C = 44,52\ V$
4. a. $X_L = 6,28\ \Omega$, $X_C = 318,3\ \Omega$, $Z = 312,8\ \Omega$
 b. $I_R = 1\ A$, $I_C = 0,031\ A$, $I_L = 0,147\ A$

Evaluasi

1. Nilai resistansi dalam tabel di bawah ini adalah :

Cincin 1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
Coklat	Hitam	Jingga	Emas	10 k Ω \pm 5 %
Merah	Ungu	Coklat	Perak	270 Ω \pm 10 %
Jingga	Jingga	Hitam	Emas	33 Ω \pm 5 %
Jingga	Putih	Jingga	Emas	39 k Ω \pm 5 %

Kuning	Ungu	Emas	Emas	4,7 ? ? 5 %
Hijau	Biru	Merah	Perak	5K6 ? ? 10 %
Biru	Abu abu	Hijau	Emas	6,8 M? ? 5 %

2. $R_t = 1593,33 \text{ ?} = 1,593 \text{ k?}$
3. $R_t = 21,2 \text{ ?}$
4.
 - a. $L_{\text{Total}} = 26 \text{ mH}$
 - b. $X_{L\text{Total}} = 8164 \text{ ?} = 8,1 \text{ k?}$
5. Arti $12 \text{ ?} / 20 \text{ W}$ adalah resistor tersebut mempunyai nilai resistansi 12 ? dan kemampuan daya 20 Watt .
6. Maksud angka
 - a. 473 pada badan kondensator keramik adalah nilai kapasitansi pada kapasitor tersebut adalah $47 \times 10^3 \text{ pF} = 47.000 \text{ pF} = 47 \text{ nF}$.
 - b. 333 = 33 nF
 - c. . 47 = 0.47 ?F
 - d. 560 = 560 pF
7. Maksud angka :
 - a. 4700 ?F/45 V adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah 4700 ?F dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah 45 V.
 - b. 220 ?F/16 V adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah 220 ?F dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah 16 V.
 - c. 100 ?F/25 V adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah 100 ?F dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah 25 V.
 - d. 2,2 ?F/16 V adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah 2,2 ?F dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah 16 V.
8. Induktor yang dialiri tegangan bolah-balik dengan frekuensi tinggi bersifat menjadi hambatan yang nilainya besar, sedang bila dialiri tegangan DC maka hambatannya menjadi 0.
9. Macam kapasitor ditinjau dari bahan dielektrikumnya
 - a. Kapasitor keramik bahan dielektrikumnya keramik

- b. Kapasitor mika bahan dielektrikumnya mika
 - c. Kapasitor kertas bahan dielektrikumnya kertas
 - d. Kapasitor film bahan dielektrikumnya film
 - e. Kapasitor tantalum bahan dielektrikumnya tantalum
 - f. Kapasitor elektrolit bahan dielektrikumnya elektrolit
10. Gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik di sebut ***gaya Bio-Savart***. Sebaliknya suatu kawat berarus listrik ditempatkan di dalam medan magnet, ternyata kawat berarus itu ada kemungkinan dipengaruhi gaya yang di sebut ***gaya Lorenz***. Jadi gaya Lorenz ini merupakan reaksi gaya Bio-Savart.

KEGIATAN BELAJAR 2

DASAR-DASAR ELEKTROMAGNETIK , ELEKTROMEKANIK DAN INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

1. Kegiatan Belajar 2

1.1 DASAR-DASAR ELEKTROMAGNETIK

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 2

Setelah selesai pelajaran, siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian elektromagnetik
2. Menjelaskan pengertian elektromerkanik

b. Uraian materi 2

Medan magnet berperan sangat penting sebagai rangkaian proses konversi energi. Melalui medium medan magnet, bentuk energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik, alat konversinya disebut **generator**. Sebaliknya dari bentuk energi listrik menjadi energi mekanik, alat konversinya disebut **motor**.

Pada transformator, gandengan medan magnet berfungsi untuk memindahkan dan mengubah energi listrik dari rangkaian primer ke sekunder melalui prinsip induksi elektromagnetik.

Dari sisi pandangan elektris, medan magnet mampu untuk mengimbaskan tegangan pada konduktor, sedangkan dari sisi pandangan mekanis, medan magnet sanggup untuk menghasilkan **gaya dan kopel**.

Keutamaan medan magnet sebagai perangkai proses konversi energi disebabkan terjadinya bahan-bahan magnetik yang memungkinkan diperolehnya kerapatan energi tinggi, kerapatan energi tinggi ini akan menghasilkan kapasitas tenaga per unit volume mesin yang tinggi pula. Jelaslah bahwa pengertian kuantitatif tentang

medan magnet dan rangkaian magnet merupakan bagian penting untuk memahami proses konversi energi.

Medan magnet dan medan listrik

Medan magnet terbentuk dari gerak elektron. Memngingat arus listrik yang melalui suatu hantaran merupakan aliran elektron, maka pada sekitar kawat hantaran listrik tersebut akan ditimbulkan suatu medan magnet. Medan magnet memiliki arah, kerapatan dan intensitas yang digambarkan sebagai garis-garis fluks.

Φ (Fluks) dalam besaran weber.

Besaran kerapatan medan magnet dinyatakan dengan banyaknya garis-garis fluks yang menembus suatu bidang tertentu.

B (Kerapatan fluks) dalam weber/m²

Intensitas medan magnet disebut sebagai kuat medan dan dinyatakan dengan besarnya fluks sepanjang jarak tertentu.

H (Kuat medan) dalam ampere / m

Kerapatan medan B maupun kuat medan H merupakan besaran vektoris yang mempunyai besaran dan arah, dan besarnya adalah :

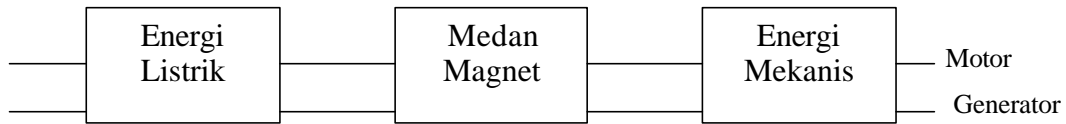
$$B = \mu H$$

Dimana μ adalah permeabilitas dalam henry / meter (H / M)

1.2 DASAR ELEKTROMEKANIK

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari satu sistem ke sistem lainnya, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk

kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi



Gambar 29
Mesin listrik (Generator / Motor)

Dengan mengingat hukum kekekalan energi, proses konversi energi elektromekanik dalam hal ini sebagai aksi motor dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & \textit{Energi listrik sebagai input} = \textit{Energi mekanik sebagai output} \\ & \quad + \textit{Energi yang diubah menjadi panas} \\ & \quad + \textit{Energi tersimpan pada medan magnet} \end{aligned}$$

1.2.1 GAYA GERAK LISTRIK

Apabila sebuah konduktor digerakkan tegak lurus sejauh ds memotong suatu medan magnet dengan kerapatan fluks B , maka perubahan fluks pada konduktor dengan panjang efektif l ialah :

$$d\phi = B l ds$$

Dari hukum Faraday diketahui bahwa gaya gerak listrik (ggl) :

$$E = d\phi / dt$$

$$\text{Maka } e = B / ds/dt \text{ dan } ds/dt = v = \text{kecepatan}$$

$$\text{Jadi } e = B / v$$

Arah dari gerak listrik ini ditentukan oleh aturan tangan kanan, dengan jempol – telunjuk dan jari tengah yang saling tegak lurus menunjukkan masing-masing arah v , B dan e . Bila konduktor tersebut dihubungkan dengan beban seperti misalnya suatu tahanan, maka pada konduktor tersebut mengalir arus yang menjauhi kita dan digambarkan dengan simbol ujung depan anak panah (\times). Sedangkan arus yang mendekati kita digambarkan dengan simbol ujung depan anak panah (\cdot).

Persamaan $e = B /v$ dapat diartikan bahwa apabila dalam medium medan magnet diberikan energi mekanik (untuk menghasilkan kecepatan v), maka akan dibangkitkan energi listrik (e) dan ini merupakan prinsip dasar sebuah generator.

1.3 INDUKSI ELEKTRO MAGNETIK

a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah selesai mengikuti pelajaran, siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian medan magnet
2. Menjelaskan terjadinya polaritas magnet dalam gulungan
3. Menjelaskan kaidah-kaidah yang berkenaan dengan induktor

b. Uraian Materi

Magnet adalah suatu benda yang dapat menarik benda lain yang terbuat dari besi, baja, nikel, kobalt, ataupun campuran dari logam-logam tersebut. Pada umumnya magnet terbuat dari besi, baja atau campuran logam lain dengan besi atau baja. Magnet selalu mempunyai dua kutub *yakni Kutub Utara dan Kutub Selatan*.

Magnet mempunyai bermacam-macam bentuk tetapi yang sering dijumpai adalah bentuk magnet batang, magnet U (ladam), magnet jarum dan lain sebagainya. Kalau magnet dapat berputar bebas maka magnet akan selalu menunjuk arah utara dan selatan , kutub magnet utara menunjuk arah utara geografis dan kutub selatan menunjuk arah selatan geografis. *Kutub yang tak sejenis tarik-menarik dan kutub yang sejenis tolak-menolak*. Gaya tarik

menarik atau tolak menolak pada magnet dinamakan *Gaya Magnet*. Suatu ruang bila ditempatkan magnet dan magnet tersebut mempunyai pengaruh terhadap benda lain yang berada disekitar ruangan tersebut, maka pada ruangan tersebut terdapat *medan magnet*.

Menurut percobaan Oersted tentang medan magnet oleh arus listrik bahwa magnet yang berada dekat dengan suatu penghantar yang dialiri arus listrik akan merubah kedudukannya.

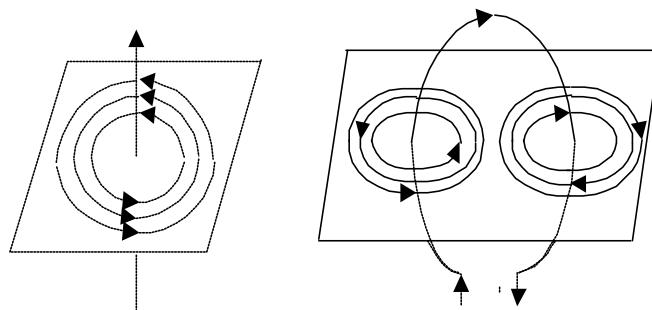
1. Kaidah tangan kanan Ampere

Kalau suatu kompas ditempatkan diatas telapak tangan yang kemudian terdapat arus listrik (I) dari pergelangan menuju ke ujung jari maka ujung kutub utara kompas akan menyimpang serarah dengan ibu jari.

2. Kaidah Kotrex Maxwell

Jika arah arus listrik menunjukkan arah maju kotrek, maka arah garis gaya magnet yang ditimbulkan menunjukkan arah putar kotrek

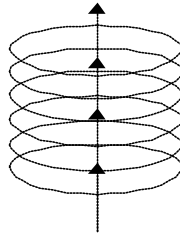
Jika arah arus menunjukkan arah putar kotrek, maka arah garis gaya magnet yang ditimbulkan menunjukkan arah maju kotrek.



Gambar 30
Kaidah kotrex maxwell

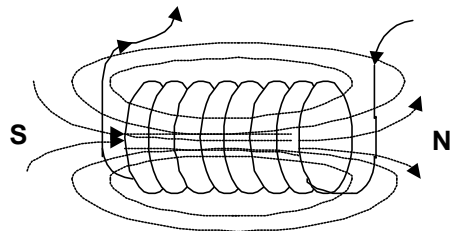
Kaidah Maxwell dapat pula ditentukan dengan kaidah tangan kanan yaitu sebagai berikut :

“ Arah ibu jari menggambarkan arah arus listrik.dan arah lipatan keempat jari lainnya menunjukkan arah putaran gaya magnet”



Gambar 31
Kaidah tangan kanan kotrex Maxwell

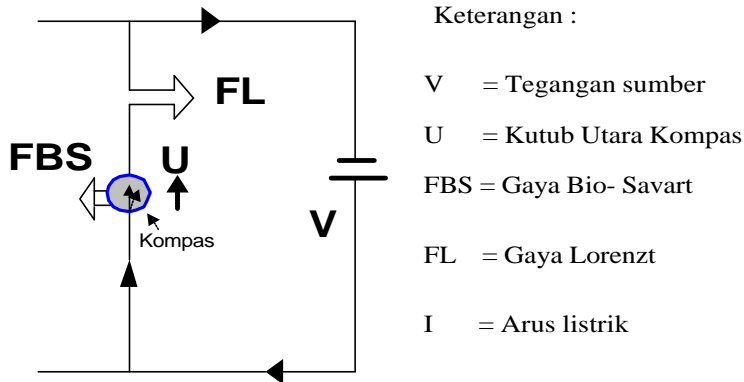
Jika kaidah koterk Maxwell yang dinyatakan pada gambar 12. dengan jumlah kawat beraraskan banyak sekali dikenal dengan selenoida akan terjadi elektromagnet, sebab memiliki sifat-sifat magnet yaitu salah satu ujungnya menyerap garis gaya magnet yang berfungsi sebagai kutub selatan (S) sedang kutub ujung lainnya memancarkan garis gaya yang berfungsi sebagai kutub utara (U).



Medan magnet yang dihasilkan selenoide

Gambar 32.
Garis gaya maget

Gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik di sebut ***gaya Bio-Savart***. Sebaliknya suatu kawat berarus listrik ditempatkan di dalam medan magnet, ternyata kawat berarus itu ada kemungkinan dipengaruhi gaya yang di sebut ***gaya Lorenzt***. Jadi gaya Lorenz ini merupakan reaksi gaya Bio-Savart.



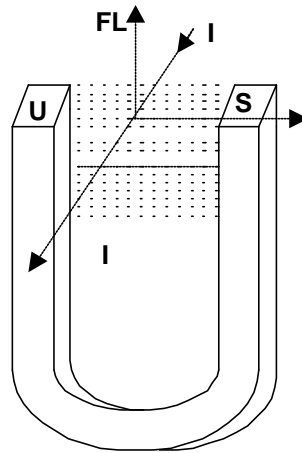
Gambar 33.
Reaksi gaya Bio-Savart

Jika kawat AB dipatrikan pada titik A dan B dan kutub magnet utara (U) diberi kebebasan bergerak maka jika kawat AB berarus seperti pada gambar kutub utara (U) yang berada di bawah kawat AB akan bergerak ke kiri karena pengaruh gaya Bio-Savart. Atau sebaliknya. Jadi gaya Lorentz adalah gaya yang timbul pada suatu arus listrik yang berada pada suatu medan magnet. Arah gaya Lorentz ditentukan dengan kaidah tangan kiri sebagai berikut :

“ Jika suatu arus berada diantara suatu kutub utara magnet dan tapak tangan kiri sedangkan arus listrik seakan-akan berjalan dari pergelangan ke jari-jari tangan, maka arah gaya Lorentz ini mengarah ke ibu jari tangan kiri”.

Arah gaya lorenz dapat juga ditentukan dengan tiga jari tangan kiri (ibu jari , telunjuk dan jari tengah yang dibentangkan saling tegak lurs satu sama lain.

- Arah gaya lorenzt ditunjukkan oleh ibu jari
- Arah medan magnet ditunjukkan oleh jari telunjuk
- Arah arus listrik ditunjukkan oleh jari tengah.



Gambar 34.
Arah Gaya Lorentz

Latihan 5

1. Sebutkan 3 macam bentuk magnet yang kamu ketahui !
2. Jelaskan kaidah tangan kanan Ampere !
3. Jelaskan yang dimaksud dengan medan magnet !
4. Apa yang dimaksud dengan gaya Bio-savart ?
5. Jelaskan kaidah tangan kiri Lorentz !

EVALUASI

1. Hitunglah nilai resistansi dalam tabel apabila diketahui cincin warna di bawah:

Cincin 1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
Coklat	Hitam	Jingga	Emas	
Merah	Ungu	Coklat	Perak	
Jingga	Jingga	Hitam	Emas	
Jingga	Putih	Jingga	Emas	
Kuning	Ungu	Emas	Emas	
Hijau	Biru	Merah	Perak	
Biru	Abu abu	Hijau	Emas	

2. Diketahui $R_1 = R_2 = R_3 = 100\ \Omega$; dihubungkan secara paralel kemudian dirangkai dengan R_4 dan R_5 secara seri, dimana besar $R_4 = 560\ \Omega$ dan $R_5 = 1\ k\Omega$. Hitung nilai Resistor totalnya !
3. Diketahui koefisien suhu suatu tembaga $0,004$, bila besarnya tahanan awal tembaga tersebut $20\ \Omega$ dengan suhu awal $20\ ^\circ C$ dan suhu akhirnya $35\ ^\circ C$. Hitunglah besarnya tahanan akhir dari resistansi tembaga tersebut pada suhu $35\ ^\circ C$
4. Tiga buah induktor yang masing-masing besarnya $12\ mH$, $6\ mH$ dan $8\ mH$ dihubungkan paralel. Hitunglah nilai induktor dan reaktansi induktif ketiga induktor tersebut bila frekuensi arus bolak-balik sebesar $50\ Hz$?
5. Jelaskan maksud tulisan $12\ \Omega / 20\ W$ pada resistor dan dimanakah penggunaan pada rangkaian yang kamu ketahui ?
6. Apa maksud angka yang tertulis pada bodi/badan kapasitor keramik dibawah ini:
- 473
 - 333
 - 0.47
 - 560
7. Apa maksud angka yang tertulis pada kapasitor elektrolit dibawah ini :

- a. 4700 μ F/45 V
 - b. 220 μ F/16 V
 - c. 100 μ F/25 V
 - d. 2,2 μ F/16 V
8. Bagaimanakah sifat induktor yang dialiri tegangan yang mempunyai frekuensi tinggi dan sifat induktor yang dialiri tegangan searah (dc) ?
 9. Sebutkan macam-macam kapasitor ditinjau dari bahan dielektrumnya !
 10. Apa yang dimaksud dengan :
 - a. Gaya Bio-Savart
 - b. Gaya Lorentz

KUNCI JAWABAN

Latihan 1

1. $A = 6 \text{ mm}^2$
2. $R_t = 0,96 \Omega$
1. $R_t = 1 \Omega$

Latihan 2

1.
 - a. Resistor metal film
 - b. Resistor nikelin
 - c. Resistor karbon
2.
 - a. NTC
 - b. PTC
 - a. Potensiometer
 - b. Resistor variabel
 - c. Resistor tetap
 - d. LDR
3. $R_{\text{Total}} = 50 \Omega$
4. $R_{\text{Total}} = 2023 \Omega$
5.
 - a. 220 Ω
 - b. 10 Ω
 - c. 470 k Ω
 - d. 680 k Ω

- e. 8K2 ?
- f. 39 k?

Latihan 3

- 1.a. $104 = 100 \text{ nF}$
 - b. $473 = 47 \text{ nF}$
 - c. $203 = 20 \text{ nF}$
 - d. $102 = 1 \text{ nF}$
 - e. $223 = 22 \text{ nF}$
- 2. Nilai capasitor = 47 nF
Tegangan kerja maksimum = 630 volt
- 3. Nilai capasitor = 120 nF
Tegangan kerja maksimum = 400 volt
- 4. $C_t = 399 \text{ ?F}$
- 5. $C_t = 10 \text{ ?F}$

Latihan 4

- 1. $L_{\text{Total}} = 26 \text{ mH}$; $X_{L_{\text{total}}} = 8,164 \text{ ?}$
- 2. $L_{\text{Total}} = 0,96 \text{ mH}$; $X_{L_{\text{total}}} = 0,29 \text{ ?}$
- 3. $L_{\text{Total}} = 12,73 \text{ mH}$

Latihan 5

- 1. Macam bentuk magnet : magnet batang, magnet ladam (U) dan magnet jarum
- 2. Kaidah tangan kanan Ampere
Kalau suatu kompas ditempatkan diatas telapak tangan yang kemudian terdapat arus listrik (I) dari pergelangan menuju ke ujung jari maka ujung kutub utara kompas akan menyimpang serarah dengan ibu jari.
- 3. Suatu ruang bila ditempatkan magnet dan magnet tersebut mempunyai pengaruh terhadap benda lain yang berada di sekitar/diagram dalam ruangan tersebut, maka pada ruangan tersebut terjadi medan magnet

4. Gaya Bio-Savart adalah gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik.
5. Kaidah tangan kiri lorentz :
“ Jika suatu arus berada diantara suatu kutub utara magnet dan tapak tangan kiri sedangkan arus listrik seakan-akan berjalan dari pergelangan ke jari-jari tangan, maka arah gaya Lorentz ini mengarah ke ibu jari tangan kiri”.

Latihan 6

1. a. $Z = 37,59\ \Omega$,
b. $I = 1,33\ \text{A}$
2. a. $Z = 18,62\ \Omega$,
b. $I = 0,889\ \text{A}$
3. a. $X_L = 6,28\ \Omega$, $X_C = 31,83\ \Omega$, $Z = 25,55\ \Omega$
b. $I = 1,4\ \text{A}$
c. $V_R = 35\ \text{V}$, $V_L = 8,79\ \text{V}$, $V_C = 44,52\ \text{V}$
4. a. $X_L = 6,28\ \Omega$, $X_C = 318,3\ \Omega$, $Z = 312,8\ \Omega$
b. $I_R = 1\ \text{A}$, $I_C = 0,031\ \text{A}$, $I_L = 0,147\ \text{A}$

Evaluasi

1. Nilai resistansi dalam tabel di bawah ini adalah :

Cincin 1	Cincin 2	Cincin 3	Cincin 4	Nilai Resistor
Coklat	Hitam	Jingga	Emas	10 k Ω \pm 5 %
Merah	Ungu	Coklat	Perak	270 Ω \pm 10 %
Jingga	Jingga	Hitam	Emas	33 Ω \pm 5 %
Jingga	Putih	Jingga	Emas	39 k Ω \pm 5 %
Kuning	Ungu	Emas	Emas	4,7 Ω \pm 5 %
Hijau	Biru	Merah	Perak	5K6 Ω \pm 10 %
Biru	Abu abu	Hijau	Emas	6,8 M Ω \pm 5 %

2. $R_t = 1593,33 \, \Omega = 1,593 \, \text{k}\Omega$
3. $R_t = 21,2 \, \Omega$
4.
 - a. $L_{\text{Total}} = 26 \, \text{mH}$
 - b. $X_{L\text{Total}} = 8164 \, \Omega = 8,1 \, \text{k}\Omega$
5. Arti $12 \, \Omega / 20 \, \text{W}$ adalah resistor tersebut mempunyai nilai resistansi $12 \, \Omega$ dan kemampuan daya $20 \, \text{Watt}$.
6. Maksud angka
 - a. 473 pada badan kondensator keramik adalah nilai kapasitansi pada kapasitor tersebut adalah $47 \times 10^3 \, \text{pF} = 47.000 \, \text{pF} = 47 \, \text{nF}$.
 - b. 333 = $33 \, \text{nF}$
 - c. 47 = $0.47 \, \mu\text{F}$
 - d. 560 = $560 \, \text{pF}$
7. Maksud angka :
 - a. $4700 \, \mu\text{F} / 45 \, \text{V}$ adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah $4700 \, \mu\text{F}$ dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah $45 \, \text{V}$.
 - b. $220 \, \mu\text{F} / 16 \, \text{V}$ adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah $220 \, \mu\text{F}$ dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah $16 \, \text{V}$.
 - c. $100 \, \mu\text{F} / 25 \, \text{V}$ adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah $100 \, \mu\text{F}$ dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah $25 \, \text{V}$.
 - d. $2,2 \, \mu\text{F} / 16 \, \text{V}$ adalah bahwa nilai kapasitansi kondensator tersebut adalah $2,2 \, \mu\text{F}$ dan kemampuan tegangan kerja maksimumnya adalah $16 \, \text{V}$.
8. Induktor yang dialiri tegangan bolah-balik dengan frekuensi tinggi bersifat menjadi hambatan yang nilainya besar, sedang bila dialiri tegangan DC maka hambatannya menjadi 0.
9. Macam kapasitor ditinjau dari bahan dielektrikunya
 - a. Kapasitor keramik bahan dielektrikunya keramik
 - b. Kapasitor mika bahan dielektrikunya mika
 - c. Kapasitor kertas bahan dielektrikunya kertas
 - d. Kapasitor film bahan dielektrikunya film
 - e. Kapasitor tantalum bahan dielektrikunya tantalum

- f. Kapasitor elektrolit bahan dielektrikunya elektrolit
10. Gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik di sebut ***gaya Bio-Savart***. Sebaliknya suatu kawat berarus listrik ditempatkan di dalam medan magnet, ternyata kawat berarus itu ada kemungkinan dipengaruhi gaya yang di sebut ***gaya Lorenz***. Jadi gaya Lorenz ini merupakan reaksi gaya Bio-Savart.

1.4. MESIN ARUS SEARAH

Suatu mesin **listrik** (**generator atau motor**) akan berfungsi bila memiliki :

1. **kumparan medan**, untuk menghasilkan medan magnet
2. **kumparan jangkar**, untuk mengimbaskan **ggl** pada konduktor-konduktor yang terletak pada alur-alur jangkar, dan
3. **celah udara**, yang mamungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Pada mesin arus searah, kumparan medan yang berbentuk kutub sepatu merupakan **stator** (**bagian yang tidak berputar**), dan kumparan jangkar merupakan **rotor** (**bagian yang berputar**).

Bila kumparan jangkar berputar dalam medan magnet, akan dibangkitkan tegangan (**ggl**) yang berubah-ubah arah setiap setengah putaran, sehingga merupakan **tegangan bolak-balik**.

$$E = E_{\text{maks}} \sin \omega t$$

Untuk memperoleh tegangan searah diperlukan alat penyearah yang disebut komutator dan sikat.

KEGIATAN BELAJAR 3

DASAR-DASAR KELISTRIKAN DAN MAGNET

Kegiatan belajar ini bertujuan memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan kepada peserta diklat tentang dasar-dasar kelistrikan dan magnet yang sering digunakan pada rangkaian elektronika. .

Anda dapat dinyatakan telah berhasil menyelesaikan modul ini jika anda telah menjejakan seluruh isi dari modul ini termasuk latihan teori dan praktek dengan benar juga telah mengikuti evaluasi berupa test dengan skor minimum adalah 70.

a. Tujuan kegiatan pembelajaran 1

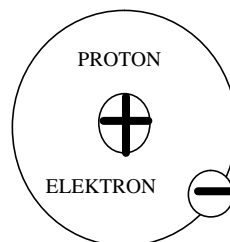
Setelah mempelajari materi ini siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian listrik
2. Menyebutkan bahan-bahan konduktor
3. Menyebutkan bahan-bahan isolator
4. Menyebutkan jenis, bentuk dan sifat magnet
5. Menjelaskan elektromagnet, self induction dan mutual induction

b. Uraian materi 1

A. Listrik

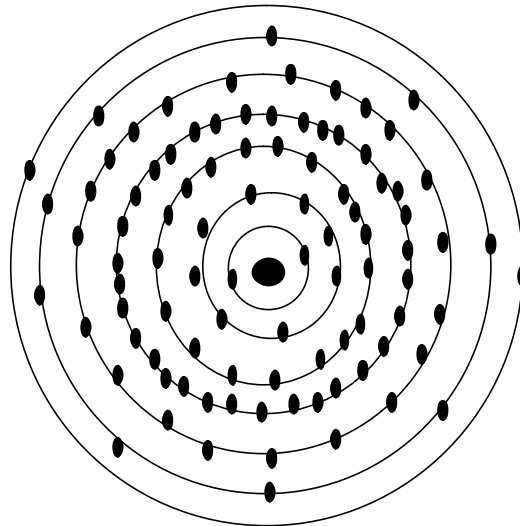
Listrik adalah aliran elektron-elektron dari atom ke atom pada sebuah penghantar. Untuk memahami dan mengerti tentang listrik, mari kita sama-sam melihat pada bagian yang terkecil dari benda yaitu atom. Semua atom memiliki partikel yang disebut elektron terletak pada orbitnya mengelilingi proton.



Gambar 35
Atom Hidrogen

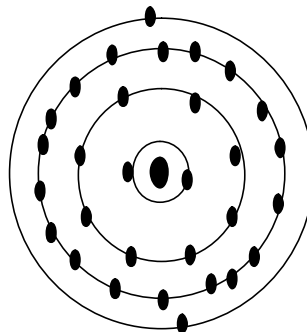
Atom yang paling sederhana adalah atom Hydrogen (Atom Air), yaitu hanya mempunyai satu elektron yang mengelilingi satu proton.

Atom yang paling rumit adalah atom uranium. Atom ini mempunyai 92 elektron disekeliling inti proton. Semua benda (elemen) memiliki struktur atom tersendiri. Setiap elemen mempunyai jumlah elektron dan proton yang sama.



Gambar 36
Atom Uranium

Tembaga mempunyai 29 proton, elektron-elektronnya tersebar pada 4 baris orbit, yang paling luar hanya satu elektron. Ini adalah rahasia dari penghantar listrik yang baik. Setiap benda yang memiliki struktur atom kurang dari 4 orbit yang paling luar atau memiliki sifat daya hantar yang baik.



Gambar 37.
Atom tembaga.

Bila benda yang memiliki struktur atom lebih dari 4 elektron pada garis orbit yang paling luar di sebut penyekat (bukan penghantar).

Benda yang memiliki sedikit elektron pada garis orbit paling luar, elektronnya lebih mudah berpindah dari orbitnya oleh tegangan yang rendah. Hal ini akan menyebabkan terjadinya aliran elektron dari atom ke atom.

Seperti telah kita pelajari bahwa atom mempunyai proton dan elektron, masing-masing partikel mempunyai gaya potensial (*potensial force*). Proton bermuatan positif, sedangkan elektron bermuatan negatif. Proton pada inti atom menarik elektron dan menahan elektron pada garis orbit selama muatan positif dari proton sama dengan muatan negatif dari elektron atau mempunyai listrik netral.

Bilamana terjadi muatan netral elektron yang beredar digaris orbit dapat dengan mudah berpindah jika elektron-elektron ditarik jauh oleh atom lain, atom itu menjadi bermuatan positif dan menjauhnya elektron yang ditarik oleh atom yang lain tadi mengakibatkan atom tersebut bermuatan negatif.

Atom yang bermuatan negatif (-) memiliki jumlah elektron yang berlebihan, sedangkan atom yang bermuatan positif (+) jumlah elektronnya sedikit atau kekurangan elektron.

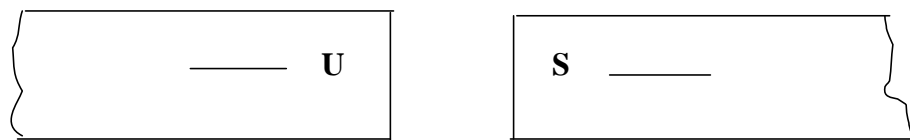


Gambar 38
Muatan yang sama tolak menolak.

Gambar di atas memperlihatkan perpindahan elektron berdasarkan percobaan bila sebuah batang karet (*rubber rod*) digosok dengan kain wol, elektron-elektron akan berpindah dan berkumpul pada batang karet. Dengan demikian kain wol kondisinya menjadi kekurangan elektron, sedangkan karet memiliki kelebihan elektron menjadi bermuatan negatif.

Selanjutnya sentuhan batang karet kepada bola akan menyebabkan terjadinya perpindahan kelebihan elektron terhadap bola, dalam hal ini bola memiliki muatan yang sama dengan batang karet.

Apabila batang karet kita dekatkan lagi terhadap bola maka bola akan bergerak menjauhi batang karet seperti terlihat pada gambar. Dengan kata lain muatan yang senama akan tolak menolak. Dalam percobaan tersebut keduanya bermuatan negatif, jika keduanya bermuatan positif akan terjadi hal yang serupa.



Gambar 39.
Muatan berbeda tarik menarik.

Apa yang akan terjadi apabila kita dekatkan batang yang bermuatan negatif kepada bola yang bermuatan positif ?

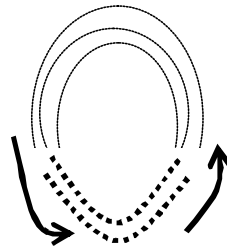
Gambar di atas memperlihatkan bahwa bola akan bergerak mendekati batang dan akan ditarik olehnya (dalam hal yang sama batang yang bermuatan positif akan menarik bola yang bermuatan negatif).

Dengan kata lain muatan yang tidak senama akan tarik menarik.

B. Magnet

B.1 Pengertian Magnet.

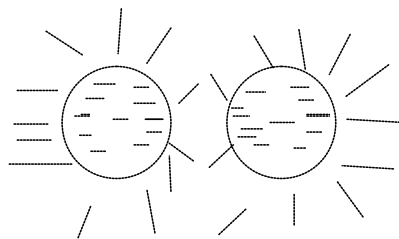
Secara sederhana magnet dapat diartikan sebagai benda (besi) yang mempunyai inti atom. Atom tersebut mempunyai sejumlah elektron yang selalu bergerak mengitari inti atom (proton dan neutron).Besi magnet mempunyai 2 (dua) kutub (ujung), yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pada kutub-kutub itulah terpusatkan gaya magnet, yaitu gaya tarik dan gaya tolak.



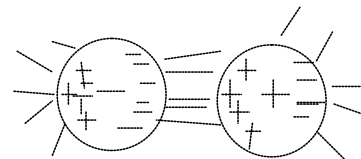
Gbr. 40

Besi magnet berbentuk tapak kuda dengan sebagian garis gayanya.

Dari percobaan-percobaan dengan jalan mendekatkan dua kutub ternyata bahwa: Kutub-kutub senama saling tolak menolak, sedangkan kutub-kutub yang berbeda (tidak senama) akan saling tarik menarik.



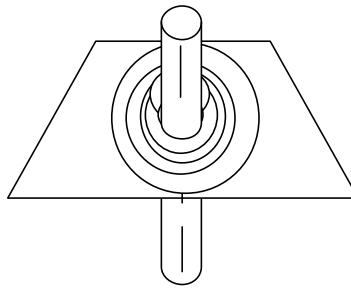
Gbr. 41 . Kutub sejenis



Gbr. 42 Kutub tidak sejenis

Teori tentang magnet tidak terlepas dari penjelasan tentang listrik. Bahkan kemagnetan adalah merupakan gejala yang dihasilkan oleh perilaku listrik. Setiap atom terdapat elektron-elektron yang yang selalu bergerak mengelilingi inti (proton dan neutron). Gerakan elektron inilah yang menghasilkan gaya-gaya magnet. Gaya magnet berbentuk lingkaran tertutup di luar elektron pada saat elektron bergerak.

Hal ini dapat dibuktikan pada percobaan berikut tentang adanya magnet di sekitar penghantar yang dialiri arus listrik.



Arah Aliran Listrik

Gbr. 43

Bentuk medan magnet di sekeliling penghantar

Berdasarkan teori di atas, garis gaya yang timbul disekitar sepotong magnet sebenarnya adalah merupakan kumpulan / penimbunan garis-garis gaya yang dihasilkan oleh gerakan elektron yang mengitari intinya. Sedangkan pada logam yang bukan magnet, garis edar elektronnya tidak teratur sehingga garis gaya dihasilkan setiap elektron saling memindahkan. Dengan demikian gaya di sekitar magnet tidak muncul.

B. 2 Jenis-jenis Magnet

Magnet dapat digolongkan atas 2 (dua) jenis.

a. Magnet tetap (permanen).

Magnet tetap adalah magnet yang diperoleh dari dalam alam (penambangan). Magnet ini berupa jenis besi yang disebut *Lodstone*. Sifat atom magnet tetap tidak sama dengan sifat atom magnet tidak tetap. Pada bahan magnet, garis edar elektron pada atom yang satu dan lainnya membentuk formasi yang sejajar dan selalu tetap. Sedangkan pada bahan yang bukan magnet, arah garis edar elektron pada setiap atom tidak teratur.

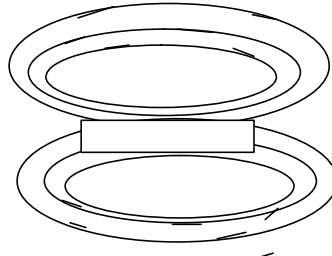
b. Magnet tidak tetap (remanen atau buatan).

Magnet tidak tetap terdiri dari 2 (dua) macam, yaitu :

1) Magnet hasil induksi.

Magnet hasil induksi ini dibuat dari besi atau baja. Untuk membuatnya menjadi magnet, diperlukan pengaruh medan magnet dari luarnya.

Medan magnet akan mempengaruhi arah edar elektron menjadi teratur seragam pada satu arah saja. Hasilnya adalah besi tersebut akan menjadi magnet. Proses pembuatan magnet ini disebut *induksi*. Sedangkan magnet yang dibuat disebut magnet hasil induksi.



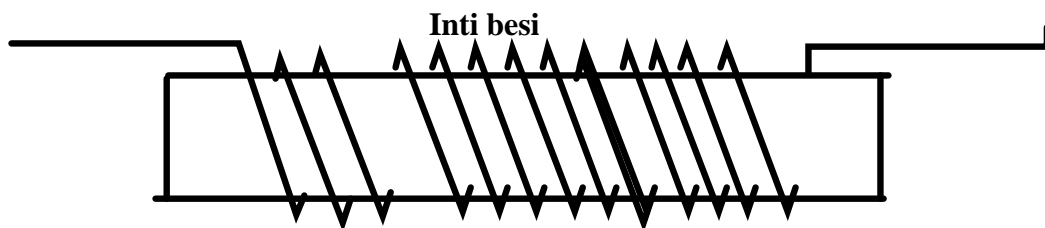
Gbr. 44
Induksi Magnet

Magnet hasil induksi bersifat sementara. Mengapa demikian ? Karena apabila medan magnet yang dibuat di sekitarnya dihilangkan, maka garis elektron akan kembali keposisi tidak teratur. Dengan kata lain kemagnetannya menjadi hilang.

2) Magnet hasil perlakuan listrik.

Magnet ini dibuat dari baja lunak (baja karbon rendah). Baja ini dipilih karena sifat baja lunak sifat kemagnetannya relatif mudah dihilangkan. Penghilangan sifat magnet ini memang diperlukan untuk hampir semua peralatan magnet hasil perlakuan listrik karena seringkali kutub-kutub magnetnya harus berubah-ubah pada kecepatan tertentu.

Untuk membentuk magnet ini, diperlukan elektro-magnet (akan dijelaskan selanjutnya) sebagai bahan sumber medan magnet.



Gbr. 45
Memakai inti besi untuk memperkuat medan magnet

B.3. Sifat-sifat Magnet.

Sifat magnet adalah tarik menarik apabila didekatkan dua buah magnet yang tidak sejenis. Dan akan tolak menolak apabila didekatkan dua buah magnet yang sejenis.

Sifat lain dari magnet adalah garis gaya magnet akan mengalir dari kutub selatan ke kutub utara melalui medan magnet.

Medan magnet dan garis-garis gaya magnet sangat penting. Dengan adanya medan dan garis gaya magnet menyebabkan magnet sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, khususnya dalam menunjang pemanfaatan teknologi, seperti pada bidang Otomotif.

Medan magnet dapat menghasilkan arus listrik pada kawat penghantar apabila medan

magnet bergerak berpotongan dengan kawat penghantar tersebut. Selain itu, aruslistrikyang dihasilkan oleh medan magnet yang mengalir pada sebuah penghantar dapat juga berfungsi untuk pengisian aki pada kendaraan (charge).

Kunci pokok untuk memudahkan kita dalam penggunaan magnet yaitu :

- Dipastikan bahwa garis gaya magnet mengalir dari kutub selatan ke kutub utara
- Garis gaya magnet keluar dari kutub utara masuk kembali melalui kutub selatan.

Hal ini dapat dilihat pada gambar 7 di atas.

B.4. Kutub Magnet.

Magnet mempunyai dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Penentuan dua kutub magnet sangat membantu kita dalam penggunaan magnet. Untuk dapat mengetahui arah garis gaya dalam medan magnet, terlebih dahulu harus diketahui kutubnya. Dengan mengetahui kutub utara dan kutub selatan magnet maka kita dapat memastikan arah garis gaya magnet.

Oleh karena itu kutub magnet dapat membantu kita dalam penggunaan magnet, khususnya untuk mengetahui arah garis gaya magnet.

C. Induksi

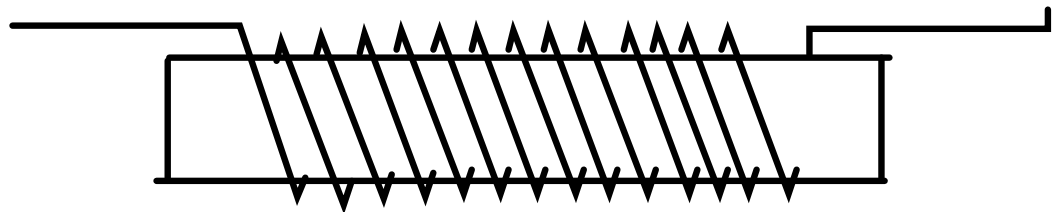
1. Elektromagnet

Kumparan yang dialiri arus listrik berubah menjadi magnet disebut *Elektromagnet*.

Berbicara tentang magnet tidak terlepas dari pembicaraan tentang listrik. Pernyataan

tersebut telah dibuktikan dalam percobaan.

Misalnya ; bila sebuah kompas diletakkan dekat dengan suatu penghantar yang sedang dialiri arus listrik, maka kompas tersebut akan bergerak pada posisi tertentu seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Gambar 46
Penghantar dalam beberapa gulungan akan
memperkuat medan magnet.

Kompas bergerak karena dipengaruhi oleh medan magnet. Ini berarti bahwa gerakan kompas seperti pada percobaan di atas adalah akibat adanya medan magnet yang dihasilkan oleh gerakan elektron pada kawat penghantar.

Ada 3 (tiga) cara yang dapat dilakukan untuk memperkuat medan magnet pada elektromagnet :

a. Membuat inti besi pada kumparan.

Cara ini dilakukan dengan jalan meletakkan sepotong besi di dalam kumparan yang dialiri listrik. Besi tersebut akan menjadi magnet tidak tetap (buatan atau remanen). Karena inti besi menjadi magnet, maka inti besi itu akan menghasilkan medan magnet.

Dilain pihak kumparan juga akan menghasilkan medan magnet pada arah yang sama pada inti besi.

Hal ini akan menyebabkan terjadinya penguatan medan magnet. Penguatan medan magnet diperoleh dari penjumlahan medan magnet yang dihasilkan oleh besi dengan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan.

- b. Menambah jumlah kumparan.

Tiap-tiap kumparan elektromagnet menghasilkan medan magnet. Dengan penambahan jumlah kumparan sudah tentu akan memperkuat medan magnet secara keseluruhan. Kuatnya medan elektromagnet merupakan jumlah dari medan magnet yang dihasilkan oleh masing-masing lilitan.

- c. Memperbesar arus yang mengalir pada kumparan.

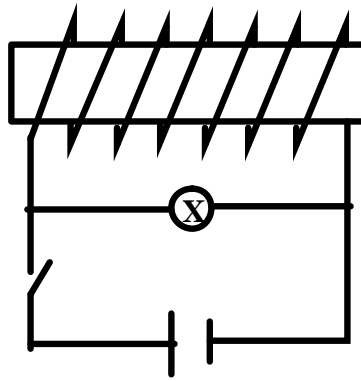
Besarnya arus yang dialirkan pada kumparan berbanding lurus dengan besarnya medan magnet. Setiap elektron yang mengalir pada penghantar menghasilkan medan magnet. Dengan demikian *medan total* tergantung dari banyaknya elektron yang mengalir setiap detik atau kuat medan total ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir pada kumparan.

1. Induksi Listrik

- a. Induksi sendiri (Self induction).

Induksi sendiri adalah munculnya tegangan listrik pada suatu kumparan pada saat terjadinya perubahan arah arus.

Apabila suatu kawat penghantar berpotongan dengan medan magnet, maka akan terjadi tegangan pada kawat tersebut. Fenomena ini sulit dijelaskan namun sudah diterima sebagai hukum alam yang sangat penting. Terutama untuk menjelaskan kejadian-kejadian pada suatu kawat yang dialiri listrik. Apabila kuat arusnya berubah maka medan yang dihasilkan akan mengembang atau mengecil memotong kawat itu sendiri sehingga timbul gaya gerak listrik pada kawat tersebut. Kejadian seperti inilah yang disebut *induksi sendiri*.

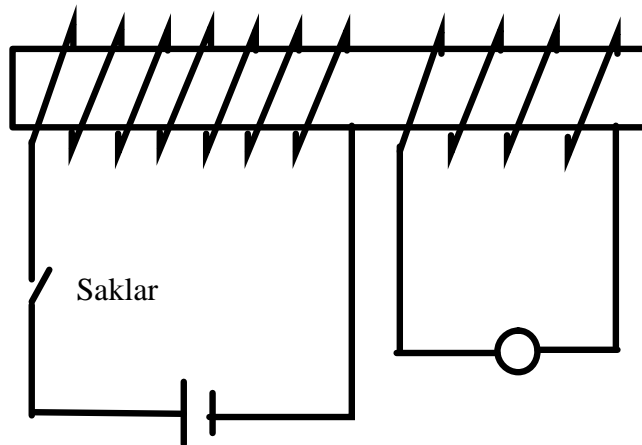


Baterei

Gambar 47
Induksi sendiri

b. Induksi mutual (*Mutual induction*).

Apabila arus listrik dialirkan pada salah satu kawat maka akan timbul medan magnet pada setiap penampang kawat. Medan magnet tersebut akan mengembang walaupun hanya dalam waktu yang sangat singkat dan memotong kawat penghantar yang kedua. Pada saat inilah timbul gaya gerak listrik pada penghantar yang kedua yang disebut *induksi mutual*.



Baterei

Gambar 48
Induksi mutual.

D. Rangkuman 1

Kesimpulan

1. Atom mempunyai elektron yang mengelilingi inti proton, dimana elektron bergerak pada garis orbitnya. Setiap atom terdiri dari proton, elektron dengan jumlah yang sama.
2. Pada beberapa peristiwa elektron bisa meninggalkan atom-atom-nya:
Benda yang bermuatan senama akan tolak menolak, sedangkan yang bermuatan tidak senama tarik menarik.
3. Tembaga mempunyai berjuta-juta elektron. Diperlihatkan hanya beberapa atom diumpamakan dengan satu elektron pada orbit luarnya. Jika elektron ditarik atom yang bermuatan positif, elektron meninggalkan atomnya. Atom ini berubah menjadi bermuatan positif (+) karena kurang elektron, selanjutnya elektron pada atom sebelumnya berpindah pada atom yang bermuatan positif begitulah seterusnya. Hasilnya ialah pergerakan elektron dari ujung-ujung tembaga yang mempunyai muatan negatif menuju tembaga yang bermuatan positif yang disebut aliran elektron.
4. Berdasarkan uraian di atas maka listrik itu adalah aliran elektron dari atom ke atom pada sebuah penghantar.

E. Tugas 1

1. Listrik adalah
2. Proton bermuatan . . . dan elektron bermuatan
3. Apakah yang akan terjadi apabila elektron ditarik atom yang bermuatan positif atau elektron meninggalkan atomnya
4. Magnet adalah
5. Lakukanlah sendiri untuk memastikan bahwa kutub magnet yang senama akan tolak menolak dan kutub yang tidak senama akan tarik menarik !
6. Buktikan bahwa garis gaya magnet membentuk lingkaran tertutup mengelilingi sebuah penghantar. Ambil sebuah penghantar lalu dialiri arus listrik. Amati di sekeliling penghantar !

Tugas :

1. Ada dua sifat magnet yaitu :
 - a.
 - b.
2. Fungsi magnet dalam pemanfaatan teknologi adalah
3. Kutub magnet ada 2 (dua) yaitu :
 - a.
 - b.

F. Tes formatif

1. Listrik adalah
2. Magnet adalah
3. Medan magnet adalah
4. Magnet batang mempunyaiyang berbeda pada ujung yang satu dengan ujung lainnya.
5. Arah garis gaya magnet mengalir dari menuju, dan keluar dari dan masuk kembali melalui.....
6. Sifat magnet akan tolak menolak apabila dan tarik menarik apabila
7. Magnet terdiri dari 2 macam, yaitu :
 - a.
 - b.
8. Pada bahan magnet garis edar pada antara satu dan lainnya membentuk formasi yang sejajar dan selalu tetap.
9. Elektromagnet adalah
10. Sebuah penghantar yang dialiri arus listrik maka disekitar penghantar akan munculyang arahnya
11. Ada 3 (tiga) cara untuk memperkuat medan elektromagnet, yaitu :
 - a.
 - b.
 - c.
12. Induksi sendiri adalah
13. Induksi mutual adalah.....

KEGIATAN BELAJAR 4

DASAR-DASAR MOTOR AC 1 FASE

I. MOTOR ARUS BOLAK-BALIK

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari kegiatan belajar 1 ini siswa dapat :

1. Menjelaskan pengertian motor AC 1 fase
2. Menjelaskan prinsip kerja motor AC 1 fase
3. Menjelaskan keistimewaan motor AC 1 fase

b. Uraian Materi

1. Prinsip Kerja Motor Arus Bolak Balik

Disebut motor arus bolak-balik (AC) 1 fase karena untuk menghasilkan tenaga mekanik pada motor tersebut hanya dibutuhkan sumber tegangan 1 fase. Lilitan stator motor 1 fase terdiri atas dua jenis :

- a. Lilitan utama
- b. Lilitan bantu.

Kedua lilitan tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga arus yang mengalir pada masing-masing lilitan yaitu lilitan utama (I_u) dan lilitan bantu (I_b) tidak sefase. Adanya perbedaan fase pada lilitan stator akan terjadi medan putar. Akibatnya batang-batang konduktor pada rotor akan timbul GGL induksi dan menghasilkan arus. Arus yang terjadi didalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar. Motor-motor AC 1 fase atau motor induksi banyak digunakan untuk keperluan alat-alat rumah tangga, kantor dan pabrik misalnya : motor untuk pompa air, lemari es, kipas angin, mesin cuci dan sebagainya.

Keistimewaan motor AC 1 fase yaitu :

- a. Konstrusinya sederhana
- b. Mudah dijalankan
- c. Mudah memperbaiki
- d. Harganya relatif murah
- e. Mempunyai karakteristik standart perputaran konstan.

Latihan 1

1. Jelaskan pengertian motor AC 1 fase
2. Jelaskan kegunaan motor AC 1 fase
3. Sebutkan keistimewaan motor AC 1 fase

II. JENIS-JENIS MOTOR AC 1 FASE

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari kegiatan belajar 2 ini siswa dapat :

1. Menyebutkan jenis-jenis motor AC 1 fase
2. Menggambarkan rangkaian kelistrikan motor AC 1 fase
3. Menyebutkan kegunaan masing-masing motor AC 1 fase

b. Uraian Materi

1. Jenis-jenis Motor Arus Bolak Balik (AC)

Berdasarkan startingnya motor - motor AC 1 fase dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Motor fase belah (split fase motor)
- b. Motor kapasitor
- c. Motor kutub bayangan (shaded pole mootor)

Motor tersebut biasanya merupakan jenis motor induksi, sedangkan jenis motor lain yang bukan motor induksi tetapi merupakan motor 1 fase seperti motor universal.

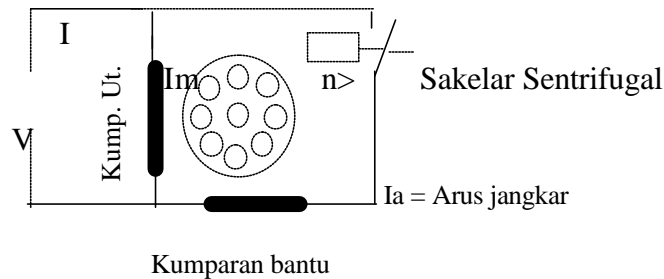
Motor-motor induksi biasanya menggunakan jenis rotor sangkar sedangkan jenis motor yang lainnya menggunakan rotor lilit.

a. Motor Fase Belah (Split Fase Motor)

Motor fase belah terdiri atas dua kumparan stator yaitu kumparan utama dan kumparan bantu. Antara kumparan utama dan kumparan bantu berbeda arus 90 derajat listrik. Untuk memperoleh arus utama (I_u) dan arus bantu (I_b) yang tidak sefase dapat dilakukan dengan cara :

- 1) Lilitan utama atau kumparan utama terdiri dari jumlah lilitan yang sedikit dengan penampang kawat yang besar .
- 2) Lilitan bantu terdiri dari jumlah lilitan lebih banyak dan penampang kawat yang lebih kecil.

Hubungan antara kumparan utama dan kumparan bantu dapat dilihat seperti gambar 1.



Gambar 49
Motor fase belah

Prinsip Kerja Motor Fase Belah (Split Fase)

Jika kumparan utama dan kumparan bantu dihubungkan ke sumber tegangan maka arus mengalir ke kumparan utama dan bantu dengan berbeda fase. Perbedaan fase tersebut ditimbulkan medan magnet antara medan stator kumparan utama dan kumparan bantu. Hasil kedua medan kumparan utama dan kumparan bantu menghasilkan medan putar pada stator dan selanjutnya menyebabkan rotor berputar. Saklar sentrifugal akan bekerja memutuskan arus pada kumparan bantu secara otomatis jika putaran motor mencapai 70 – 80 % dari kecepatan nominal.

Motor fase belah mempunyai torsi awal yang sedang dengan arus awal yang rendah . Motor ini digunakan pada : mesin cuci, pompa sentrifugal, kipas angin, food mixer.

b. Motor Kapasitor

Motor kapasitor kapasitor mempunyai prinsip kerja seperti motor fase belah, tetapi lilitan bantu nya dipasang seri dengan sebuah kapasitor yang berfungsi untuk memperoleh beda fase antara arus lilitan bantu (I_b) dan arus lilitan utama (I_u) yang lebih besar. Motor kapasitor dapat digunakan untuk memperoleh penampilan pada saat dihidupkan. Jika ditinjau dari prinsip pengoperasiannya, motor kapasitor dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

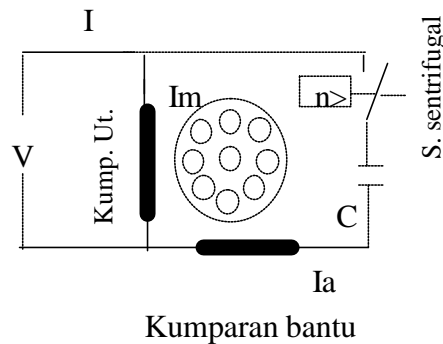
- a) Motor kapasitor start
- b) Motor kapasitor start dan run
- c) Motor kapasitor permanen

a) **Motor Kapasitor Start**

Motor kapasitor start merupakan motor fase belah tetapi pada saat distart perbedaan fase antara kedua arus diperoleh melalui sebuah kapasitor yang dipasang seri dengan kumparan bantu. Dengan adanya kapasitor, diperoleh torsi awal yang lebih besar jika dibandingkan dengan motor fase belah.

Motor kapasitor start banyak digunakan terutama : fan, AC, pompa, peralatan pendingin, mesin cuci, dan penggerak kompresor.

Gambar rangkaian kelistrikan motor kapasitor start sebagai berikut:

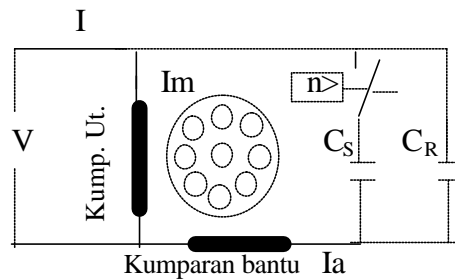


Gambar 50
Motor Kapasitor start

b) **Motor kapasitor Start dan Run**

Motor kapasitor jenis ini mempunyai dua kapasitor, satu berfungsi hanya pada saat motor sedang dihidupkan (C_s) dan kapasitor lainnya (C_r) bekerja terus – menerus. Setelah putaran motor mencapai 70 – 80 % dari putaran nominalnya C_s terlepas dan C_r tetap terhubung. Beda fase antara flux utama dan bantu menurun sehingga torsi motor juga menurun. Besarnya kapasitor start biasanya 300 μ F dan kapasitor run 40 μ F untuk motor 0,5 HP.

Motor ini penggunaannya sama seperti motor kapasitor start, hanya perbedaannya mempunyai torsi dan efisiensi yang lebih besar. Selain itu dapat mempertinggi kemampuan motor dari beban lebih dan putarannya lebih halus. Pada gambar 3 menunjukkan rangkaian motor kapasitor start dan run.

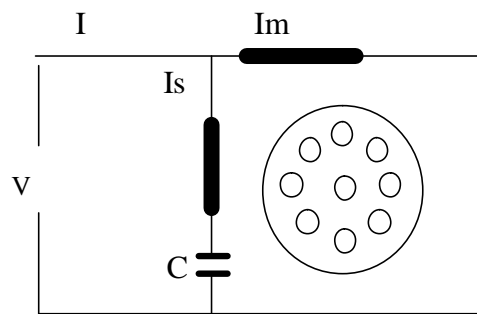


Gambar 51

Motor Kapasitor Start dan Run

c) **Motor Kapasitor Permanen (Tetap)**

Pada motor ini terdapat kapasitor yang dipasang tetap sebagaimana yang dilukiskan pada gambar 4.



Gambar 52

Motor kapasitor permanen

Torsi awal motor kapasitor sangat sukar diukur namun demikian terdapat suatu pendekatan untuk menafsirkan besarnya torsi awal tersebut. Misalnya untuk memperoleh jumlah putaran motor yang sangat lambat dibutuhkan sumber V_1 dan menghasilkan torsi keluaran T_1 . Maka untuk tegangan sumber V_2 , torsi awal motor dapat ditafsirkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$T_{\text{start pada } T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 T_1 \quad (\text{N-m})$$

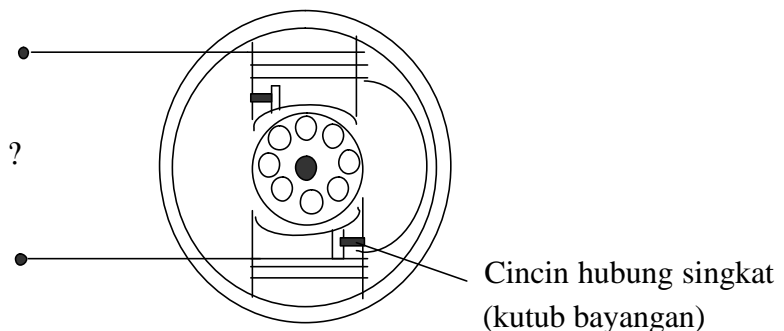
c. Motor Kutub Bayangan (Shaded Pole Motor)

Motor ini mempunyai kutub bayangan (shaded pole) dan kutub utama sementara rotornya adalah rotor sangkar tupai.

Medan putar dihasilkan karena adanya induksi pada cincin hubung singkat yang terdapat pada kutub bayangan. Motor kutub bayangan kebanyakan digunakan pada alat-alat yang tidak memerlukan torsi yang besar seperti : kipas angin kecil, alat foto copy, pompa kecil dan alat pengering rambut.

Motor kutub bayangan terdapat satu kutub yang bercelah dan pada bagian kutub yang lain, dipasang cincin hubung singkat (kumparan bantu). Konstruksi motor ini dapat dilihat seperti gambar 5 berikut :

Prinsip Kerja Motor Kutub Bayangan



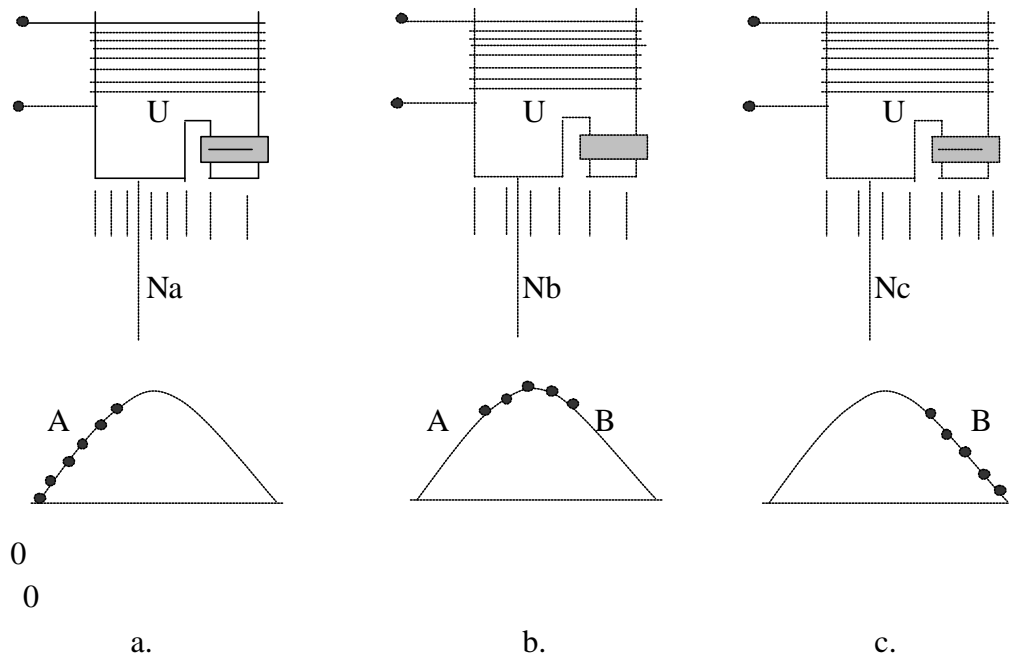
Gambar 53

Motor Shaded pole berkutub dua

Apabila motor tersebut dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik pada kumparan kutub, poros akan bergerak dari kutub utama ke kutub bayangan. Bergesernya poros medan magnet menyebabkan seakan-akan kutub itu bergerak. Oleh sebab itu, rotor berputar dari kutub utama ke kutub bayangan. Dan berdasarkan hukum Faraday, lilitan yang dihubungkan singkat yang ada pada kutub magnet akan terbentuk GGL induksi dan arus induksi. Arus yang timbul akan menghasilkan flux magnet yang arahnya selalu melawan flux utama, bagian ini disebut kutub bayangan.

Didalam kenyataannya bahwa flux yang dihasilkan oleh kutub utama dan kutub bayangan mempunyai pergeseran fase. Dengan demikian didalam celah udara didepan kutub terdapat flux medan magnet yang berputar dan hal ini akan berlaku seperti prinsip motor-motor induksi lainnya

Untuk lebih jelasnya, marilah kita bicarakan tentang gerak poros medan magnet tersebut. Diketahui bahwa shading coil (kumparan/cincin hubung singkat) tahanannya sangat kecil. Apabila arus bolak-balik mengalir pada kumparan maka kutub membesar. Hal ini akan menyebabkan timbulnya tegangan pada shading coil (kumparan/cincin hubung singkat) dengan polaritas yang berlawanan dengan penyebabnya (prinsip trafo). Jadi bila arus pada kumparan magnet naik (membesar), maka arus induksi dalam shading coil menurun. Sebaliknya bila arus pada kumparan magnet menurun, arus induksi dalam shading coil membesar.



Gambar 54
Prinsip gerak poros medan magnet pada motor shaded pole.

Pada Gambar 54a.

Arus penguat sedang meningkat dari O ke A. Karena shading coil mempunyai tahanan yang rendah maka dalam kumparan ini akan mengalir arus yang besar dan arah yang berlawanan dengan arah arus di dalam kumparan penguat magnet yang menyebabkannya. Dengan demikian garis gaya paling rapat ada pada bagian kiri. Perhatikan posisi medan magnet Na.

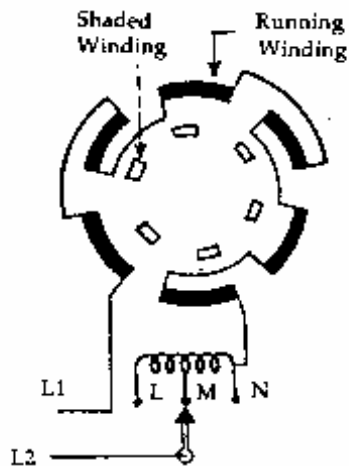
Pada Gambar 54b.

Arus penguat pada daerah harga tertinggi, yaitu dari titik A ke B. Saat itu perubahannya sangat kecil, sehingga secara praktis tak menimbulkan tegangan pada shading coil. Dengan demikian garis-garis gaya magnet terbagi secara merata ke seluruh permukaan kutub sehingga medan magnet terletak pada N sub b.

Pada Gambar 54c.

Arus penguat sedang menuurn dari B ke O. hal ini akan menimbulkan arus induksi pada shading coil. Dalam hal ini aksi menuju nol, sehingga reaksinya menuju ke maksimum. Di bagian shaded pole terjadi hal yang berlawanan dengan pada bagian un-shaded pole (kutub utama). Pada bagian shaded pole, arus induksi justru memperkuatnya sehingga kekuatan medan magnet pada saat ini seakan-akan menggeser dari kutub un shaded ke kutub shaded dan medan magnet terletak pada Nc.

Dari uraian tersebut dapat dijelaskan bahwa selama $\frac{1}{2}$ periode positif dari arus penguat terjadi pergeseran kutub N(utama) sepanjang permukaan kutub, dari un shaded pole ke shade pole. Selama $\frac{1}{2}$ periode negatif berikutnya, arus penguat dengan kutub S (selatan) akan mengalami kejadian yang sama.



Gambar 55
Mengatur putaran motor shaded pole dengan choke coil

d. Motor Universal

Motor universal adalah sebuah motor yang dapat dioperasikan pada sumber arus bolak-balik (AC) dan sumber arus searah (DC). Motor ini banyak dipakai pada peralatan rumah tangga seperti : mixer, motor mesin jahit, motor bor listrik dan pengisap debu.

Motor universal umumnya dibuat dalam dua jenis :

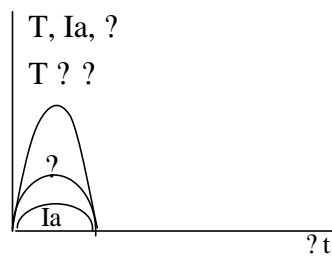
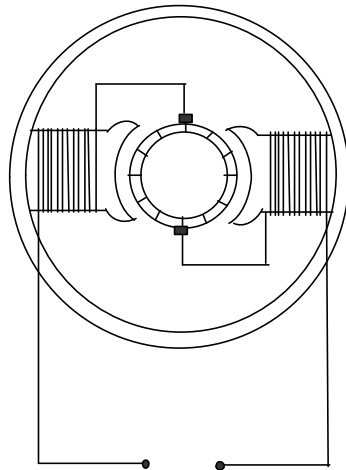
- 1) Kutub terpusat/dengan sepatu kutub tanpa kumparan kompensasi (kekuatan rendah)
- 2) Kutub terbagi/dengan kumparan stator seri fase biasanya dilengkapi kumparan kompensasi (kekuatan tinggi).

Motor universal kutub terpusat, inti kutub terdiri dari plat-plat dinamo

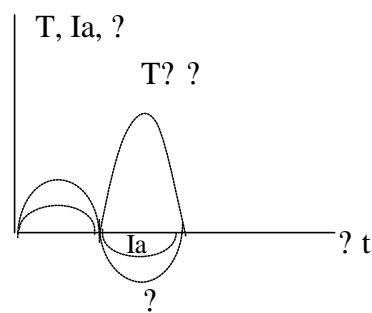
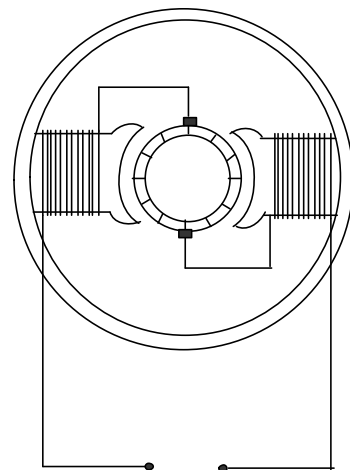
Motor universal kutub terbagi, kumparan magnet seperti halnya stator satu fase dan kumparan rotor/jangkar seperti kumparan motor DC.

Kumparan stator kadang-kadang dilengkapi dengan kumparan kompensasi untuk menaikkan faktor kerja.

Prinsip Kerja Motor Universal



Gambar 56a



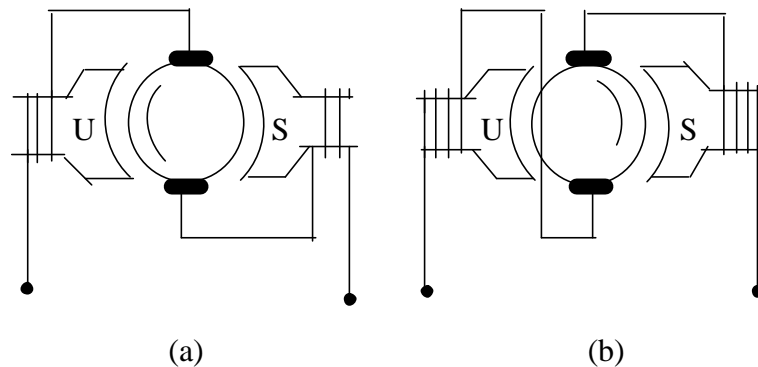
Gambar 56b

Prinsip kerja motor universal mudah dimengerti seperti halnya motor DC. Berdasarkan persamaan torsi $T = k \cdot I_a \cdot \Phi$. Bila motor dihubungkan sumber AC, pada saat $\frac{1}{2}$ periode positif (gambar 56a), motor berputar berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

Pada $\frac{1}{2}$ negatif (Gambar 56b), menurut hukum tangan kiri, motor tetap berputar berlawanan arah putaran jarum jam, karena perubahan arah arus pada kumparan penguat saatnya bersamaan dengan perubahan arah arus pada rotor. Dalam hal ini arus jangkar menjadi $(-I_a)$ dan fluks magnet menjadi $(-\Phi)$. $T = k (I_a)(-\Phi)$ nilainya tetap sama dengan keadaan pertama (positif). Dengan demikian meskipun dihubungkan dengan sumber AC, arah putarannya tidak berubah.

Membalik Arah Putaran Motor Universal

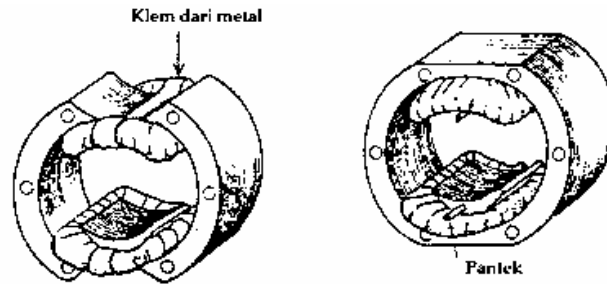
Untuk membalik arah putaran ditukar salah satu kawat yang ke sikat. Perhatikan Gambar 10a dan 10b.



Gambar 57
Membalik arah putaran motor

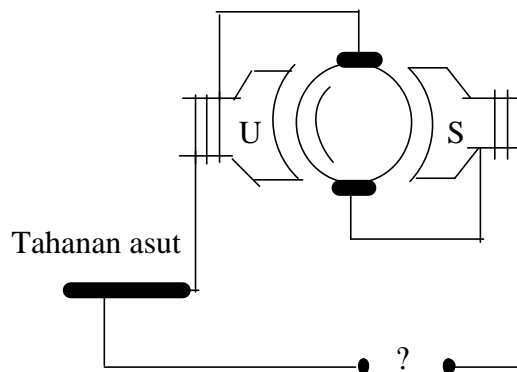
Untuk mengatur putaran motor universal dilaksanakan dengan memasang tahanan seri terhadap kumparan penguat (Lihat gambar 12). Pada motor mesin jahit control tersebut selain sebagai pengatur putaran sekaligus saklar on/off karena pada posisi tertinggi (maksimum) tahanan pengatur terputus.

Konstruksi dari stator motor universal dapat dilihat pada gambar 11a dan 11b.



Gambar 58a. Klem pengaman kumparan

Gambar 58b. Pasak pada inti.



Gambar 59
Pengatur putaran motor universal

Latihan 1

1. Jelaskan pengertian motor AC 1 fase.
2. Jelaskan prinsip kerja motor AC 1 fase.
3. Jelaskan keistimewaan motor listrik AC 1 fase.
4. Sebutkan jenis-jenis motor AC 1 fase.
5. Jelaskan fungsi saklar sentrifugal pada motor fase belah.

III. KARAKTERISTIK MOTOR ARUS BOLAK BALIK 1 FASE

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari kegiatan belajar 3 ini siswa dapat:

1. Menggambarkan karakteristik motor listrik arus bolak balik 1 fase
2. Menjelaskan gambar karakteristik motor listrik arus bolak balik 1 fase

b. Uraian Materi

1. Karakteristik Motor Fase Belah

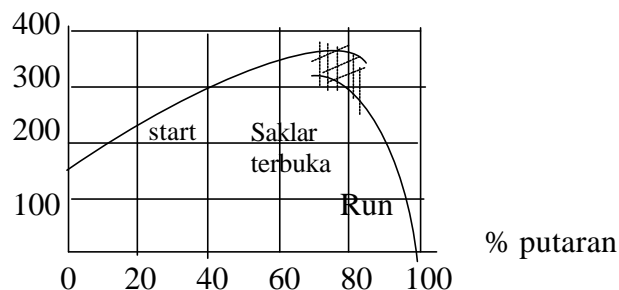
Telah dijelaskan pada gambar 1, bahwa saklar sentrifugal motor fase belah akan bekerja apabila putaran motor telah mencapai 70-80 % dari kecepatan nominal. Oleh sebab itu untuk torsi awal motor fase belah mencapai $1\frac{1}{2}$ torsi beban penuh dan arus awalnya dapat mencapai 7 – 8 arus beban penuh. Arus ini sulit di ukur diukur secara langsung.

Untuk menafsirkan besarnya arus awal dapat dilakukan dengan test terkunci atau dengan menetapkan misalnya untuk tegangan V_1 , arus motor = I , untuk tegangan V_2 , maka arus awal motor adalah :

$$I_{\text{awal}} = (V_2/V_1) \cdot I \text{ (Ampere)}$$

Karakteristik $T = f(n)$ saat start dapat dilukiskan seperti gambar 13.

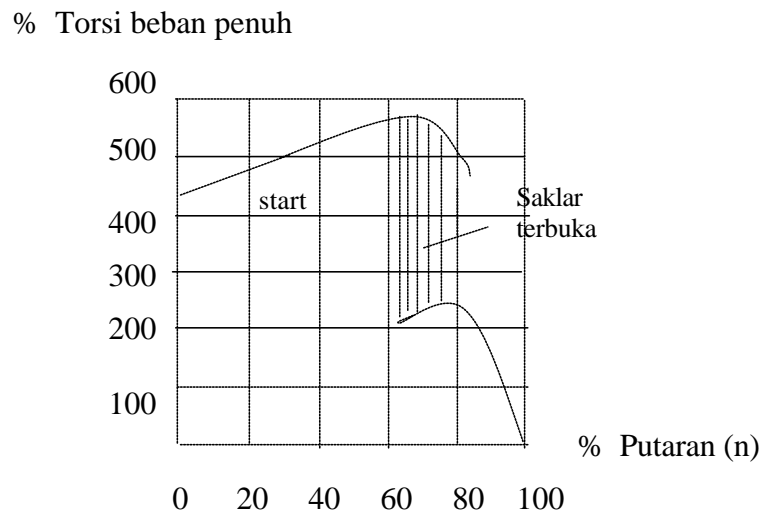
% Torsi beban penuh



Gambar 60
Karakteristik torsi motor fase belah

2. Karakteristik Motor Kapasitor Start

Pada motor kapasitor start, untuk memperoleh torsi awal yang lebih besar maka harus dipasang dengan sebuah kapasitor. Kapasitor ini dipasang seri dengan lilitan bantu. Bentuk karakteristik motor kapasitor start, $T = f(n)$ saat start dapat di gambarkan sebagai berikut :

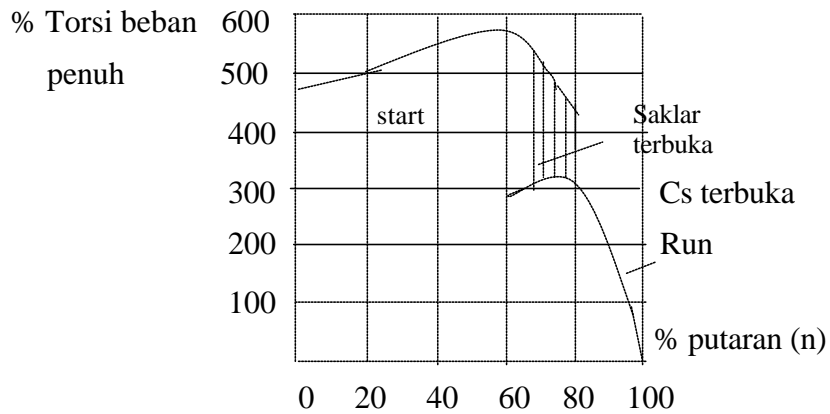


Gambar 61
Karakteristik torsi motor kapasitor start

Dengan adanya kapasitor dapat diperoleh torsi awal yang lebih besar bila dibandingkan dengan motor fase belah.

3. Karakteristik Motor Kapasitor start dan Run

Telah di jelaskan bahwa motor kapasitor start dan run terdapat dua buah kapasitor masing-masing C_s dan C_R , sehingga diperoleh beda fase yang cukup besar. Di samping itu akan diperoleh pula karakteristik torsi $(T) = f(n)$ saat start seperti gambar berikut:



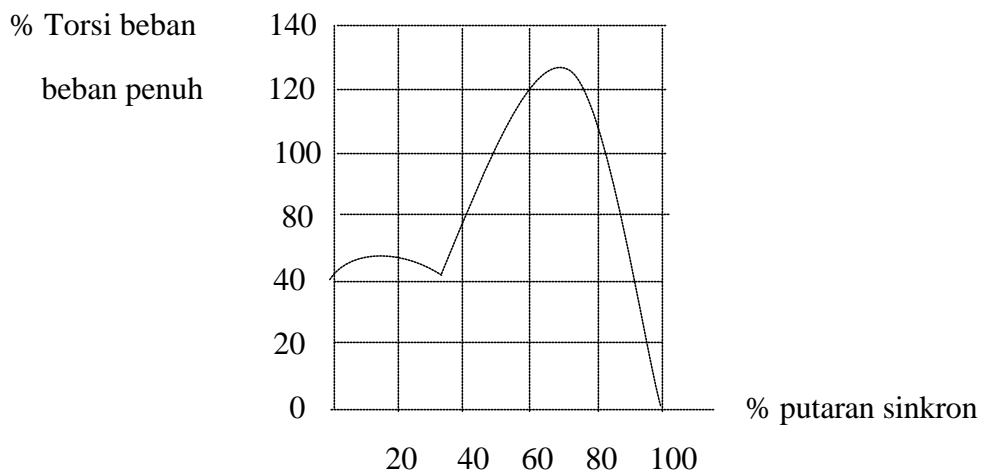
Gambar 62

Karakteristik motor kapasitor start dan run

4. Karakteristik Motor Motor kutub Bayangan (Shaded Pole)

Motor kutub bayangan digunakan pada alat-alat yang tidak membutuhkan torsi besar, hanya membutuhkan torsi awal yang rendah dan efisiensi yang rendah pula.

Karakteristik torsi ($T = f(nr)$) dapat dilukiskan pada gambar berikut.

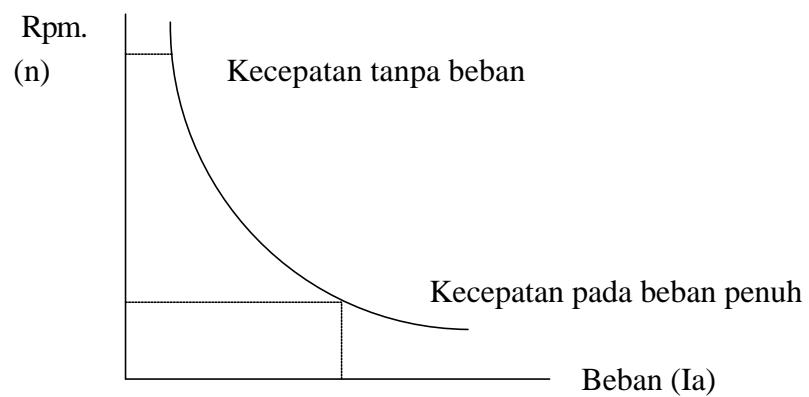


Gambar 63

Karakteristik motor kutub bayangan

5. Karakteristik Motor Universal

Berdasarkan persamaan torsi pada motor universal seperti yang telah dijelaskan, akan di peroleh bentuk dari karakteristik motor tersebut. Bentuk karakteristik yang dilukiskan adalah kecepatan putaran motor (n) pada saat diberikan beban maupun tanpa beban. Karakteristik motor universal, $n = f(I_a)$ dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 64

Karakteristik n fungsi beban dari motor universal

Dari gambar diatas dapat disimpulkan semakin besar beban maka putaran motor semakin berkurang atau putaran motor sangat dipengaruhi oleh besarnya I_a .

KEGIATAN BELAJAR 5

DASAR-DASAR MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH

I. MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH

a. Tujuan Kegiatan Belajar 5

Setelah mempelajari kegiatan belajar 1 ini siswa dapat :

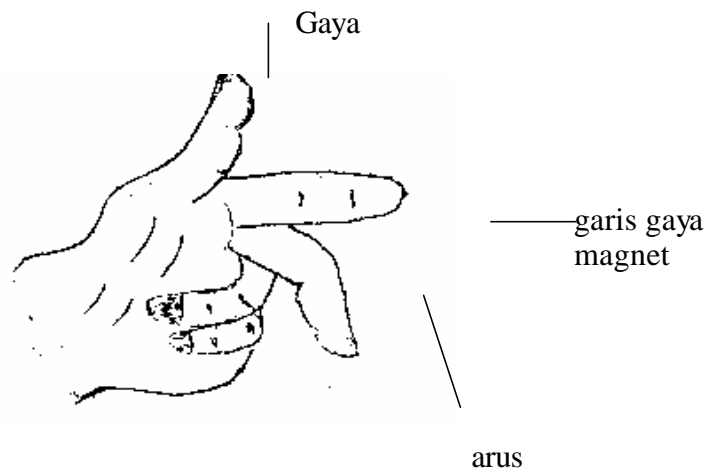
1. Menjelaskan pengertian motor listrik arus searah
2. Menjelaskan prinsip kerja motor listrik arus searah
3. Menyebutkan bagian-bagian motor listrik arus searah
4. Menjelaskan fungsi bagian-bagian motor listrik arus searah.

b. Uraian materi

Prinsip Kerja Motor Listrik Arus Searah

Motor listrik arus searah merupakan suatu alat yang berfungsi mengubah daya listrik arus searah menjadi daya mekanik. Motor listrik arus searah mempunyai prinsip kerja berdasarkan percobaan Lorents yang menyatakan. "Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya". Gaya yang terbentuk sering dinamakan gaya Lorents.

Untuk menentukan arah gaya dapat digunakan kaidah tangan kiri Flemming atau kaidah telapak tangan kiri. Gambar 1 melukiskan konstruksi kaidah tangan kiri Flemming.



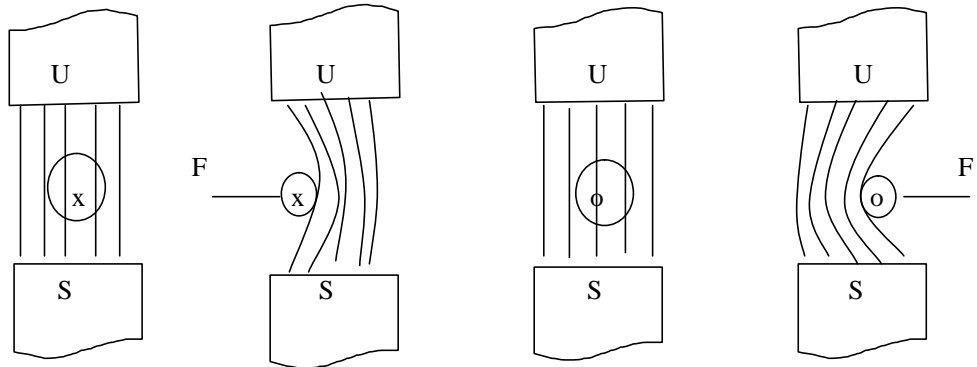
Gambar 1
Prinsip Kerja Motor DC

Jika ibu jari, jari tengah dan jari telunjuk disusun seperti gambar 1, garis gaya magnet sesuai dengan arah jari telunjuk, arus yang mengalir pada penghantar searah dengan jari tengah maka, gaya yang terbentuk pada kawat penghantar akan searah dengan arah ibu jari.

Jika digunakan kaidah telapak tangan kiri, maka didalam menentukan arah gaya dapat dikerjakan sebagai berikut :

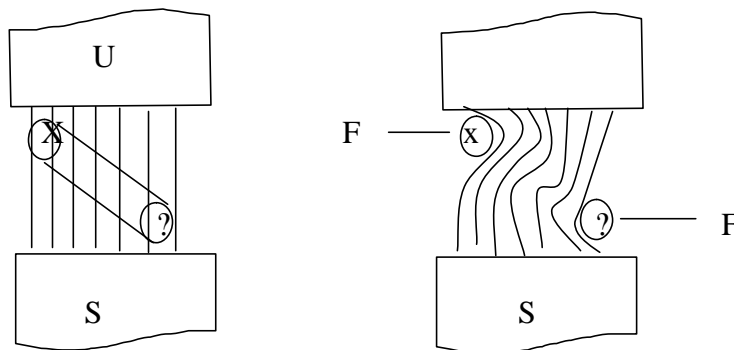
“Telapak tangan kiri direntangkan sedemikian rupa sehingga ibu jari dengan keempat jari yang lain saling tegak lurus. Jika garis gaya magnet menembus tegak lurus telapak tangan, arah arus sesuai dengan arah keempat jari tangan, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya yang terbentuk pada kawat penghantar.

Hubungan antara garis gaya magnet, arah arus dan gaya yang terbentuk pada kawat penghantar dapat dilukiskan seperti gambar 2.



Gambar 2.
Arah arus dan gaya

Untuk dua buah penghantar yang berarus seperti gambar 3 berada dalam medan magnet maka pada masing-masing kawat akan timbul suatu gaya.



Gambar 3.
Gaya dalam medan magnet

Besarnya gaya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$F = B.I.l. \sin ?$$

F : Gaya yang terbentuk pada penghantar (Newton)

I : Kuat arus yang mengalir (Ampere)

B : Kerapatan garis gaya magnet (Wb/m²)

? : Sudut antara garis gaya magnet dengan posisi kawat penghantar

Karena kawat penghantar tersebut bergerak didalam medan magnet maka sesuai dengan percobaan Faraday, pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk GGL Induksi.

GGL induksi ini mempunyai arah melawan tegangan yang menyebabkan, sehingga GGL induksi ini sering disebut GGL lawan.

Untuk menentukan GGL lawan E_a mempunyai persamaan dengan GGL induksi pada generator arus searah yaitu :

$$Z \cdot ? \text{ volt}$$

$$E_a = 2 \frac{P}{A} \cdot \frac{n}{60}$$

E_a : GGL lawan (volt)

$2p$: jumlah kutub

A : jumlah cabang paralel lilitan jangkar

n : jumlah putaran per menit (ppm)

Z : jumlah kawat penghantar aktif

Φ : fluks per kutub (Weber)

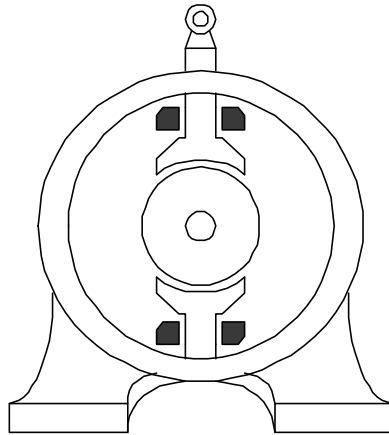
Konstruksi Motor Listrik Arus Searah

Gambar 4 melukiskan konstruksi bagian yang terpenting dari sebuah motor listrik arus searah kutub dua dan kutub empat.

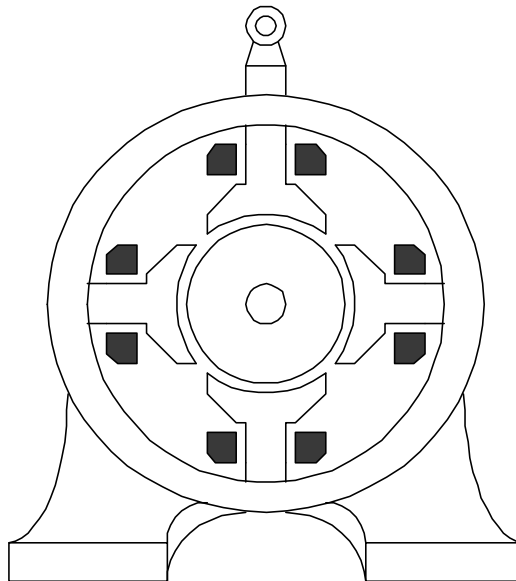
Secara umum konstruksi motor listrik arus searah dapat dibagi menjadi dua :

- a. Stator (bagian yang diam)
- b. Rotor (bagian yang berputar)

Untuk bagian yang diam (stator) dalam motor listrik arus searah terdiri atas badan (body), inti kutub magnet dan sikat-sikat. Sedangkan untuk bagian rotornya adalah komutator, jangkar dan lilitan jangkar.



a. Motor listrik kutub dua



b. Motor listrik arus searah kutub empat

Gambar 4.
Konstruksi motor arus searah

1. Bagian-bagian Motor dan Fungsinya

a. Badan Motor listrik

Fungsi utama dari badan motor adalah sebagai bagian tempat untuk mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian motor lainnya.

Pada badan motor terdapat papan nama (name plat) yang bertuliskan spesifikasi umum atau data teknik dari motor. Papan nama tersebut untuk mengetahui beberapa hal pokok yang perlu diketahui dari motor tersebut. Selain papan nama badan motor juga terdapat kotak hubung yang merupakan tempat ujung-ujung penguat magnet dan lilitan jangkar.

Ujung-ujung lilitan jangkar ini tidak langsung dari lilitan jangkar tetapi merupakan ujung kawat penghubung lilitan jangkar yang melalui komutator dan sikat-sikat. Dengan adanya kotak hubung akan memudahkan dalam pergantian susunan lilitan penguat magnet dan memudahkan pemeriksaan kerusakan yang mungkin terjadi pada lilitan jangkar maupun lilitan penguat tanpa membongkar mesin. Untuk mengetahui ujung-ujung lilitan tersebut, setiap pabrik/negara mempunyai normalisasi huruf tertentu, yang mana hal tersebut dapat dinyatakan dalam tabel di bawah ini :

Jenis lilitan	VEMET	V D E	Amerika
1. Lilitan Jangkar	B - b	A - B	A ₁ - A ₂
2. Lilitan penguat magnet			
a. Lilitan Shunt	F - f	C - D	F ₁ - F ₂
b. Lilitan Seri	S - s	E - F	S ₁ - S ₂
c. Lilitan terpisah	E - e	I - K	F ₁ - F ₂

b. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub-kutub magnet buatan yang dibuat prinsip

elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik sebagai terjadinya proses elektromagnetis.

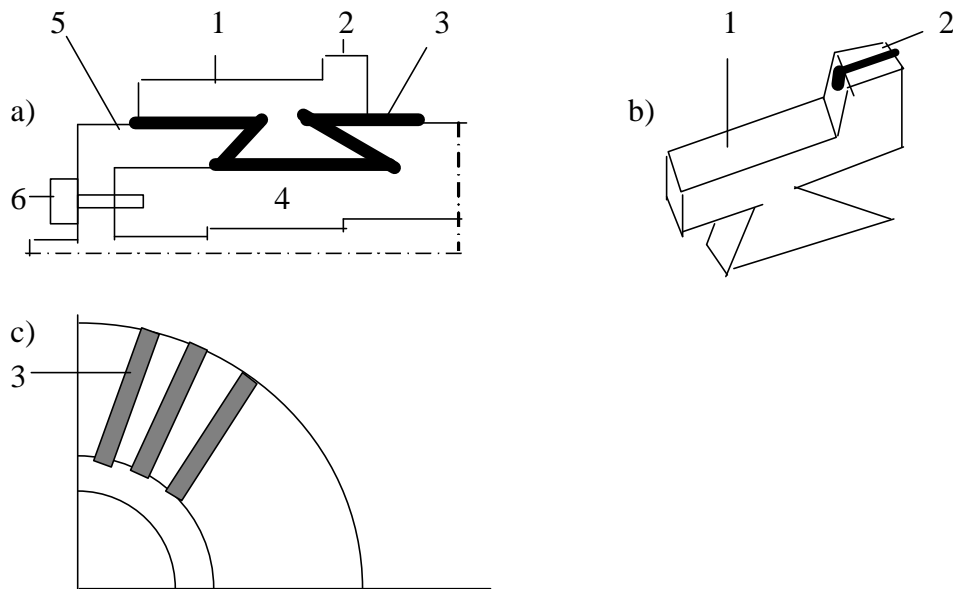
c. Sikat-sikat

Fungsi utama dari sikat-sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan. Disamping itu sikat-sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka bahan sikat lebih lunak dari komutator. Biasanya dibuat dari bahan arang (coal).

d. Komutator

Komutator yang digunakan dalam motor arus searah pada prinsipnya mempunyai dua bagian yaitu :

- 1) Komutator bar merupakan tempat terjadinya pergesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
- 2) Komutator riser merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.



Gambar 5.
Konstruksi sebuah komutator dari motor arus searah

Keterangan :

- a. Segmen komutator
- b. Pemasangan komutator
- c. Susunan komutator
 1. Komutator bar
 2. Riser
 3. Isolator
 4. Poros
 5. Ring pengunci
 6. Baut

Isolator yang digunakan yang terletak antara komutator yang satu dengan komutator yang lain harus dipilih sesuai dengan kemampuan isolator tersebut terhadap suhu yang terjadi dalam mesin.

Jadi disamping sebagai isolator terhadap listrik, juga harus mampu terhadap suhu tertentu.

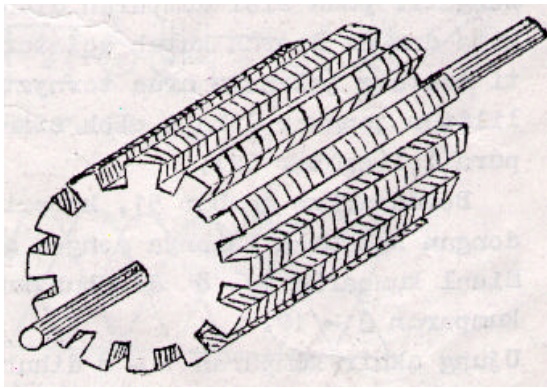
Berdasarkan jenis isolator yang digunakan terhadap kemampuan panas ini maka pada mesin listrik dikenal :

- a. Klas A : jika temperatur tinggi diijinkan 70°C (katun, sutera, kertas)
- b. Klas B : jika temperatur tinggi diijinkan 110°C (serat asbes, serat gelas)
- c. Klas H : jika temperatur tinggi diijinkan 185°C (mika, gelas, porselin, keramik).
- d. Jangkar (angker)

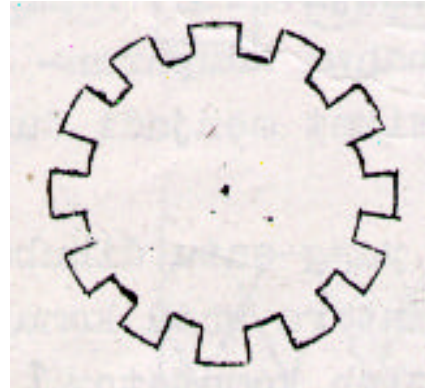
Umumnya jangkar yang digunakan dalam motor arus searah adalah berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya GGL lawan.

Seperti halnya pada inti kutub magnet, maka jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar (Edy current). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon.

Adapun konstruksinya dari jangkar tersebut dapat dilukiskan seperti gambar 5.



a. Jangkar beralur



b. Lempeng plat jangkar

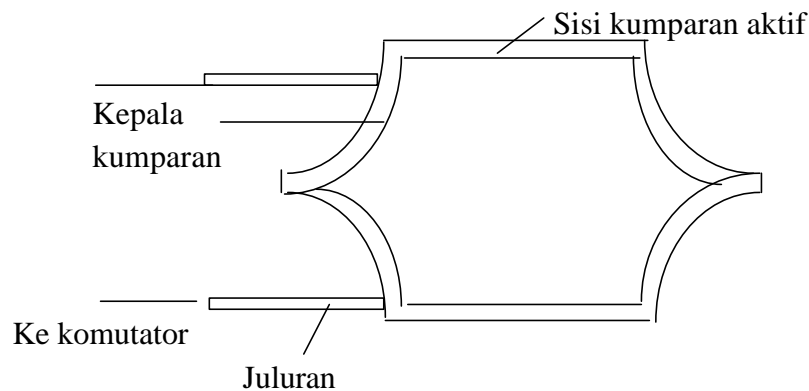
Gambar 6.
Konstruksi jangkar

f. Lilitan jangkar (angker)

Lilitan jangkar pada motor arus searah berfungsi sebagai tempat terbentuknya GGL lawan.

Pada prinsipnya kumparan terdiri atas :

- 1) Sisi kumparan aktif, yaitu bagian sisi kumparan yang terdapat dalam alur jangkar yang merupakan bagian yang aktif (terjadi GGL lawan sewaktu motor bekerja).
- 2) Kepala kumparan, yaitu bagian dari kumparan yang terletak di luar alur yang berfungsi sebagai penghubung satu sisi kumparan aktif dengan sisi kumparan aktif lain dari kumparan tersebut.
- 3) Juluran, yaitu bagian ujung kumparan yang menghubungkan sisi aktif dengan komutator.



Gambar 7.
Kumparan jangkar

Latihan 1

1. Jelaskan pengertian dan prinsip kerja dari motor listrik arus searah?
2. Sebutkan bagian-bagian penting motor listrik arus searah yang Anda ketahui?
3. Jelaskan fungsi dari bagian-bagian motor listrik arus searah
4. Mengapa Badan dan jangkar motor listrik arus searah dibuat berlapis-lapis?
5. Pada prinsipnya lilitan jangkar itu terdiri dari sisi kumparan aktif, kepala kumparan dan juluran. Apa yang dimaksud dengan sisi kumparan aktif?

II. JENIS-JENIS MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari kegiatan belajar 2 ini siswa dapat :

1. Membedakan jenis-jenis motor listrik arus searah
2. Menggambarkan diagram kelistrikan jenis-jenis motor listrik arus searah
3. Menghitung arus dan tegangan pada motor listrik arus searah

b. Uraian Materi

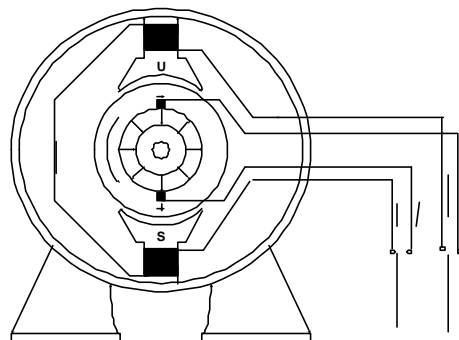
1. Jenis-jenis motor listrik arus searah

Berdasarkan sumber arus penguat magnetnya motor arus searah dapat dibedakan atas dua jenis :

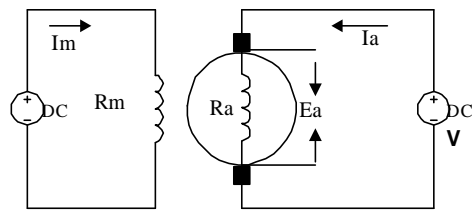
- a. Motor dengan penguat terpisah
- b. Motor penguat sendiri terdiri atas :
 - 1) Motor Seri
 - 2) Motor Shunt
 - 3) Motor kompon pendek
 - 4) Motor kompon panjang

- a. Motor dengan penguat terpisah.

Yang dimaksud dengan penguat terpisah adalah bila arus penguat magnetnya diperoleh dari sumber arus searah di luar motor.



Gambar 8. Motor penguat terpisah



Gambar 9.

Rangkaian listrik motor penguat terpisah

Persamaan arus :

$$I_a = I$$

$$I_m = \frac{E}{R_m}$$

Persamaan tegangan :

$$V = E_a + I_a R_a + 2e$$

dimana :

V : Tegangan jepit (volt)

E_a : GGL lawan (volt)

I_a : Arus jangkar (Ampere)

R_a : Tahanan lilitan jangkar (Ohm)

I_m : Arus penguat terpisah (Ampere)

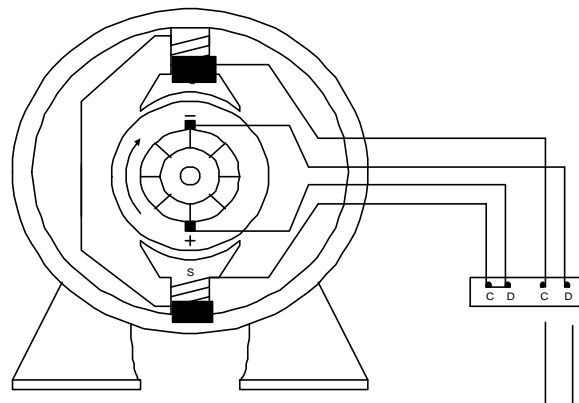
R_m : Tahanan penguat terpisah (Ohm)

e : Kerugian tegangan pada sikat-sikat (karena relatif kecil biasanya harga tersebut diabaikan).

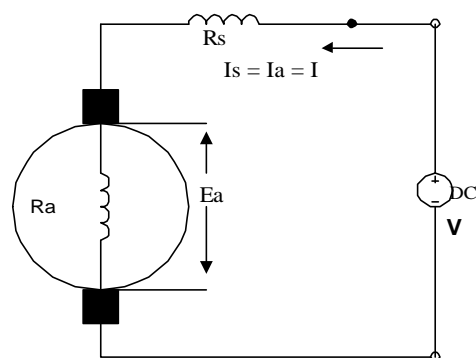
b. Motor penguat sendiri

Motor dengan penguat sendiri dapat dibagi menjadi :

- 1) Motor Seri, motor penguat sendiri di mana lilitan penguat magnetnya dihubungkan seri dengan lilitan jangkar.



Gambar 10.
Motor seri



Gambar 11.
Rangkaian listrik motor seri

Persamaan arus :

$$I = I_a = I_s$$

Persamaan tegangan :

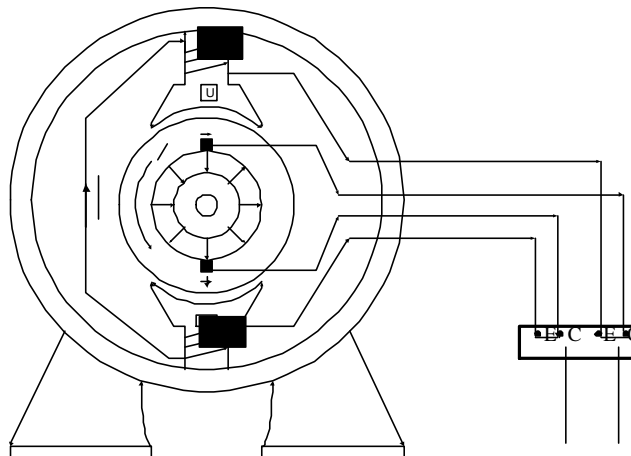
$$V = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s + 2?e$$

Dimana :

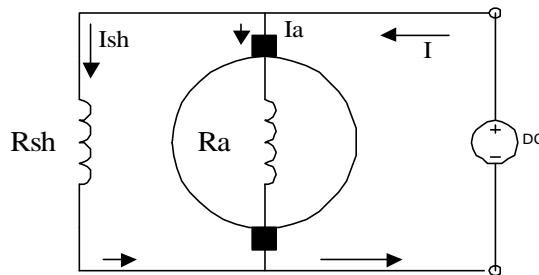
I_s : Arus penguat seri yang besarnya sama dengan arus sumber

R_s : Tahanan lilitan penguat seri

- 2) Motor shunt, motor penguat sendiri di mana lilitan penguat magnetnya dihubungkan paralel dengan lilitan jangkar atau dihubungkan langsung dengan sumber tegangan dari luar.



Gambar 12.
Motor shunt



Gambar 13.
Rangkaian listrik motor shunt

Persamaan arus :

$$I = I_a + I_{sh}$$

$$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}}$$

Persamaan tegangan :

$$V = E_a + I_a \cdot R_a + 2e$$

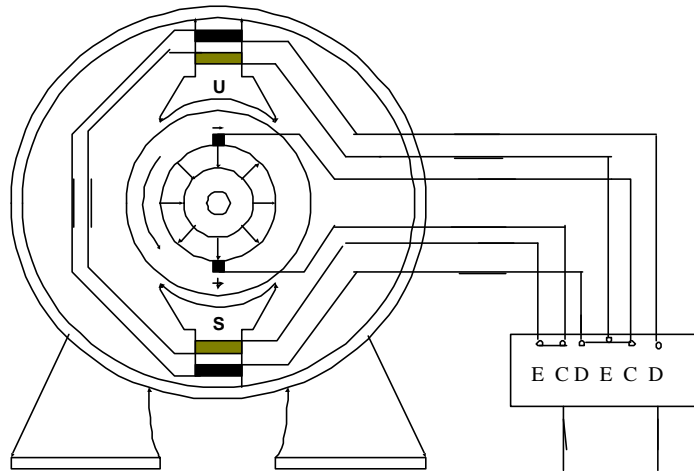
$$V = I_{sh} \cdot R_{sh}$$

dimana :

R_{sh} : Tahanan penguat shunt

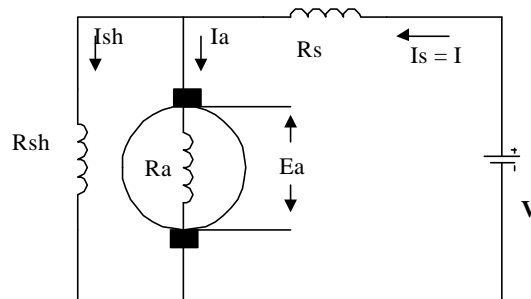
I_{sh} : Arus penguat shunt

- 3) Motor kompon pendek, motor penguat sendiri yang mempunyai dua lilitan penguat magnet yaitu lilitan shunt dan seri, dimana lilitan seri terletak pada rangkaian sumber tegangan.



Gambar 14.

Motor kompon pendek



Gambar 15.

Rangkaian listrik motor kompon pendek

Persamaan Arus :

$$I = I_s = I_a + I_{sh}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}}$$

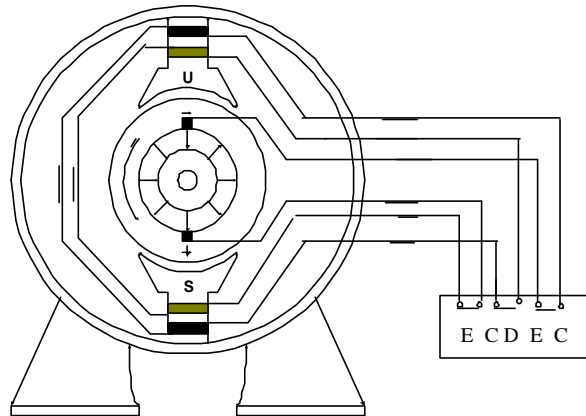
Persamaan tegangan :

$$V = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s + 2I_a.R_c$$

$$V_{sh} = V - I_s.R_s \text{ Dimana :}$$

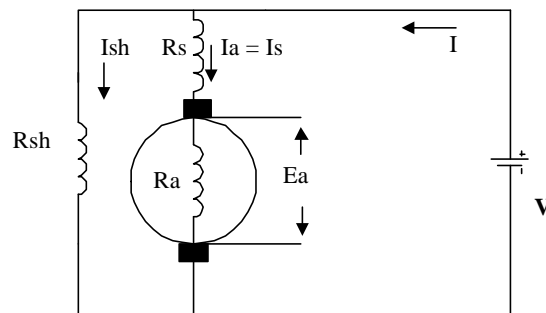
V_{sh} : Tegangan pada lilitan penguat shunt

- 4) Motor kompon panjang, motor penguat sendiri yang mempunyai dua buah lilitan penguat seri dan shunt, dimana lilitan penguat seri dihubungkan seri dengan lilitan jangkar.



Gambar 16.

Motor kompon panjang



Gambar 17.

Rangkaian listrik motor kompon panjang

Persamaan arus :

$$I = I_s + I_{sh}$$

$$I_s = I_a$$

$$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}}$$

Persamaan tegangan :

$$V = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s$$

$$V_{sh} = V$$

Latihan 2.

1. Sebutkan perbedaan-perbedaan antara motor seri dan motor shunt.
2. Gambarkan rangkaian kelistrikan dari motor listrik arus searah jenis motor kompon ?
3. Diketahui sebuah motor shunt 500 put/menit, 100 volt DC mempunyai $R_a = 0,5$ ohm dan menyerap arus dari sumber 30 A dan mempunyai tahanan penguat shunt 200 ohm. Ditanyakan :
 - a. Gambarkan rangkaian kelistrikannya.
 - b. Hitung arus yang mengalir pada lilitan jangkar (angker) dan lilitan penguat shunt?
4. Diketahui sebuah motor seri yang dihubungkan dengan sumber tegangan 100 volt DC, menyerap arus dari sumber 25 A dan mempunyai tahanan total pada motor 2,5 Ohm. Hitunglah :
 - a. Tegangan yang terdapat pada lilitan jangkar bila diketahui $R_a = 0,5$ Ohm.
 - b. Tegangan yang terdapat pada lilitan penguat seri.

III. KARAKTERISTIK MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH (DC)

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari kegiatan belajar 3 ini siswa dapat :

1. Menggambarkan karakteristik motor arus searah (DC).
2. Membedakan karakteristik dari berbagai macam motor arus searah (DC).
3. Membaca gambar karakteristik dari berbagai macam motor arus searah (DC).

b. Uraian Materi

1. Karakteristik Motor Listrik Arus Searah (DC)

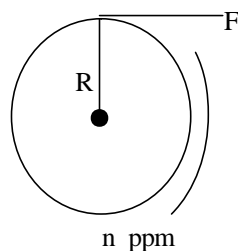
Pada motor listrik arus searah dikenal 3 macam karakteristik yaitu :

- a. Karakteristik $T_a = f(I_a)$ untuk $V = \text{tetap}$
- b. Karakteristik $n = f(I_a)$ untuk $V = \text{tetap}$
- c. Karakteristik $n = f(T_a)$ untuk $V = \text{tetap}$

Untuk membahas tentang karakteristik $T_a = f(I_a)$, perlu dijelaskan terlebih dahulu tentang torsi yang ditimbulkan oleh motor listrik arus searah.

Torsi

Yang dimaksud torsi adalah putaran atau pemuntiran dari suatu gaya terhadap suatu poros. Untuk menentukan besarnya torsi pada motor dapat dihitung dengan rumus:



Berdasarkan gambar disamping torsi (T) adalah :

$$\text{Torsi (T)} = F \times r \text{ Newton meter (N-m)}$$

Usaha dalam satu putaran = gaya x jarak

$$\text{Usaha} = F \times 2r \text{ ? joule}$$

Misalnya poros berputar n putaran perdetik maka :

$$\text{Usaha perdetik} = F \times 2r \text{ ? n joule/detik}$$

$$= F \times r (2n) \text{ joule/detik}$$

$$= T \times ? \text{ joule/detik}$$

$$\text{atau Daya} = T \times ? \text{ watt}$$

Untuk n = jumlah putaran per menit.

$$\theta = \frac{2\pi n}{60}$$

Dapat juga dituliskan bahwa :

$$T = \frac{P}{2\pi n/60} \text{ N-m}$$

$$T = 0,159 \frac{P}{n/60} \text{ N-m}$$

$$T = 0,159 \frac{1}{9,81} \cdot \frac{P}{n/60} \text{ Kgm.}$$

Berdasarkan rumus di atas maka :

$$T_a = \frac{Pa}{2\pi n/60} \text{ N-m}$$

$$T_a = \frac{Ea.Ia}{2\pi n/60} \text{ N-m}$$

$$T_a = \frac{2p/A.n/60 \cdot Z.Ia}{2\pi n/60}$$

$$T_a = c \cdot \theta \cdot I_a$$

$$c = \frac{Z}{2\pi} \cdot \frac{2p}{A}$$

dimana : F : Gaya (Newton)

T : Torsi (Newton meter)

r : Jari-jari (meter)

a. Karakteristik motor penguat terpisah

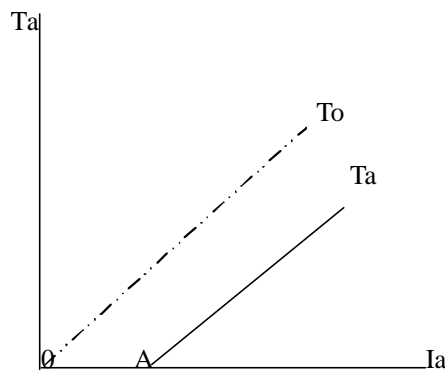
Karakteristik-karakteristik motor penguat terpisah mempunyai persamaan dengan karakteristik-karakteristik pada motor shunt. Oleh karena itu tinjauan pada motor ini dapat dilihat pada motor shunt.

Motor dengan penguat terpisah ini hanya dipakai dalam hal-hal yang istimewa, terutama pada tegangan jala-jala yang tinggi dan sebagai motor-motor angkat dipertimbangan

b. Karakteristik motor shunt

1) Karakteristik $T_a = f(I_a)$

Sesuai dengan persamaan-persamaan pada motor shunt, maka akan didapat bahwa karakteristik $T_a = f(I_a)$ adalah linier seperti dapat dilukiskan pada gambar 18.

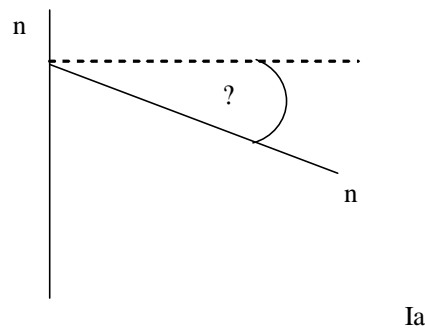


Karena ada kerugian daya, T_a tidak dimulai dari titik 0, tetapi dimulai dari titik A.

OA = arus beban kosong yaitu arus jangkar yang diperlukan untuk membangkitkan momen yaitu untuk jangkar.

Gambar 18.

2) Karakteristik $n = f(I_a)$



Berdasarkan gambar disamping dapat dijelaskan bahwa dengan mem-perbesar arus jangkar I_a , sesuai persamaan $n \propto \frac{V - I_a R_a}{c}$ maka putaran akan turun.

Gambar 19

3) Karakteristik $n = f(I_a)$

Karena, $T_a = c \cdot \Phi \cdot I_a$, di mana T_a sebanding dengan I_a maka karakteristik $n = f(T_a) =$ Karakteristik $n = f(I_a)$.

c. Motor Seri

1) Karakteristik $T_a = f(I_a)$

Sesuai dengan persamaan arus : $I_s = I_a = I$

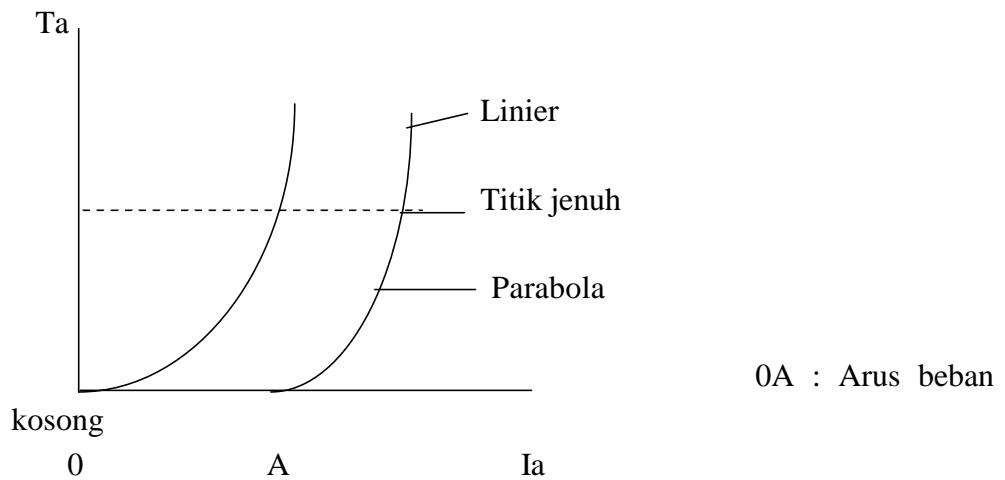
Jika beban naik, maka I , I_a dan I_s naik, sehingga fluks magnet juga naik.

Sebelum kutub jenuh, fluks magnet (Φ) sebanding dengan I_s .

Berdasarkan : $T_a = c \cdot \Phi \cdot I_a$, di mana sebelum jenuh Φ sebanding I_a maka persamaan di atas dapat ditulis : $T_a = c \cdot I_a^2$

Secara matematika, sebelum mencapai titik jenuh, grafik $T_a = f(I_a)$ merupakan parabola (fungsi kuadrant).

Setelah mencapai titik jenuh, $T_a = f(I_a)$ akan linier seperti pada gambar 20.



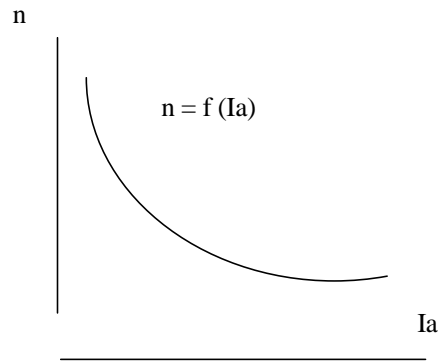
Gambar 20

2) Karakteristik $n = f(I_a)$

$$\text{Rumus : } n = \frac{V - I_a \cdot R_a}{c \cdot \Phi}$$

Jika motor seri dihubungkan dengan sumber tanpa dibebani maka $I_s =$ kecil, sehingga fluks magnet juga kecil, $I_a \times R_a$ juga kecil, maka $n =$ tinggi sekali.

Oleh karena itu untuk menekan motor seri, dalam praktek tidak diperkenankan terhubung dengan sumber dalam kondisi motor tanpa beban. Jika beban naik I_a naik dan fluks magnet naik pula, maka n motor akan turun cepat sekali, hal ini jika kutub magnet belum mencapai kejenuhan.



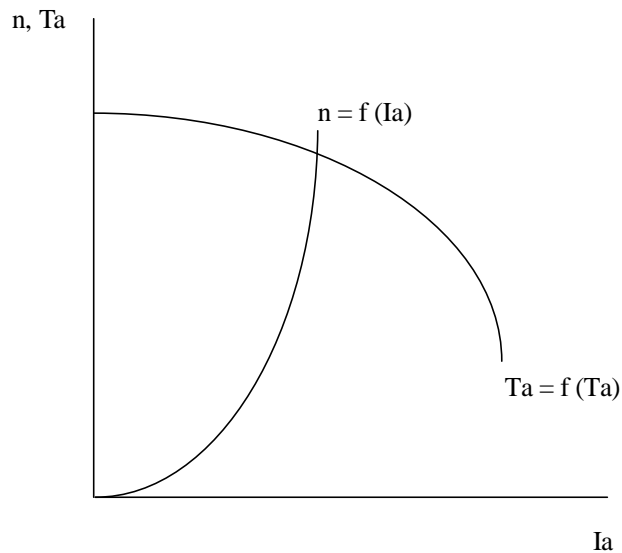
Setelah kutub magnet mencapai kejenuhan maka putaran motor seri relatif tetap atau jika mengalami penurunan, biasanya relatif kecil.

Gambar 21

3) Karakteristik $n = f(T_a)$

Karena T_a sebanding dengan I_a , maka karakteristik $n = f(T_a) =$ karakteristik $n = f(I_a)$.

d. Karakteristik motor kompon



Gambar 22.

Latihan 3.

1. Gambarkan karakteristik $T_a = f(I_a)$ dan $n = f(I_a)$ pada motor shunt.
2. Kesimpulan apa yang dapat diambil dari gambar yang anda buat.
3. Jelaskan perbedaan karakteristik motor shunt dengan motor seri.
4. Mengapa pada motor seri tidak diperkenankan untuk dioperasikan tanpa beban atau beban kosong?
5. Mengapa karakteristik $n = f(T_a)$ = Karakteristik $n = f(I_a)$ pada motor seri.

Latihan 4

1. Sebuah motor arus searah bila dijalankan atau dioperasikan putarannya terlalu tinggi. Tentukan kemungkinan yang terjadi dan bagaimana cara mengatasinya.
2. Sebuah motor arus searah pada lilitan rotornya rusak karena terbakar. Motor tersebut mempunyai data-data sebagai berikut jumlah alur 12, komutator 12, jumlah kutub 2 jenis lilitan gelung tunggal, jumlah lapis tiap sisi kumparan adalah 1 dan langkah alur diperpendek satu alur. Tentukan daftar lilitan dan gambar bentangnya.

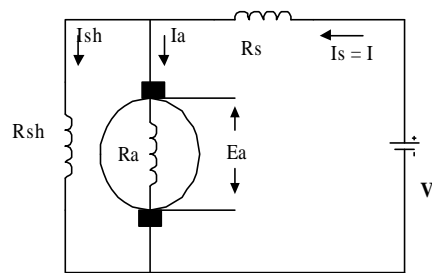
EVALUASI

Pilihlah salah satu jawaban yang dianggap paling tepat dengan memberikan tanda silang (X) pada huruf a, b, c dan d.

- Prinsip kerja motor arus searah adalah berdasarkan atas :
 - Hukum Faraday
 - Hukum Lorents
 - Hukum Lentz
 - Kaidah tangan kanan
- Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada didalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya. Pernyataan tersebut adalah bunyi hukum :
 - Hukum Faraday
 - Hukum Lorents
 - Hukum Lents
 - Hukum Ohm
- Jangkar sebuah motor arus searah dibuat berlapis-lapis. Hal ini bertujuan untuk ...
 - mengurangi arus jangkar
 - menaikkan arus jangkar
 - mengurangi arus pusar
 - menaikkan arus pusar
- Di bawah ini adalah bagian dari motor arus searah yang berfungsi sebagai penghubung (jembatan) bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan :
 - Komutator
 - Inti kutub
 - Riser
 - Sikat-sikat
- Pada prinsipnya kumparan motor arus searah terdiri atas 3 bagian, diantaranya merupakan bagian yang membangkitkan GGL lawan saat motor bekerja. Bagian tersebut adalah :
 - Kumparan
 - Sisi kumparan
 - Kepala kumparan
 - Juluran
- Di bawah ini merupakan jenis-jenis motor arus searah, kecuali ...
 - Motor seri
 - Motor shunt
 - Motor kapasitor
 - Motor universal
- Sebuah motor seri dihubungkan dengan sumber tegangan 100 Volt, pada lilitan seri mempunyai arus 10 A. Berapa arus yang mengalir pada lilitan jangkarnya bila tahanan jangkar 2,5 Ohm.

- a. 40 A
 b. 4 A
 c. 10 A
 d. 1 A
8. Seperti soal no. 7. Berapa tegangan yang terdapat pada lilitan jangkar
- a. 100 Volt
 b. 10 Volt
 c. 25 Volt
 d. 2,5 Volt

9.



Gambar disamping merupakan gambar rangkaian kelistrikan motor arus searah, yaitu motor

- a. Motor seri
 b. Motor seri - shunt
 c. Motor kompon panjang
 d. Motor kompon pendek
10. Sesuai dengan soal No. 9, bila tegangan sumber 110 Volt DC menyerap arus arus 10 A, dimana tahanan R_s dan R_a adalah 1 Ohm dan GGL lawan yang dibangkitkan sebesar 80 Volt. Berapa arus yang mengalir pada belitan shunt, jika tahanan shunt 100 Ohm.
- a. 0,3 A
 b. 0,8 A
 c. 1 A
 d. 1,1 A
11. Sesuai dengan soal No. 10, berapa arus yang mengalir pada belitan jangkar bila rugi tegangan pada sikat-sikat diabaikan.
- a. 9 A
 b. 18 A
 c. 10 A
 d. 20 A
12. Pada motor seri tidak diperkenankan untuk dioperasikan tanpa beban, karena
- a. Motor tidak berputar
 b. Putaran terlalu rendah
 c. Putarannya sedang
 d. Putarannya terlalu tinggi
13. Pada motor seri bila kutub magnet mencapai kejenuhan, maka putaran akan
- a. Naik
 b. Relatif konstan
 c. Turun
 d. Tidak menentu4

14. Karakteristik sebuah motor arus searah bila arus jangkar dinaikkan, putaran akan semakin turun. Motor tersebut adalah
- a. Motor shunt
 - b. Motor seri
 - c. Motor kompon
 - d. Semua salah
15. Motor arus searah, dimana arus penguatnya diperoleh dari sumber luar disebut
- a. Motor penguat terpisah
 - b. Motor penguat sendiri
 - c. Motor shunt
 - d. Motor seri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah dengan singkat dan jelas!

1. Gambarkan karakteristik $n = f(T_a)$ untuk motor seri, shunt dan kompon dalam satu skala.
2. Berdasarkan soal No. 1, apa yang dapat Anda simpulkan.
3. Hukum apa yang menjelaskan tentang prinsip kerja motor listrik arus searah dan bagaimana bunyinya.
4. Jangkar sebuah motor shunt dihubungkan dengan sumber tegangan 200 Volt dengan tahanan 0,3 Ohm dan mengambil arus 40 A ketika dioperasikan pada beban normal. Penurunan tegangan pada sikat-sikat 2 Volt.
 - a. Hitunglah GGL lawan (E_a)
 - b. Jika tahanan jangkar 0,4, keadaan yang lain sama. Berapa GGL lawan (E_a) yang dibangkitkan.
5. Sebuah motor arus searah yang telah selesai dililit ulang dan selanjutnya dilakukan pengujian. Hasil dari pengujian menyatakan terjadi hubung singkat dengan tanah. Sebutkan akibat-akibat motor terjadi hubung singkat dengan tanah.

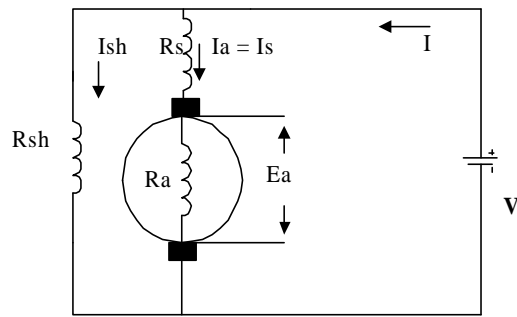
KUNCI JAWABAN

Kunci Jawaban Latihan 1

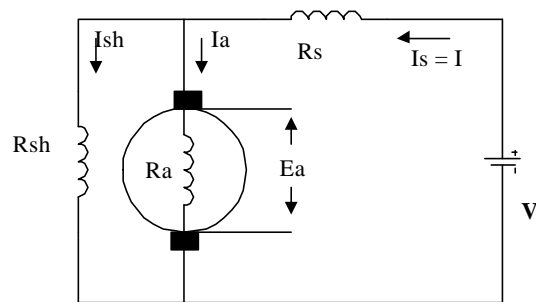
1. Motor arus searah adalah suatu alat yang berfungsi mengubah daya listrik menjadi daya mekanik.
Prinsip kerja motor listrik arus searah adalah didasarkan pada percobaan Lorents, yaitu jika sebatang kawat listrik yang berarus berada didalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan timbul suatu gaya.
2. Bagian-bagian penting motor arus searah :
 - Stator (bagian yang diam) : Badan, inti kutub magnet dan sikat-sikat
 - Rotor (bagian yang berputar) : komutator, jangkar dan lilitan jangkar
3. Fungsi dari belitan rotor adalah sebagai tempat terbentuknya GGL lawan.
4. Badan dan jangkar dibuat berlapis-lapis bertujuan untuk mengurangi arus liar/pusar (Eddy current)
5. Sisi kumparan aktif adalah bagian kawat yang menimbulkan GGL induksi (lawan) sewaktu motor bekerja.

Kunci Jawaban Latihan 2

1. Perbedaan antara motor seri dengan motor shunt adalah :
 - Tahanan lilitan penguat, pada motor shunt lebih besar dari lilitan motor seri
 - Penampang lilitan penguat, pada motor seri penampang lilitan penguat lebih besar dari lilitan penguat pada motor shunt.
 - Sistem penyambungan, untuk motor seri lilitan penguatnya disambung seri dengan lilitan jangkar, sedang pada lilitan penguat motor shunt disambung paralel dengan lilitan jangkar.
2. Gambar rangkaian motor kompon panjang dan pendek adalah :

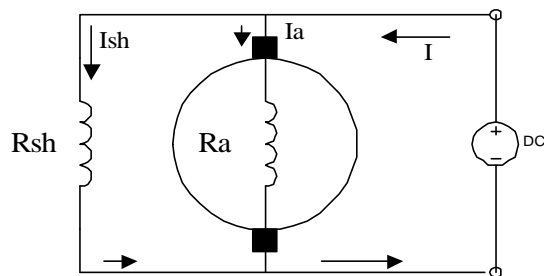


Rangkaian kelistrikan motor kompon panjang



Rangkaian kelistrikan motor kompon pendek

3. a. Gambar kelistrikan motor shunt



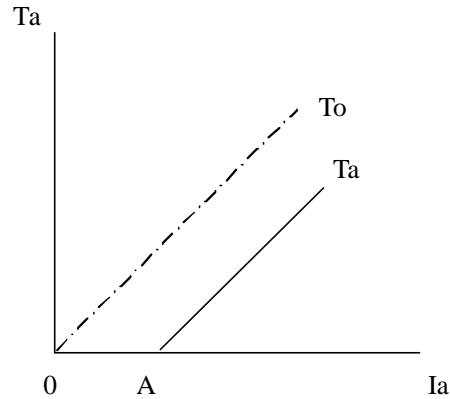
b. $I_{sh} = 0,5 \text{ A}$ dan $I_a = 29,5 \text{ A}$

4. a. $V_a = 12,5 \text{ volt}$

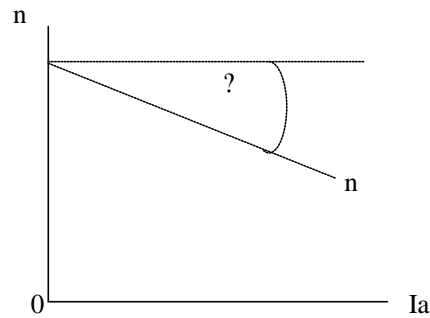
c. $V_s = 50 \text{ volt}$

Kunci Jawaban Latihan 3

1. Gambar karakteristik $T_a = f(I_a)$:



Gambar karakteristik $n = f(I_a)$:



Gambar 19

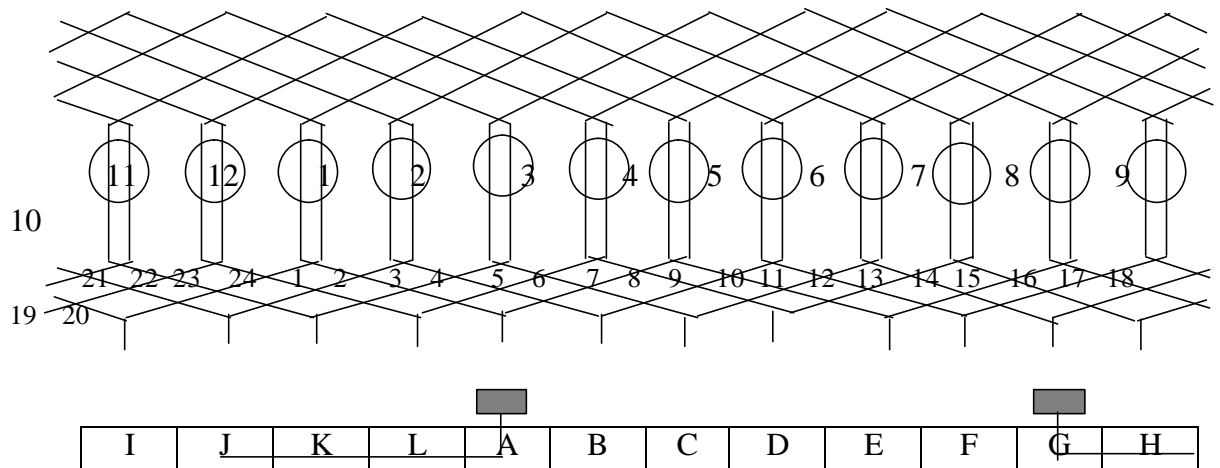
2. Pada karakteristik $T_a = f(I_a)$ dapat disimpulkan bahwa T_a tidak dimulai dari titik nol karena ada kerugian daya.
Pada karakteristik $n = f(I_a)$ dapat disimpulkan bahwa dengan memperbesar arus jangkar putaran akan menurun.
3. Perbedaan karakteristik motor shunt dan seri adalah :
Pada motor shunt bahwa dengan memperbesar arus jangkar putaran semakin turun tetapi pada motor seri dengan dipengaruhi oleh kejenuhan kutub magnet yaitu apabila kutub magnet mencapai kejenuhan putaran akan relatif konstan.
4. Karena putaran akan terlalu tinggi sehingga mengakibatkan konstruksi motor rusak.
5. Karena $T_a = c \cdot I_a$, dimana T_a sebanding dengan I_a .

Kunci Jawaban Latihan 4

1. Kemungkinan rangkaian kutubnya terputus dan cara mengatasinya adalah cari belitan mana yang putus dengan AVO meter dan sumber listrik dari luar. Kemudian lepaskan kumparan itu dari intinya dan sambung kembali kawat belitan kutub yang putus tersebut.

2

Komutator	Sisi kumparan	Komutator
A	1 - 12	B
B	3 - 14	C
C	5 - 16	D
D	7 - 18	E
E	9 - 20	F
F	11 - 22	G
G	13 - 24	H
H	15 - 2	I
I	17 - 4	J
J	19 - 6	K
K	21 - 8	L
L	23 - 10	A



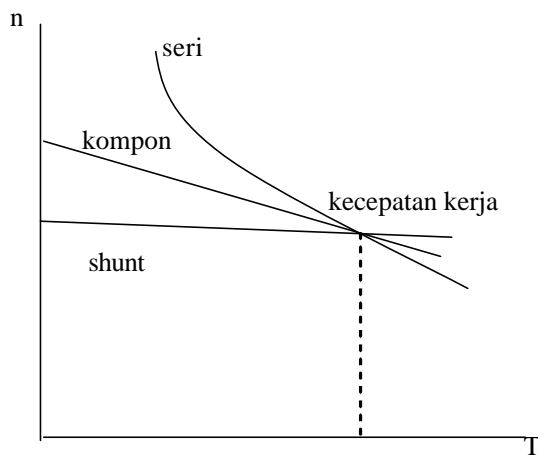
Kunci Jawaban Evaluasi

I.

- | | | |
|------|-------|-------|
| 1. B | 6. C | 11. D |
| 2. B | 7. C | 12. D |
| 3. C | 8. C | 13. B |
| 4. D | 9. D | 14. A |
| 5. B | 10. D | 15. A |

II.

1.



2. a. Kecepatan motor shunt cenderung konstan pada pembebanan yang berubah-ubah.
b. Motor seri cenderung untuk berputar sangat cepat pada keadaan beban ringan.
c. Motor kompon mempunyai karakteristik mekanis yang terletak diantara motor seri dan shunt. Kecepatannya cenderung agak konstan pada pembebanan yang berubah-ubah.
3. Hukum Lorents berbunyi :”Jika sebatang kawat penghantar berarus berada didalam medan magnet, maka pada kawat penghantar tersebut terbentuk suatu gaya”.
4. a. 186 Volt
b. 182 Volt.
5. Waktu melilit ada kawat yang tergores dan menyentuh alur, bahkan rusak waktu melilit dan pemasangan isolasi kurang tepat.

Waktu menutup badan motor ada sebagian kawat yang terjepit ataupun tergores oleh tutup tersebut, sehingga membuat hubungan dengan badan motor.

KEGIATAN BELAJAR 6

PENYEARAH

I. DIODA SEMIKONDUKTOR

a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

1. Menggambarkan struktur atom germanium dan atom silikon
2. Menjelaskan hubungan (junction) p-n semikonduktor
3. Menjelaskan cara pemberian tegangan panjar dioda
4. Menggambarkan kurva karakteristik dioda
5. Menentukan kaki anoda dan katoda pada dioda

b. Uraian Materi

Semikonduktor adalah bahan dasar untuk komponen aktif pada pesawat/peralatan elektronika, yang mempunyai dua buah sifat yang menjadi satu yaitu menghantar dan menahan arus listrik. Bahan semikonduktor yang paling banyak dipakai adalah germanium dan silikon.

1. Atom-atom Germanium dan Silikon

Atom adalah bagian terkecil dari suatu unsur, sedangkan unsur adalah suatu zat kimia yang tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat baru, yang berbeda dengan zat semula. Atom terdiri dari inti (nucleus) dan dikelilingi oleh elektron-elektron yang bergerak pada orbitnya.

Elektron adalah identik untuk semua partikel/atom. Elektron dari suatu atom dapat diganti dengan elektron dari atom yang lain. Bahan yang berbeda dapat dibuat dari atom-atom yang berbeda-beda atau kombinasi dari beberapa atom. Jumlah proton atau elektron di dalam suatu atom merupakan nomor atom. Banyak elektron pada kulit atom adalah :

$$X = 2 \cdot n^2$$

dimana : X = banyak elektron

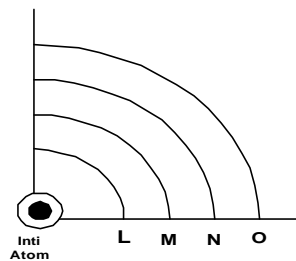
n = nomor kulit

Untuk kulit-kulit : 1 (kulit L) ----- $X = 2 \cdot 1^2 = 2$

2 (kulit M) ----- $X = 2 \cdot 2^2 = 8$

3 (kulit N) ----- $X = 2 \cdot 3^2 = 18$ dan seterusnya

Susunan atom germanium dapat dilihat pada gambar 1. Atom germanium (Ge) terdiri dari sebuah inti dan dikelilingi oleh sejumlah elektron. Elektron yang mengelilingi inti atom terletak pada kulit atom.



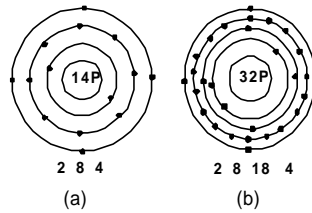
Gambar 1. Susunan atom germanium

Atom Ge mempunyai empat kulit atom yang mengelilingi inti atom. Kulit pertama disebut kulit L, elektron yang mengelilinginya sebanyak 2 buah, kulit kedua disebut kulit M dengan muatan elektron sebanyak 8 buah, kulit ketiga disebut kulit N dengan muatan elektron sebanyak 18 buah, dan kulit yang terluar disebut kulit O dengan muatan elektron sebanyak 4 buah. Kulit terluar inilah yang menentukan sifat semikonduktor Germanium.

Atom silikon terisolir Gb 2 (a) mempunyai 14 proton dalam intinya. Pada orbit pertama bergerak 2 elektron, 8 elektron bergerak pada orbit kedua dan 4 elektron pada orbit terluar atau orbit valensi. 14 elektron yang berputar menetralkan muatan dari inti atom sehingga dari luar atom (secara urutan listrik) adalah netral.

Gb 2 (b) menunjukkan atom germanium terisolir, perhatikan 32 proton dalam inti atom dan 32 elektron yang mengorbit. Dalam hal ini yang penting adalah orbit luar (orbit valensi) yang terdiri dari empat elektron, sama seperti silikon. Oleh sebab

itu silikon dan germanium disebut elemen tetra valent (tetra valent berarti mempunyai empat valensi)



Gambar 2. Susunan atom silikon dan germaium

(a) Atom silikon

(b) Atom Germanium

2. Kristal

Dewasa ini bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah kristal silikon. Namun dahulu juga digunakan unsur germanium. Kristal kalium arsenida yang terbentuk dari unsur galium dan arsen mempunyai sifat seperti unsur diatas, sehingga dapat pula digunakan untuk membentuk bahan semikonduktor. Kristal ini banyak digunakan untuk membuat lampu LED yang dipakai untuk lampu penunjuk dan laser dioda. Kristal gas As juga digunakan untuk membuat transistor yang dapat bekerja pada daerah frekwensi tinggi dalam daerah gelombang mikro.

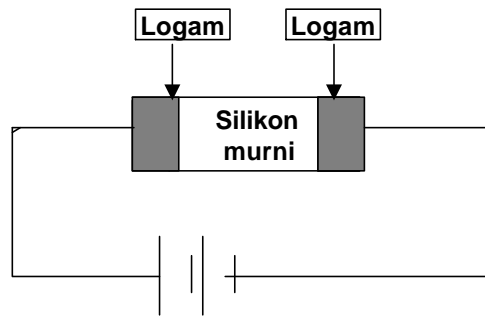
Pada suhu ruang (sekitar 25°C) kristal silikon mempunyai arus terlalu kecil untuk digunakan pada aplikasi umumnya. Pada suhu ini sepotong silikon tidak merupakan isolator maupun konduktor yang baik. Dengan alasan inilah bahan tersebut disebut bahan semikonduktor. Kristal germanium juga merupakan semikonduktor pada suhu ruang. Tetapi ada perbedaan yang penting sekali antara silikon dan germanium. Pada suhu ruang, kristal silikon mempunyai elektron bebas yang lebih sedikit daripada kristal germanium. Ini salah satu alasan mengapa silikon telah menjadi bahan semikonduktor utama dalam pemakaian masa kini.

3. Konduksi Dalam Silikon Murni

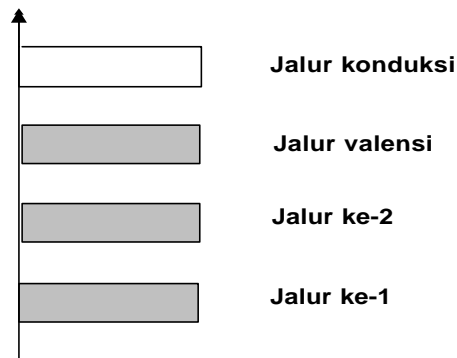
Pada sepotong kawat tembaga elektron-elektron bebas berada di dalam satu jalur energi yang disebut jalur konduksi, dimana elektron-elektron bebas ini dapat menghasilkan arus yang besar.

Gambar 3(a) memperlihatkan sebatang silikon dengan lapisan logam pada ujung-ujungnya. Suatu sumber tegangan luar membangkitkan medan listrik di antara ujung-

ujung dari kristal tersebut. Pada suhu mutlak, elektron tidak dapat bergerak melalui kristal. Semua elektron valensi diikat dengan kuat oleh atom-atom silikon, sebab mereka adalah bagian dari ikatan-ikatan kovalen di antara atom-atom. Gambar 3(b) memperlihatkan diagram jalur energi. Bila tingkat jalur yang pertama berisi penuh, elektron di jalur-jalur ini tidak dapat bergerak dengan mudah karena disitu tidak ada lintasan yang kosong. Tetapi di luar jalur valensi terdapat jalur konduksi. Jika sebuah elektron valensi dapat dinaikkan ke dalam jalur konduksi, maka elektron tersebut bebas bergerak dari satu atom ke atom di sekitarnya. Namun pada suhu nol mutlak, jalur konduksi adalah kosong, ini berarti bahwa arus tidak dapat mengalir di dalam kristal silikon.



(a)



(b)

Gambar.3. (a) Rangkaian Jalur konduksi
(b) Jalur-jalur energi pada suhu ruang

4. Lobang-Lobang (Hole-hole)

Apabila pada ikatan atom Ge tersebut terjadi perubahan suhu kamar yang cukup untuk melepaskan ikatan kovalen akan terjadi elektron bebas yang keluar dari ikatannya. Tempat yang ditinggalkan oleh elektron tersebut dinamakan lobang (hole), yang bermuatan positif. Hole maupun elektron kedua-duanya menghantarkan muatan listrik. Hantaran disebabkan oleh aliran hole yang bermuatan positif dan aliran elektron bermuatan negatif. Ikatan kovalen yang pecah menyebabkan terjadinya hole karena adanya elektron bebas yang keluar dari ikatan kovalennya.

5. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor Ekstrinsik adalah semikonduktor hasil dari penggabungan intrinsik semikonduktor dan impuriti semikonduktor. Semikonduktor yang digunakan untuk membuat dioda dan transistor adalah semikonduktor ekstrinsik, yang dibuat dari campuran bahan semikonduktor intrinsik dengan atom lain.

Semikonduktor Intrinsik yaitu semikonduktor netral (murni) dengan jumlah muatan positif +4 sama terhadap muatan negatif.

Contoh : Germanium, Silikon.

Semikonduktor Impuriti ada dua macam :

- a. Semikonduktor yang mempunyai muatan positif tiga dan muatan negatif tiga.
- b. Semikonduktor yang mempunyai muatan positif lima dan muatan negatif lima

Contoh : Arsenik.

Semikonduktor Ekstrinsik ada dua tipe, yaitu tipe P semikonduktor akan terjadi apabila semikonduktor intrinsik dicampur dengan impuriti semikonduktor bermuatan +3.

Contoh :

Ge + Indium ————— Tipe P

Tipe N akan terjadi apabila intrinsik semikonduktor di campur dengan impuriti semikonduktor bermuatan +5.

Contoh :

Ge + Arsenik ————— Tipe N

Sehingga bila sejumlah atom Ge didekatkan satu dengan lainnya maka akan terjadi ikatan kovalen antara elektron atom satu dengan yang lainnya.

6. Junction P - N

Pada teknik elektronika banyak dipakai semikonduktor dari germanium (Ge) dan silikon (Si). Dalam keadaan aslinya germanium dan silikon itu adalah bahan-bahan pelikan dan merupakan isolator. Tetapi kemudian di dalam pabrik, germanium dan silikon itu masing-masing diberi kotoran (dopping), misalnya dengan aluminium. Dari hasil pengotoran (dopping) itu diperoleh bahan semikonduktor yang disebut semikonduktor tipe-P. Disebut semikonduktor tipe-P, sebab germanium dan silikon itu sekarang menjadi kekurangan elektron, sehingga bersifat positif. Jika germanium dan silikon tersebut diberi kotoran fosfor, maka yang diperoleh adalah semikonduktor tipe-N. Dinamai semikonduktor tipe N sebab bahan ini berlebihan elektron, sehingga bersifat negatif. Pertemuan (junction) adalah daerah di mana semikonduktor tipe-P dan semikonduktor tipe-N bertemu yang nantinya dinamakan dioda junction.

7. Karakter Keping P-N

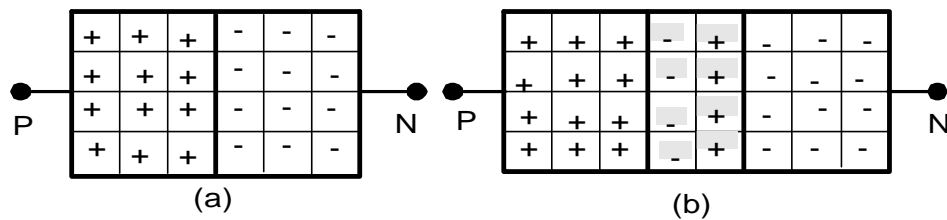
Gambar 4(a) menunjukkan dioda junction. Sisi P mempunyai banyak hole dan sisi N banyak elektron. Agar tidak membingungkan, pembawa minoritas tidak ditunjukkan tetapi perlu diketahui bahwa ada beberapa (sindikat) elektron pada sisi P dan sedikit hole pada sisi N.

Elektron pada sisi N cenderung untuk berdifusi (tersebar) ke segala arah. Beberapa berdifusi melewati junction. Jika tidak masuk daerah P, ia akan merupakan pembawa minoritas. Dengan banyak hole disekitarnya, pembawa minoritas ini mempunyai umur hidup yang singkat, segera setelah memasuki daerah P, elektron akan jatuh kedalam hole. Jika ini terjadi, hole lenyap dan elektron menjadi elektron valensi.

Setiap kali elektron berdifusi melalui junction, ia menciptakan sepasang ion. Gambar 4(b) menunjukkan ion-ion ini pada masing-masing sisi junction. Tanda positif berlingkaran menandakan ion positif dan tanda negatif berlingkaran

menandakan ion negatif. Ion tetap dalam struktur kristal karena ikatan kovalen dan tidak dapat berkeliling seperti elektron ataupun hole.

Tiap pasangan ion positif dan negatif pada gambar 4(b) disebut dipole. Penciptaan dipole berarti satu elektron dan satu hole telah dikeluarkan dari sirkulasi. Jika terbentuk sejumlah dipole, daerah dekat junction dikosongkan dari muatan-muatan yang bergerak. Kita sebut daerah yang kosong muatan ini dengan lapisan pengosongan (depletion layer).

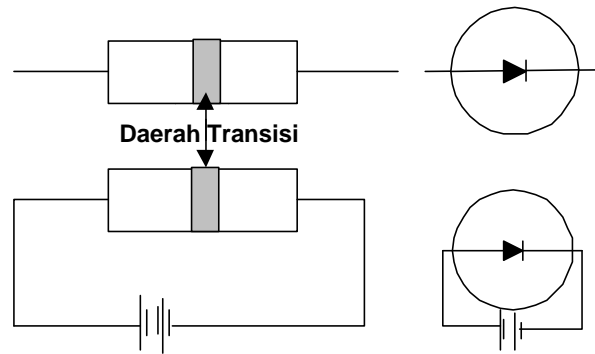


Gambar 4. (a). Sebelum difusi
(b). Sesudah difusi

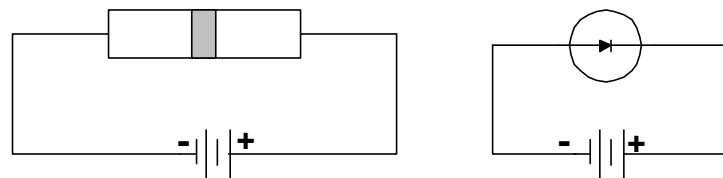
8. Tegangan Panjar Dioda

Supaya dioda dapat bekerja, maka perlu adanya tegangan yang diberikan pada dioda tersebut. Tegangan itu disebut tegangan muka. Tegangan yang diberikan pada dioda ada dua cara, bila sisi P dihubungkan dengan kutub positif baterai dan sisi N dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka tegangan muka seperti ini disebut tegangan muka maju. Pada tegangan muka maju arus listrik dapat mengalir melalui dioda.

Sedangkan apabila sisi P dihubungkan dengan kutub negatif baterai dan sisi N dihubungkan dengan kutub positif baterai, maka tegangan muka seperti ini disebut tegangan muka terbalik. Pada tegangan muka ini arus listrik tidak dapat mengalir melalui dioda.



Gambar 5. Tegangan muka maju dioda



Gambar 6. Tegangan muka balik dioda

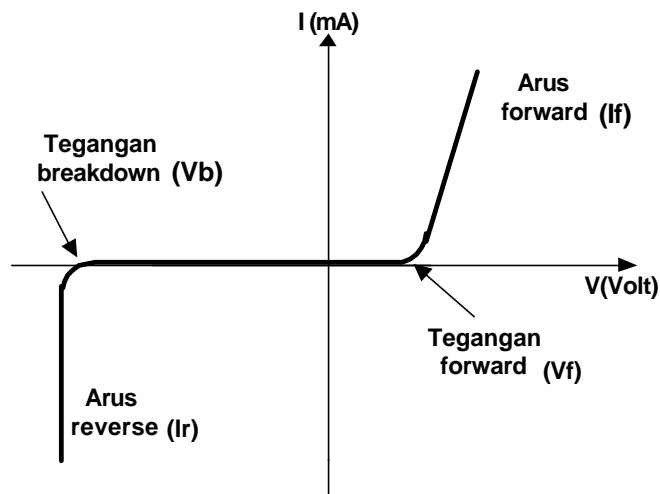
9. Kurva Karakteristik Dioda

Karakteristik dioda terdiri atas dua macam, yaitu karakteristik dioda maju pada saat diberi tegangan muka maju (forward bias) dan karakteristik dioda terbalik pada saat di beri tegangan muka balik (reverse bias).

Pada karakteristik dioda ini yang akan dibicarakan adalah karakteristik tegangan dan arus.

Pada saat tegangan maju (forward) V_f nol, maka arus maju I_f masih dalam posisi nol. Jika sedikit demi sedikit tegangan maju ditambah, maka arus maju I_f masih dalam posisi nol (sangat kecil) mengalir I_f secara besar-besaran, dalam grafik digambarkan merupakan garis lurus (grafik linear).

Sebaliknya apabila diberi tegangan balik, dioda akan tetap tidak menghantar sampai mencapai tegangan breakdown dioda tersebut. Apabila telah mencapai tegangan breakdown dioda akan menghantar dan arus reverse I_r seperti diberi tegangan maju. Besarnya tegangan maju untuk dioda jenis silikon adalah 0,7 Volt dan 0,3 untuk germanium.

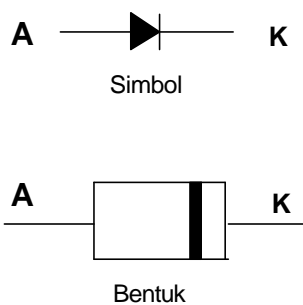


Gambar 7. Karakteristik tegangan muka maju dan terbalik

10. Penentuan Kaki Dioda

Apabila semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N, keduanya saling digabungkan satu sama lain, maka terjadilah sebuah dioda. Disebut dioda karena mempunyai dua buah kaki, masing-masing pada sisi N dan pada sisi P. Kaki-kaki ini berfungsi sebagai terminal dioda. Sisi P disebut Anoda (A) dan sisi N disebut Katoda (K).

Karena dioda dibuat dengan jalan menggabungkan kedua sisi konduktor tersebut, sehingga disebut dioda junction (lapisan) antara anoda dan katoda.



Gambar 8. Simbol dan Bentuk dioda

Bentuk dioda seperti pada gambar 8 dapat ditentukan kaki-kaki sebuah dioda yaitu kaki katoda ditandai dengan garis pada ujungnya. Cara lain adalah dengan menggunakan Ohmmeter. Dengan menghubungkan jumper Ohmmeter langsung pada kaki dioda dapat ditentukan Anoda dan Katoda dari dioda tersebut, yaitu dengan

cara menghubungkan jumper warna hitam (positif battery Ohmmeter) ke salah satu kaki dioda dan jumper warna merah (negatif battery Ohmmeter) ke kaki lainnya,

- a. Apabila jarum penunjuk Ohmmeter bergerak menuju 0 Ohm (dioda forward), kaki dioda yang terhubung dengan jumper warna hitam adalah anoda dan merah katoda.
- b. Jika jarum Ohmmeter tidak bergerak menuju 0 Ohm (dioda reverse), balikkan hubungan jumper ke kaki dioda sehingga didapatkan seperti hasil pada poin a.

Latihan 1

Jawablah soal-soal berikut ini dengan tepat dan benar :

1. Mengapa atom germanium dan silikon disebut elemen tetravalen ?
2. Apa yang dimaksud dengan dioda junction ?
3. Jelaskan yang dimaksud dengan tegangan muka dioda.
4. Gambarkan bentuk karakteristik tagangan maju muka dioda.
5. Sebutkan dua cara penentuan kaki anoda dan katoda sebuah dioda.

II. DIODA PENYEARAH

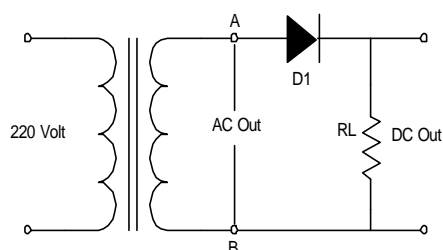
a. Tujuan Kegiatan Belajar

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

1. Menjelaskan prinsip kerja penyearah dioda setengah gelombang.
2. Menjelaskan prinsip kerja penyearah gelombang penuh menggunakan dua dioda.
3. Menjelaskan prinsip kerja penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan.
4. Menjelaskan prinsip kerja penyearah gelombang dengan filter kapasitor.
5. Menjelaskan fungsi dioda sebagai pelipat tegangan.
6. Menyebutkan fungsi rangkaian clipper dioda.
7. Menjelaskan prinsip kerja rangkaian clipper positif.
8. Menjelaskan prinsip kerja rangkaian clipper negatif.
9. Menjelaskan prinsip kerja rangkaian clipper di bias.
10. Menjelaskan prinsip kerja rangkaian clipper kombinasi.
11. Menyebutkan fungsi rangkaian clamper.
12. Menjelaskan prinsip kerja rangkaian clamper.

b. Uraian Materi

3.1. Dioda sebagai Penyearah Setengah Gelombang



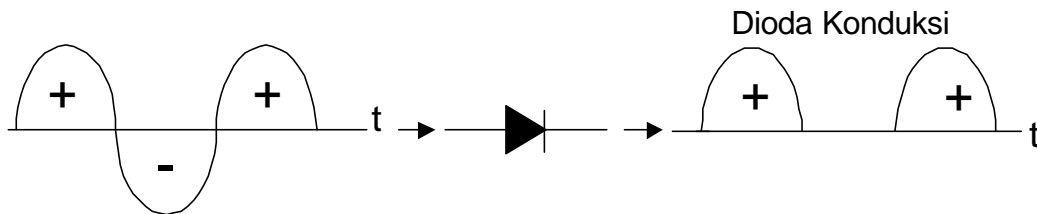
Gambar 9. Rangkaian penyearah setengah gelombang

Prinsip kerja :

Jika A positif (+), B negatif (-), maka dioda konduksi (bekerja) sehingga arus akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo.

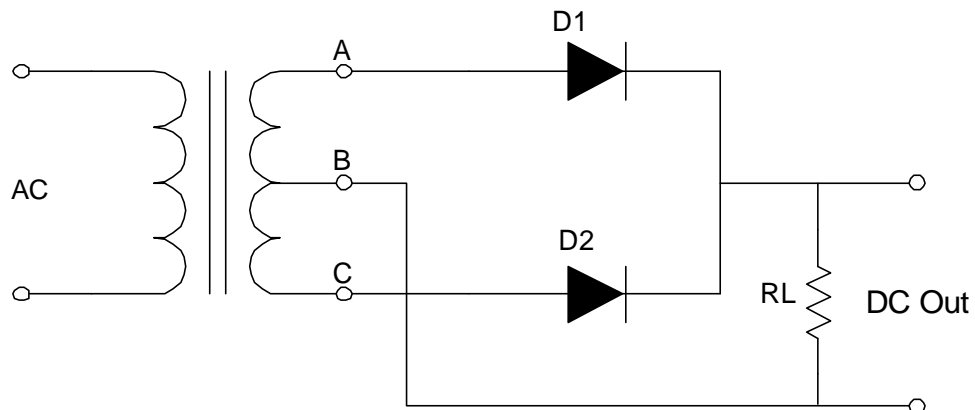
Saat A negatif (-), B positif (+), maka dioda tidak konduksi/tidak bekerja sehingga arus tidak mengalir.

Kejadian ini berlangsung terus-menerus sehingga bentuk gelombangnya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 10. Bentuk gelombang output penyearah setengah gelombang

3.2. Dioda Sebagai Penyearah Gelombang Penuh Dengan Dua Dioda



Gambar 11. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dua dioda

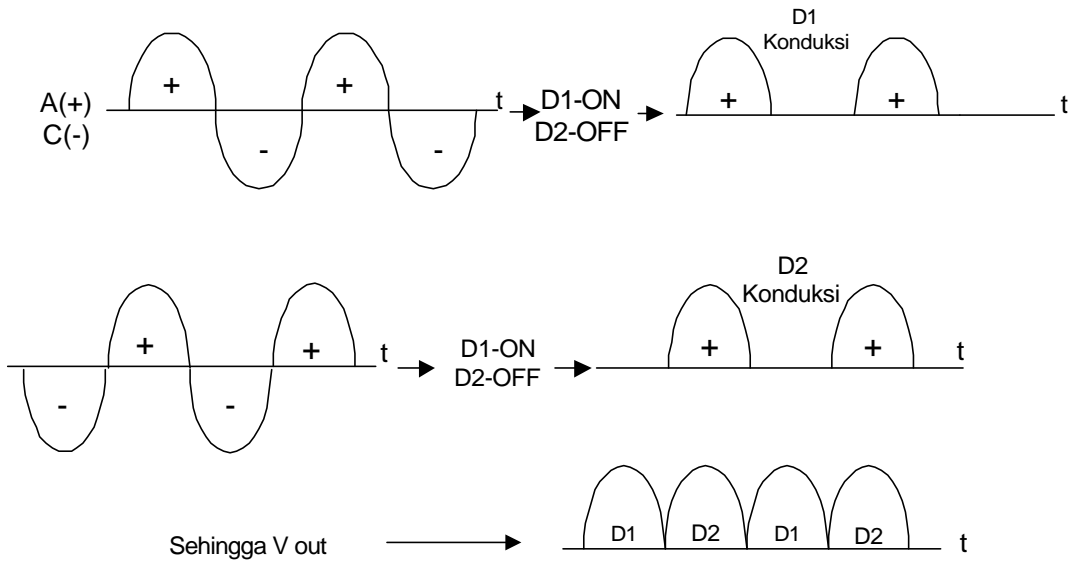
Prinsip kerja :

Pada rangkaian penyearah gelombang penuh dua dioda diperlukan transformator yang mempunyai CT (Center Tap). Gelombang sinyal pada titik A selalu berbeda fasa 180° terhadap titik C, titik B sebagai nolnya.

Jika titik A positif (+), titik C negatif (-), maka D1 akan konduksi, kemudian arus mengalir akan menuju RL dan kembali ke trafo (titik B).

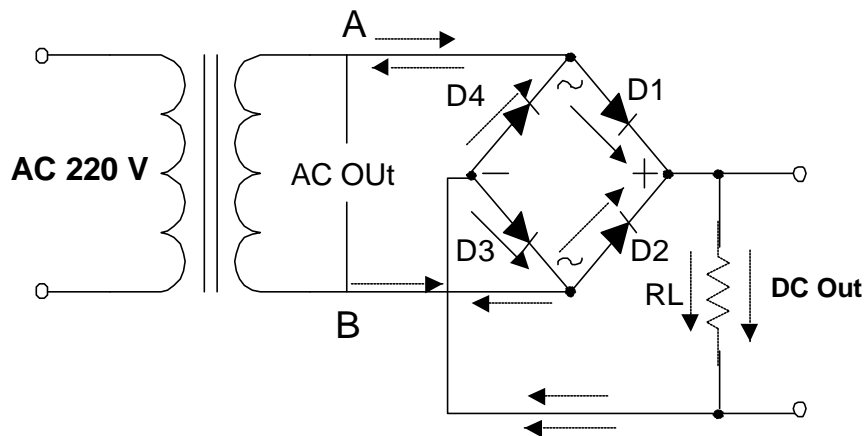
Jika titik C positif (+), titik A negatif (-), maka D2 akan konduksi, kemudian arus akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo (titik B).

Kejadian ini akan berlangsung berulang dan gelombang/sinyalnya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 12. Gelombang output penyearah gelombang penuh dengan dua dioda

3.3. Dioda sebagai Penyearah Gelombang Penuh dengan Sistem Jembatan (bridge)



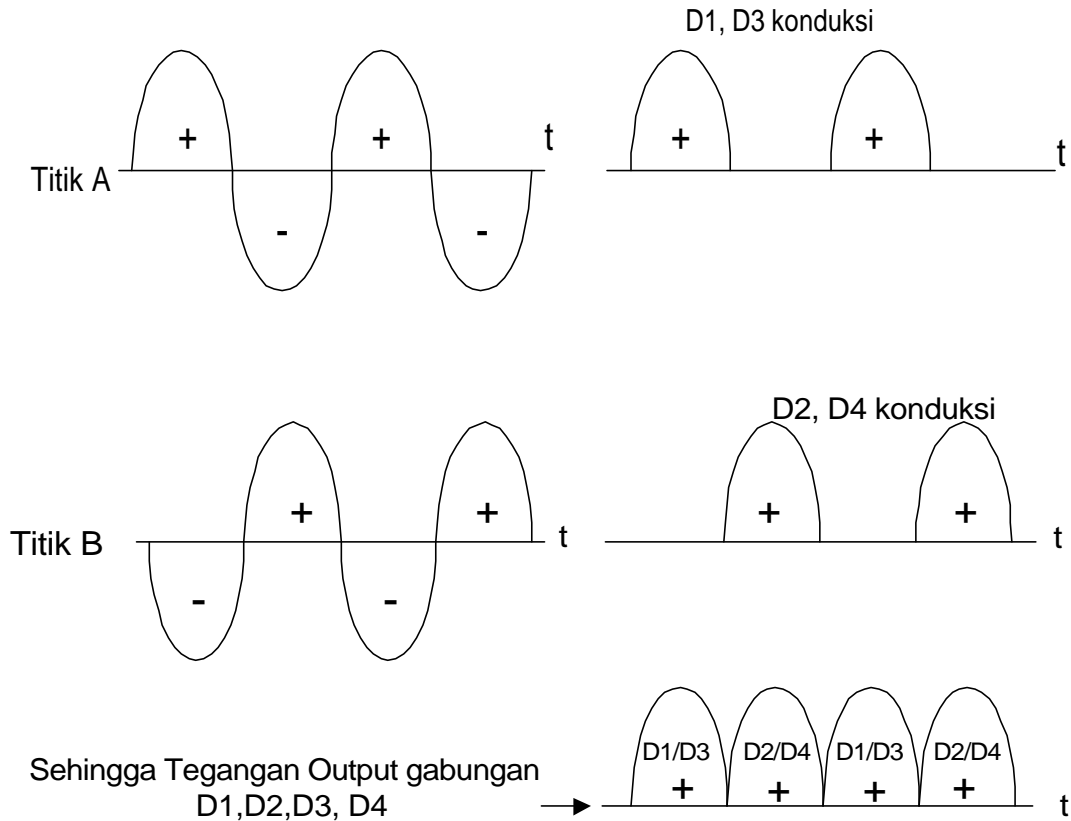
Gambar 13. Rangkaian penyearah gelombang penuh sistem jembatan

Prinsip Kerja :

Jika A positif (+), B negatif (-), maka D1 konduksi, arus akan mengalir menuju R_L dan D3 menuju titik B (perhatikan arah panah).

Saat B positif (+), A negatif (-), maka D2 konduksi, arus akan mengalir menuju R_L dan D4 menuju titik B (perhatikan arah panah putus-putus).

Kejadian ini berulang secara terus-menerus sehingga gelombang/sinyalnya dapat digambarkan sebagai berikut :

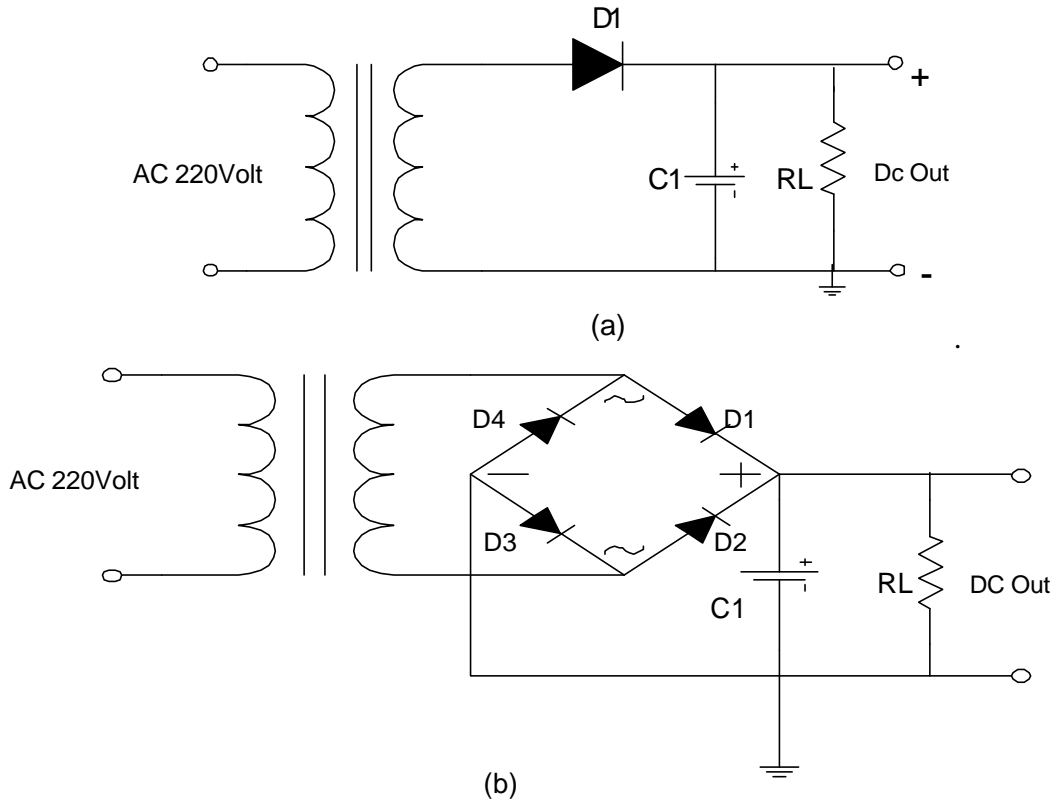


Gambar 14. Gelombang output penyearah sistem jembatan

3.4. Dioda Sebagai Penyearah Gelombang dengan Filter Kapasitor

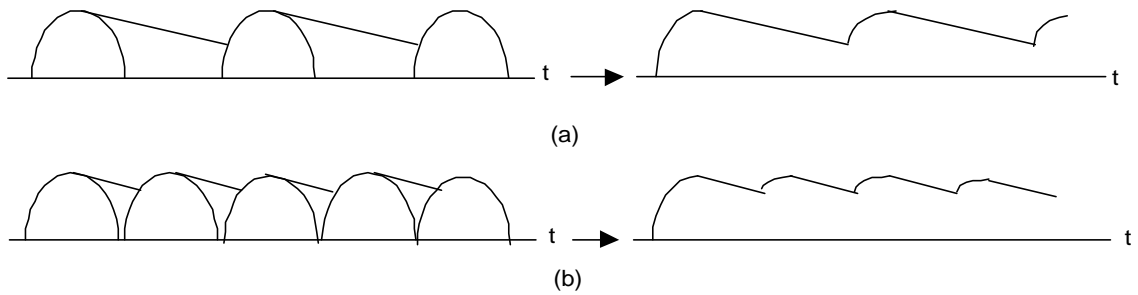
Karena bentuk gelombang output dari rangkaian penyearah gelombang masih berbentuk pulsa maka gelombang ini perlu untuk diratakan yaitu dengan menggunakan rangkaian filter, diantaranya yaitu dengan menambahkan filter kapasitor.

Penyearah gelombang dengan filter kapasitor adalah menambahkan kapasitor pada output penyearah yang dipasang paralel dengan beban resistor (R_L). Pemasangan filter ini berlaku untuk penyearah setengah gelombang dan gelombang penuh



Gambar 15. Penyearah dengan filter kapasitor
(a) Setengah gelombang
(b) Gelombang penuh

Filter kapasitor bekerja berdasarkan waktu pengisian dan pembuangan (RC). Pada saat dioda konduksi, kapasitor mengisi muatan, dan selama dioda tidak konduksi kapasitor akan membuang muatan sehingga dihasilkan tegangan searah yang lebih merata. Kejadian ini berlangsung terus-menerus sehingga dihasilkan bentuk gelombang output sebagai berikut :

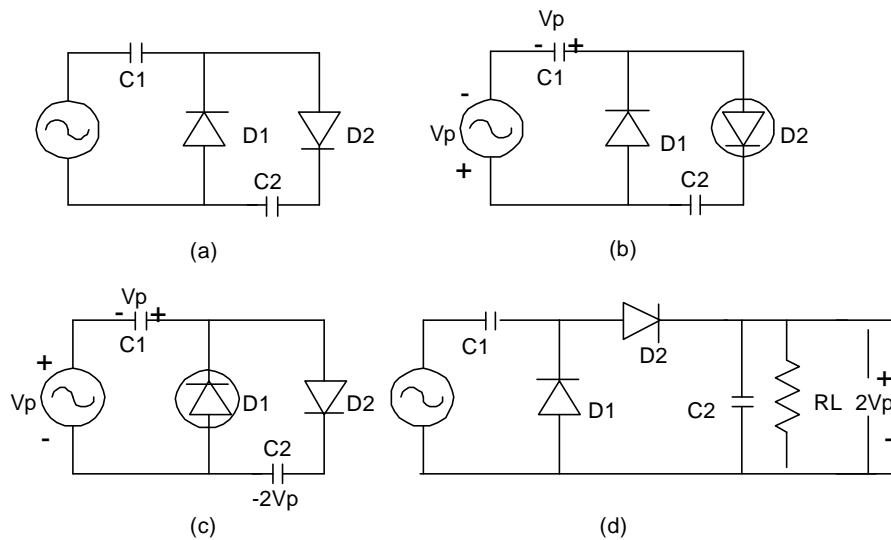


Gambar 16. Output penyearah dengan filter kapasitor
(a) Penyearah setengah gelombang
(b) Penyearah gelombang penuh.

3.5. Rangkaian Pelipat Tegangan (Voltage Multiplier)

Pelipat tegangan (voltage multiplier) adalah dua atau lebih penyearah gelombang yang menghasilkan tegangan dc sama dengan perkalian dari tegangan puncak input ($2V_p$), $3V_p$, $4V_p$, dan seterusnya).

a. Voltage Doubler



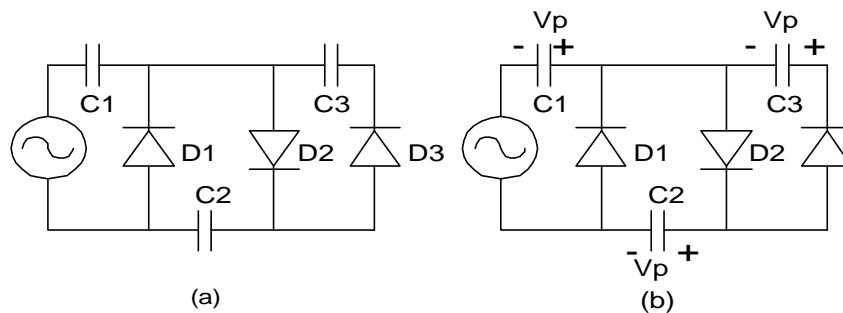
Gambar 17. Voltage Doubler

Gambar 17(a) adalah voltage doubler yang merupakan, hubungan dari dua penyearah puncak. Pada puncak dari setengah siklus negatif D_1 terbias forward dan D_2 terbias reverse. Siklus ini akan mengisi C_1 sampai tegangan puncak V_p dengan polaritas seperti yang ditunjukkan pada gambar 17(b). Pada setengah siklus berikutnya, D_1

terbias reverse dan D_2 terbias forward. Karena sumber dan C_1 terpasang seri, C_2 akan mencoba diisi sampai $2V_p$. Setelah beberapa siklus, tegangan pada C_2 akan $2V_p$ seperti ditunjukkan pada gambar 17(c).

Dengan menggambar kembali rangkaian dan menghubungkan resistansi beban, diperoleh gambar 17(d). Selama R_L jauh lebih besar, tegangan output kira-kira sama dengan $2V_p$. Jika diberikan beban ringan (konstanta waktu panjang) tegangan output dua kali tegangan puncak input.

b. Voltage tripler



Gambar 18. Pelipat tegangan 3 kali (Voltage Tripler)

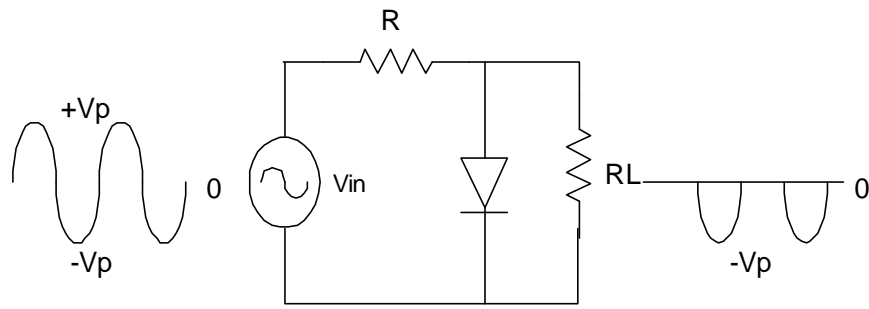
Dengan menambahkan satu seksi lagi, dapat diperoleh voltage tripler. Dua penyearah puncak pertama berlaku sebagai doubler. Pada puncak setengah siklus negatif, D_3 terbias forward dan mengisi C_3 sampai $2V_p$ dengan polaritas seperti ditunjukkan pada gambar. Output triple terjadi pada C_1 dan C_3 . Resistansi beban dihubungkan pada output tripler. Selama konstanta waktunya panjang, output kira-kira sama dengan $3V_p$.

3.6 Rangkaian Clipper

Rangkaian clipper digunakan untuk membuang tegangan sinyal di atas atau di bawah level tegangan tertentu.

a. Clipper positif

Clipper positif adalah rangkaian yang membuang bagian positif dari sinyal.

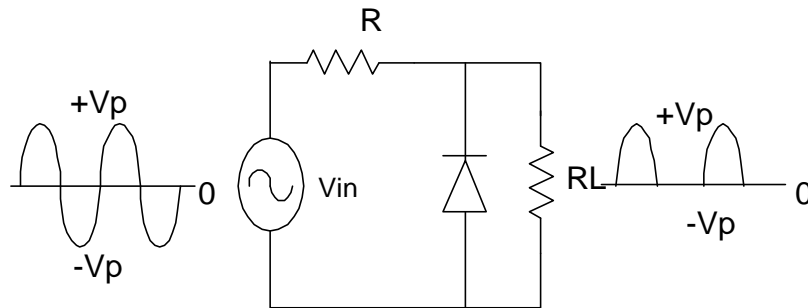


Gambar 19. Clipper positif

Cara kerja rangkaiannya yaitu selama setengah siklus positif tegangan input, dioda konduksi. Dioda terhubung singkat dan tegangan pada beban R_L saat siklus positif ini sama dengan nol. Selama setengah siklus negatif, dioda terbias reverse dan terbuka. Dengan harga R_L yang jauh lebih besar dari R dihasilkan tegangan output dengan harga mendekati $-V_p$. Maka pada clipper positif ini sinyal di atas level 0 volt akan dipotong.

b. Clipper Negatif

Clipper negatif adalah rangkaian yang membuang bagian negatif dari sinyal.

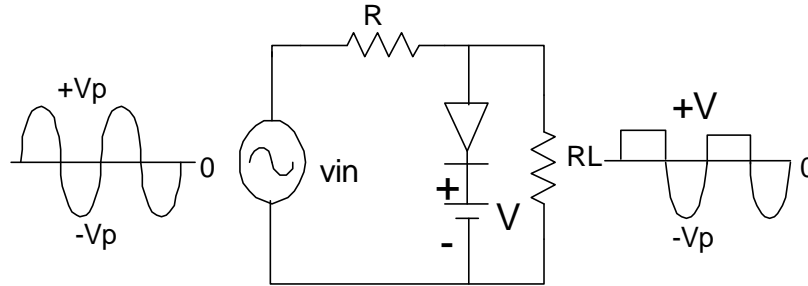


Gambar 20. Clipper negatif

Cara kerjanya adalah kebalikan dari clipper positif yaitu dioda konduksi saat setengah siklus negatif, output pada beban R_L nol karena diodanya menghantar sehingga terhubung singkat. Selanjutnya saat dioda reverse saat setengah siklus positif, dengan harga R_L jauh lebih besar dari R akan dihasilkan output mendekati harga V_p .

c. Clipper Di bias

Clipper dibias ini digunakan untuk mendapatkan level pemotongan tidak 0 Volt. Dengan clipper di bias dapat digeser level pemotongan pada level positif atau negatif yang diinginkan.



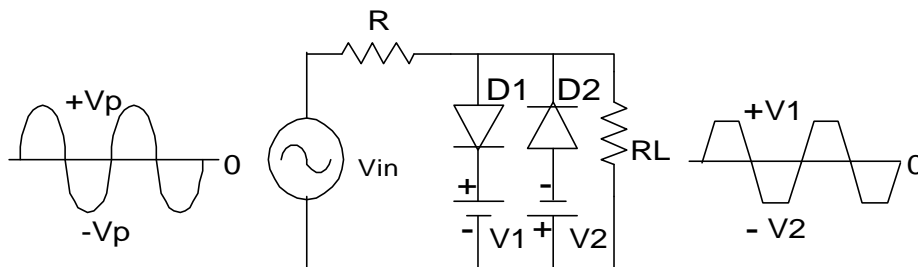
Gambar 21. Clipper di bias positif

Pada clipper di bias positif ini, agar dioda dapat konduksi maka tegangan input harus lebih besar daripada +V. Ketika V_{in} lebih besar dari pada +V, dioda berlaku seperti saklar tertutup dan tegangan pada output sama dengan +V. Ketika tegangan input kurang dari +V, dioda terbuka dan karena harga R_L jauh lebih besar dari R maka hampir seluruh tegangan input muncul pada output. Rangkaian clipper di bias positif ini bekerja akan membuang semua sinyal di atas level +V.

Sebaliknya untuk rangkaian clipper di bias negatif akan membuang semua sinyal di bawah level -V.

.d. Clipper Kombinasi

Dengan penggabungan clipper di bias positif dan di bias negatif dapat dirancang clipper kombinasi.

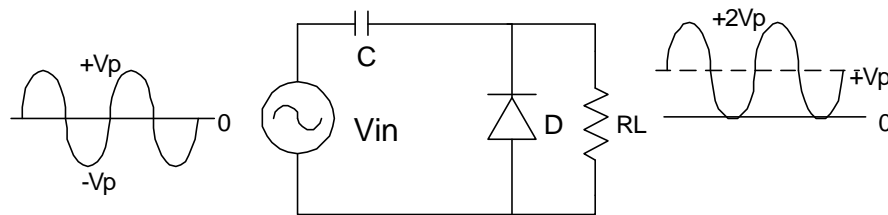


Gambar 22 . Clipper kombinasi

Cara kerjanya adalah Dioda D1 konduksi ketika tegangan input lebih besar dari $+V_1$. Oleh sebab itu tegangan output sama dengan $+V_1$. Sebaliknya ketika V_{in} lebih negatif daripada $-V_2$, dioda D2 konduksi. Maka tegangan output sama dengan $-V_2$. . Ketika V_{in} terletak antara $+V_1$ dan $-V_2$, tidak ada dioda yang konduksi.

6. Rangkaian Clamper

Rangkaian clamper adalah rangkaian untuk mendorong sinyal ke atas atau ke bawah dengan tetap mempertahankan bentuk sinyal aslinya. Clamper yang mendorong sinyal ke atas yang mengakibatkan puncak negatif jatuh pada level 0 Volt disebut clamper positif. Sedangkan clamper yang mendorong sinyal ke bawah yang mengakibatkan puncak level positif jatuh pada level 0 Volt dinamakan clamper negatif.



Gambar 23. Rangkaian Clamper positif

Cara kerjanya adalah:

Pada setengah siklus negatif pertama dari tegangan input dioda konduksi dan kapasitor mengisi muatan sampai V_p . Sedikit di bawah puncak negatif, dioda akan off, konstanta waktu $R_L C$ sengaja dibuat lebih besar daripada perioda T sinyal input. Dengan demikian, kapasitor hampir tetap terisi penuh waktu dioda off. Setelah terisi kapasitor akan berlaku seperti baterai, dan selanjutnya output yang dihasilkan akan terangkat secara vertikal ke atas dengan puncak negatif jatuh pada level 0 Volt tanpa mengubah bentuk sinyal aslinya.

Latihan 2

Jawablah soal-soal berikut ini dengan ringkas dan tepat

1. Suatu dioda penyearah digunakan pada sirkuit sumber daya. Jelaskan arti penyearah pada rangkaian tersebut.
2. Sebutkan fungsi kapasitor pada rangkaian penyearah yang dipasang paralel dengan beban.
3. Jenis trafo yang digunakan pada rangkaian penyearah gelombang penuh memakai dua buah dioda adalah trafo
4. Jelaskan fungsi rangkaian clipper dioda .
5. Jelaskan fungsi rangkaian clamper.