

**MODUL PEMBELAJARAN**

**KODE : MKH.LI (1).01 ( 80 Jam )**

**TEKNIK LISTRIK**

BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN  
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK PEMBANGKITAN



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
GLOSARRY/PERISTILAHAN .....	v
I PENDAHULUAN .....	1
A. Deskripsi .....	1
B. Prasyarat .....	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul .....	2
D. Tujuan Akhir.....	3
E. Standar Kompetensi.....	4
F. Cek Kemampuan .....	6
II PEMBELAJARAN .....	7
A. RENCANA BELAJAR PESERTA DIKLAT.....	7
B. KEGIATAN BELAJAR. ....	8
Kegiatan Belajar 1 .....	8
A. Tujuan Kegiatan .....	8
B. Uraian Materi .....	8
C. Rangkuman 1 .....	18
D. Tugas 1 .....	20
E. Test Formatif 1 .....	21
F. Jawaban Test Formatif 1 .....	25
Kegiatan Belajar 2 .....	26
A. Tujuan Kegiatan .....	26
B. Uraian Materi .....	26
C. Rangkuman 2 .....	48
D. Tugas 2 .....	50
E. Test Formatif 2 .....	52

F.	Jawaban Test Formatif 2 .....	55
G.	Lembar Kerja Praktek.....	56
III	EVALUASI .....	58
IV	PENUTUP .....	65
	DAFTAR PUSTAKA .....	66
	LAMPIRAN .....	68

# I. PENDAHULUAN

## DESKRIPSI MODUL

Modul ini berjudul “Teknik Listrik” merupakan salah satu bagian dari keseluruhan tujuh judul modul, dimana enam modul lainnya adalah : gambar listrik, ilmu bahan listrik, alat ukur dan pengukuran, kesehatan dan keselamatan kerja, perkakasa peralatan kerja, dan elektronika daya. Ketujuh judul modul ini diturunkan melalui analisis kebutuhan pembelajaran dari unit kompetensi memelihara instalasi listrik K.HLI (1) pada sub kompetensi 1 tentang teknik listrik. Pengembangan isi modul ini diarahkan sedemikian rupa, sehingga materi pembelajaran yang terkandung didalamnya disusun berdasarkan topik-topik selektif untuk mencapai kompetensi dalam memelihara instalasi listrik.

**Pengetahuan :** Memahami dasar-dasar teknik listrik, konsep kemagnetan, dan dasar pembangkitan tenaga listrik yang akan digunakan dalam teknik ketenagalistrikan.

**Keterampilan :** Melakukan pemilihan jenis pembangkit tenaga listrik yang sesuai dengan kebutuhan yang akan digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

**Sikap :** Penentuan dan pemilihan jenis pembangkit listrik yang cocok untuk digunakan sebagai keperluan dalam kehidupan sehari-hari.

## PRASYARAT

### **Pendidikan Formal**

Telah menyelesaikan pendidikan setara Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) atau sederajat.

### **Kaitan dengan modul/kemampuan lain**

Tidak ada, karena merupakan mata ajar konsep dasar yang diberikan pada tingkat pertama.

## **PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL**

### **1. Petunjuk bagi siswa**

Langkah-langkah belajar yang ditempuh :

- a. Baca petunjuk kegiatan belajar pada setiap modul kegiatan belajar
- b. Baca tujuan dari setiap modul kegiatan belajar
- c. Pelajari setiap materi yang diuraikan/dijelaskan pada setiap modul kegiatan
- d. Pelajari rangkuman yang terdapat pada setiap akhir modul kegiatan belajar
- e. Baca dan kerjakan setiap tugas yang harus dikerjakan pada setiap modul kegiatan belajar
- f. Tanyakan kepada pengajar (guru) yang bertanggung jawab terhadap paket pembelajaran, ini apabila menemukan kesulitan atau ada materi yang belum dimengerti
- g. Kerjakan dan jawablah dengan singkat dan jelas setiap ada ujian akhir modul kegiatan belajar (test formatif)

### **2. Peran guru**

- a. Menjelaskan petunjuk-petunjuk kepada siswa yang masih belum mengerti
- b. Mengawasi dan memandu siswa apabila ada yang masih kurang jelas
- c. Menjelaskan materi-materi pembelajaran yang ditanyakan oleh siswa yang masih kurang dimengerti
- d. Membuat pertanyaan dan memberikan penilaian kepada setiap siswa

## **TUJUAN AKHIR**

Setelah mengikuti/ menyelesaikan kegiatan-kegiatan belajar dari modul ini , diharapkan siswa memiliki spesifikasi kinerja sebagai berikut :

- a. Memahami tentang dasar-dasar elektro statis yang akan digunakan dalam teknik listrik
- b. Memiliki pengetahuan dan pemahaman pengertian dari elektro dinamis yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari.

- c. Memiliki pengetahuan tentang dasar-dasar hukum arus searah yang digunakan dalam teknik listrik.
- d. Mampu menyelesaikan persoalan-persoalan rangkaian listrik arus searah yang banyak digunakan dalam teknik listrik.
- e. Memahami konsep dasar elektromagnetik dan mengetahui aplikasinya dalam bidang teknik listrik.
- f. Mampu menganalisis perhitungan-perhitungan tentang kuantitas kemagnetan yang banyak digunakan dalam bidang teknik listrik.
- g. Memahami konsep dasar induktansi dan kapasitansi serta perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan komponen-komponen tersebut.
- h. Memahami konsep-konsep dasar induksi elektromagnet dan aplikasinya dalam bidang teknik ketenagalistrikan.
- i. Memiliki pengetahuan dasar arus listrik bolak-balik satu fasa, proses pembangkitannya, serta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.
- j. Mengetahui dan memahami tentang arus listrik bolak-balik sistem fase tiga dan aplikasinya di masyarakat.

## **STANDAR KOMPETENSI**

**Kode Kompetensi** : K.HLI (1) 01

**Unit Kompetensi** : Teknik Listrik

**Ruang Lingkup** :

Unit kompetensi ini berkaitan dengan Memasang komponen-komponen teknik listrik pada sistem distribusi tenaga listrik tenaga listrik bidang keahlian ketenagalistrikan

**Sub Kompetensi 1 :**

Merencanakan jenis komponen listrik yang akan digunakan untuk keperluan teknik distribusi tenaga listrik

**KUK :**

1. Sifat-sifat komponen listrik dipelajari sesuai fungsi dan tujuan
2. Macam-macam elektrostatik
3. Macam-macam elektrodinamis

4. Macam-macam hukum dan rangkaian arus searah
5. Macam elektromagnetis dan kuan-titas kemagnetan
6. Induktansi dan proses induksi elektromagnetik
7. Arus dan tegangan bolak-balik sistem satu fasa dan tiga fasa

**Sub Kompetensi 2 :**

Melakukan pemilihan jenis komponen listrik yang akan digunakan dalam sistem distribusi listrik

**KUK :**

1. Mengidentifikasi maksud, tujuan dan fungsi dari komponen listrik, seperti : generator, aki, baterai, jenis beban resistif, induktif, atau kapasitif, dll.
2. Memilih komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan yang ditetapkan

**Sub Kompetensi 3 :**

Memasang / menerapkan komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan

**KUK :**

1. Mengikuti prosedur / ketentuan pema-sangan komponen listrik sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan
2. Mengikuti aturan sesuai dengan SOP

**Sub Kompetensi 4 :**

Membuat Berita Acara Hasil Pemasangan

**KUK :**

1. Data hasil pemasangan dicatat dalam laporan pemasangan komponen
2. Berita acara dibuat sesuai format yang telah ditetapkan lembaga

Kode Modul : MKH LI (1) 01

## CEK KEMAMPUAN

Daftar Pertanyaan	Tingkat Penguasaan (score : 0 – 100 )
1. Apakah siswa sudah memahami sifat-sifat komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan ?	
2. Apakah siswa mampu menyebutkan dan menjelaskan macam-macam elektrostatik ?	
3. Apakah siswa mampu menyebutkan dan menjelaskan macam-macam elektrodinamis ?	
4. Apakah siswa mampu menyelesaikan persoalan rangkaian pada teknik listrik arus searah dengan hukum-hukum yang rangkaian yang ada ?	
5. Apakah siswa dapat menjelaskan proses terjadinya elektromagnetik beserta besaran (kuantitas) kemagnetannya yang berhubungan dengan teknik listrik ?	
6. Apakah siswa dapat membedakan maksud, tujuan dan fungsi dari induktansi dan induksi elektromagnetik yang digunakan dalam teknik listrik ?	
7. Apakah siswa mampu menjelaskan proses terjadinya arus bolak-balik dan peralatan yang terkait dengan sistem tersebut ?	
8. Apakah siswa telah mengikuti prosedur / ketentuan pemasangan komponen teknik listrik sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan ?	
9. Apakah siswa telah mengikuti aturan sesuai dengan SOP ?	
10. Apakah siswa telah mencatat data hasil pemasangan dalam laporan pemasangan komponen ?	
11. Apakah siswa telah membuat berita acara sesuai format yang telah ditetapkan lembaga bersangkutan ?	

## II. PEMBELAJARAN

### A. RENCANA BELAJAR SISWA

Jenis kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat belajar	Alasan perubahan	Tanda tangan guru
1. Merencanakan jenis komponen listrik yang akan digunakan untuk keperluan teknik distribusi tenaga listrik					
2. Melakukan pemilihan jenis komponen listrik yang akan digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik					
3. Memasang / menerapkan komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan					
4. Membuat Berita Acara Hasil Pemasangan					

## B. KEGIATAN BELAJAR

### 1. Kegiatan Belajar 1

## ELEKTRO STATIS

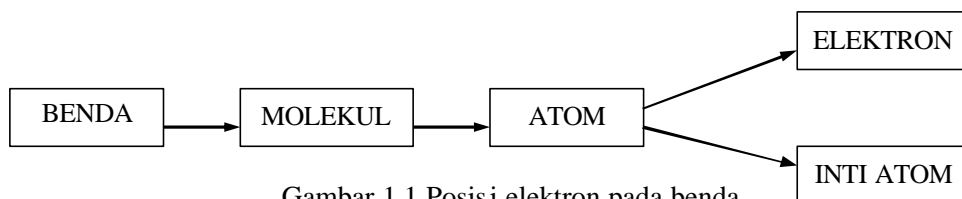
#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 1 :

- Siswa memahami dasar-dasar teori elektrostatik dan mampu menerapkannya

#### b. Uraian Materi 1 :

##### 1.1 Teori Elektron

Pada dasarnya elektron terdapat pada setiap benda, baik padat, cair, maupun gas. Lebih jelasnya kedudukan elektron di dalam susunan sebuah benda diuraikan seperti gambar 1.1.



Gambar 1.1 Posisi elektron pada benda

#### a. Benda

Benda merupakan sesuatu yang dapat diraba atau dilihat dengan mata (bersifat visual) dan mempunyai bobot (karena gravitasi bumi) dan mengambil ruang tertentu.

Berdasarkan jenisnya, bentuk benda terdiri dari :

- *benda padat*, misalnya : kapur, kayu, besi, dan lain-lain.
- *benda cair*, misalnya : air, minyak, oli, dan lain-lain.
- *benda gas*, misalnya : oksigen, hidrogen, karbondioksida, dan lain-lain.

#### b. Molekul

Molekul adalah bagian terkecil dari suatu benda yang masih dapat dibagi-bagi lagi dan tetap memiliki unsur kimiawi dari benda tersebut. Berarti molekul air masih mengandung unsur air, molekul kayu masing mengandung unsur kayu, dan lain-lain.

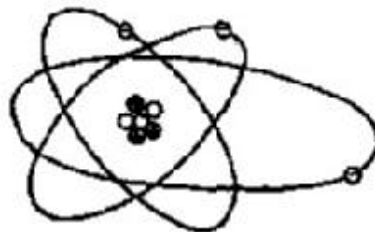
### c. Atom

Atom berasal dari kata *atomos* (bahasa Yunani) yang berarti tidak dapat dibagi-bagi, sehingga filosof Yunani pertama-tama mengartikan bagian terkecil dari suatu benda yang tidak dapat dibagi lagi. Tetapi setelah ditemukannya gejala *radioaktivitas*, anggapan itu tidak dapat dipertahankan lagi.

Kini atom dianggap terdiri dari *elektron* dan *inti atom*. Elektron (satu atau lebih) pada atom selalu bergerak mengelilingi inti atom atau *nucleus*. Pendapat yang didasarkan pada model atom Rutherford dan Bohr yang menyatakan bahwa nucleus mempunyai muatan listrik positif dan elektron mempunyai muatan listrik negatif. Sifat atom jauh berbeda dengan molekul, dimana pada atom sudah tidak ada lagi sifat asli benda asalnya. Sebagai contoh : molekul air ( $H_2O$ ) terdiri dari atom  $H_2$  (H : hydrogenium zat cair) dan atom O (O : oksigen zat asam). Sifat atom H dan atom O banyak berbeda dengan molekul air.

## 1.2 Atom dan Molekul

Bentuk benda padat, cair maupun gas tersusun dari bahan yang terdiri atas molekul-molekul, dimana molekul adalah bagian terkecil dari suatu bahan yang masih dapat dibagi-bagi lagi dan masih tetap mengandung unsur bahan tersebut. Molekul sendiri terdiri atas *atom* dimana atom tersusun dari sebuah *inti (nucleus)* yang dikitari oleh *elektron* dengan kecepatan yang tinggi, seperti dijelaskan pada gambar 1.2.

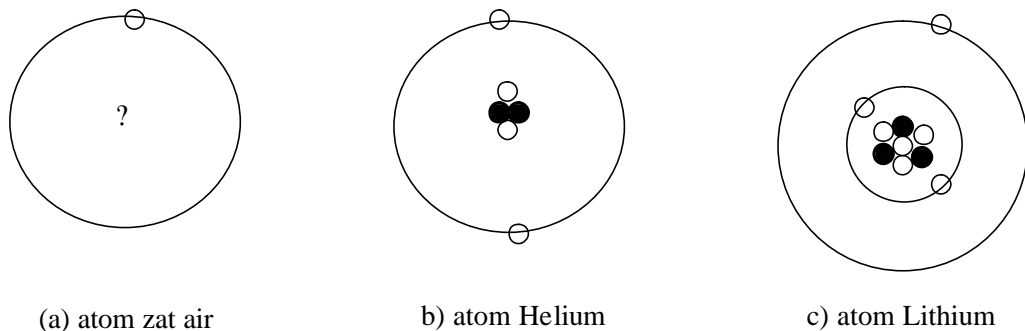


Gambar 1.2 Elektro bermuatan negatif mengitari inti bermuatan positif, di lintasan terluar terdapat elektron bebas

Berdasarkan hasil penyelidikan, elektron merupakan partikel listrik yang mengandung muatan negatif ( $-$ ), dan karena kecepatannya mengitari inti amat tinggi maka elektron memiliki tenaga (energi) yang besar. Inti tersusun atas *proton* dan *neutron*. Proton memiliki massa sekitar 1836 kali massa elektron, dan mempunyai muatan listrik positif

(+) yang sama besarnya dengan muatan listrik seluruh elektron yang mengitarinya tetapi berlawanan sifatnya. Neutron tidak memiliki muatan listrik (*netral*).

Muatan yang senama/sejenis (positif dengan positif atau negatif dengan negatif) apabila didekatkan akan *tolak menolak*, dan muatan yang tidak senama atau berlawanan (negatif dengan positif atau positif dengan negatif) akan saling *tarik menarik*. Proton di dalam inti saling menolak tetapi tarik menarik dengan elektron. Karena gaya tarikan yang kuat inilah elektron tidak terlepas dari lintasannya. Dalam lintasan terluar yang terjauh dari inti, tarikan antara elektron dengan proton kurang kuat sehingga dapat keluar dari ikatan atomnya bila terpengaruh oleh energi. Elektron yang keluar dari ikatan atom disebut *elektron bebas*. Jumlah proton di dalam atom sama dengan jumlah elektron yang mengitari inti, sehingga atom itu netral (tidak bermuatan). Susunan atom di dalam segala macam zat sama, perbedaannya hanya di dalam jumlah proton, neutron dan elektronnya. Misalnya : zat air mempunyai satu proton dan tidak ada neutron di dalam intinya dan hanya ada satu elektron yang mengitari inti (gambar 1.3.(a)). atom Helium mempunyai dua proton dan dua neutron di dalam intinya dan dikelilingi oleh dua elektron (gambar 1.3.(b)). Sedangkan inti atom Lithium tersusun dari 3 proton dan 4 neutron dan dikitari 3 elektron (gambar 1.3.(c)). Jumlah protonnya (elektronnya) menunjukkan urutan nomor atom zat. Jadi zat air mempunyai nomor atom satu, Helium dua, dan Lithium tiga, dan seterusnya.



Gambar 1.3 Lintasan-lintasan atom zat air, Helium, dan Lithium

### 1.3 Hukum Coulomb

Di dalam rangkaian listrik, baterai atau dinamo merupakan salah satu sumber tenaga yang mendorong elektron-elektron mengalir dalam jumlah tertentu pada suatu penghantar. Kecepatan perpindahan sejumlah elektron dalam waktu tertentu disebut laju arus atau sering dinamakan kuat arus dengan notasi “I” dalam satuan ampere (A), diambil dari nama sarjana Perancis : Andre Marie Ampere.

Arus listrik hanya akan terjadi dalam rangkaian tertutup, dimana jika sejumlah listrik dari satu Coulomb (1C) dipindahkan melalui sebuah penampang pada suatu tempat dalam suatu rangkaian dalam waktu satu detik (1 s), maka besar arus itu kita sebut satu ampere (1 A). Hubungan antara laju/kuat arus (A), jumlah muatan listrik (Q) dan waktu (t) dapat ditulis dengan persamaan :

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{atau} \quad Q = I \times t$$

dimana I : kuat arus listrik (A), Q : muatan listrik (C), dan t : lamanya waktu (det). Untuk  $Q = I \times t$  , sering disebut dengan *hukum Coulomb* yang menyatakan bahwa jumlah/banyaknya elektron yang berpindah selama waktu tertentu dengan satuan Coulomb (C).

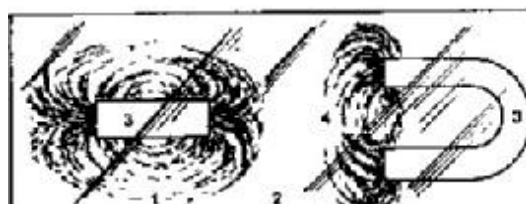
### Contoh 1.1

Berapakah besarnya muatan listrik yang berpindah dari sebuah akumulator yang mengeluarkan arus listrik sebesar 3 ampere selama 50 detik ?

Jawab :  $Q = I \times t = 3 \times 50 = 150 \text{ C}$ .

## 1.4 Medan Listrik

Sebenarnya kemagnetan suatu logam tidak dapat dilihat, tetapi beberapa hasil kerjanya dapat disaksikan. Untuk keperluan ini dapat menggunakan bantuan serbuk besi.



Gambar 1.4 Memperlihatkan kemagnetan : (1) serbuk besi, (2) kaca bening, (3) magnet, (4) medan magnet yang terbentuk

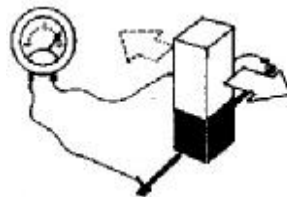
Caranya letakan sebuah magnet di bawah sehelai kertas karton, plastik atau kaca tipis, kemudian di atasnya ditaburi serbuk besi. Jika penutup tersebut diketok-ketok perlahan-lahan, maka terlihat bahwa serbuk besi itu akan mengatur dalam pola tertentu. Pola ini yang dinamakan “*medan magnet*”.

## 1.5 Konduktor Dalam Medan Magnet

Jika garis-garis gaya elektromagnetik dipotong oleh sebuah penghantar lurus atau kumparan, maka di kedua ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik (ggl). Ggl yang dibangkitkan pada penghantar ini disebut tegangan listrik induksi. Pada pembangkitan tenaga listrik, prinsip ggl induksi ini banyak dimanfaatkan seperti penggunaan dinamo, generator, atau transformator.

Untuk mengetahui proses/kerja sehingga menghasilkan listrik induksi, antara lain :

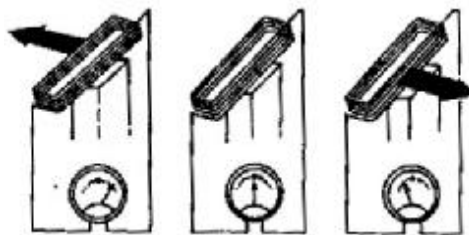
*a. Dengan menggerakkan medan magnet lewat penghantar yang diam*



Gambar 1.5 Posisi dalam menggerakkan magnet

Pada saat magnet tidak digerakan (diam), tidak ada medan magnet yang terpotong oleh penghantar sehingga jarum meter tidak menunjukkan angka tegangan tertentu. Tetapi setelah magnet digerak-gerak maka jarum akan menunjukkan angka tegangan listrik induksi tertentu.

*b. Dengan menggerakkan penghantar lewat medan magnet yang diam*

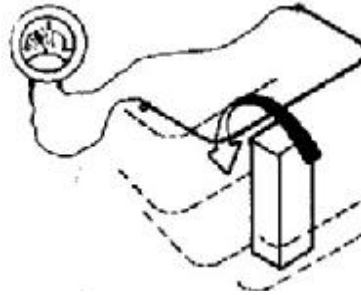


Gambar 1.6 Posisi dalam menggerakkan pernghantar

Pada saat penghantar tidak digerakkan/diam, tidak ada medan magnet yang terpotong oleh penghantar sehingga jarum meter tidak menunjukkan angka tegangan tertentu. Namun setelah penghantar digerak-gerakan maka terlihat jarum meter bergerak-gerak menunjukkan angka tegangan tertentu.

*c. Dengan menggerakkan medan magnet atau penghantar secara terus-menerus*

Jika menghendaki arus listrik yang tidak terputus-putus, maka medan magnet atau penghantar harus digerakan secara terus menerus. Hal ini dapat dicapai dengan cara menggerakannya secara diputar/berputar. Gerak putar ini adalah salah satu prinsip kerja pembangkit listrik dan merupakan prinsip dasar sebuah dinamo.



Gambar 1.7 Posisi dalam menggerakkan penghantar secara berputar

Dari peristiwa ini sebenarnya baik menggerakkan medan-magnet maupun menggerakkan penghantar hasilnya sama saja. Jarum meter akan senantiasa bergerak jika ada garis medan magnet yang terpotong oleh sebuah penghantar. Jadi jelaslah bahwa untuk membangkitkan arus listrik dibutuhkan gerak.

## **1.6 Induksi Dan Induksi Timbal Balik**

### **a. Induksi**

Untuk melipat gandakan jumlah arus listrik induksi yang dibangkitkan dapat mempergunakan dengan menambah panjang kawat penghantar dengan cara dibuat gulungan atau kumparan.

Arah arus induksi yang dibangkitkan oleh perpotongan garis gaya magnet dengan penghantar secara sederhana diperlihatkan pada gambar 1.8.(a). untuk memudahkan mengingat akan arah arus induksi, sebaiknya dengan menerapkan kaidah tangan kanan. Caranya dengan meletakkan tangan kanan kita seperti gambar 1.8.(b). Dalam meletakkan tangan kanan menghadap ke atas, anggap garis-garis gaya magnet menembus telapak tangan dari atas ke bawah. Arahkan ibu jari ke jurusan gerak penghantar. Pada posisi ini jari-jari akan menunjuk arah dari aliran arus (dari – ke +) dengan ujung positif (+) ditunjuk oleh jari-jari, sedangkan arah gerak penghantar ditunjuk oleh ibu jari.

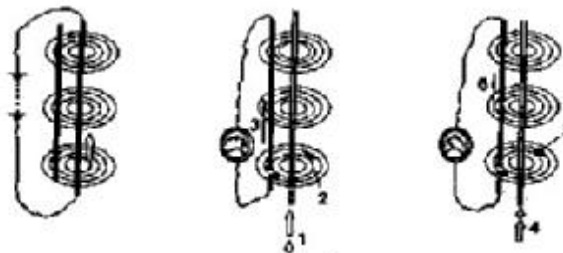


(a) 1:medan magnet, 2:gerak penghantar, 3: penghantar, 4: arah arus dibangkitkan (menunju +), 5: meter (b) Posisi meletakkan tangan kanan

Gambar 1.8 Arah arus induksi yang dibangkitkan

### b. Induksi timbal balik

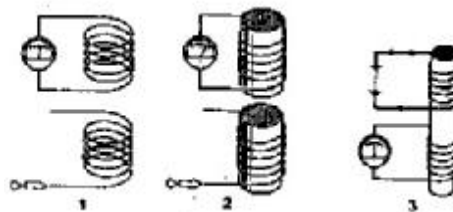
Pada sekeliling penghantar dapat dibangkitkan medan magnet oleh aliran arus ke dalam penghantar, maka medan magnet akan meningkat jika arus yang mengalir meningkat dan sebaliknya jika arus mengecil maka medan magnetpun mengecil.



Gambar 1.9 Induksi timbal balik dua penghantar paralel : (1) arus sedang meningkat, (2) medan magnet sedang meluas,(3)Ggl menentang arah arus, (4)arus sedang menurun, (5)medan magnet sedang menghilang, (6)Ggl searah dengan arah arus.

Jika medan magnet bergerak memotong penghantar yang diam, maka pada penghantar akan diinduksikan gaya gerak listrik (ggl). Jika penghantar merupakan bagian dari suatu rangkaian tertutup, maka ggl yang diinduksikan akan menyebabkan suatu aliran arus. Pada waktu arus meningkat akan dibangkitkan medan magnet yang meluas. Garis-garis gaya ini akan bergerak memotong penghantar di sebelahnya dan menginduksikan ggl ke dalamnya. Arah arus yang diinduksikan ini berlawanan dengan arah arus yang menginduksikan yang sedang meningkat. Peristiwa ini disebut *induksi timbal balik* (*mutual induction*). Tetapi pada waktu arus yang menginduksikan menurun, arah dari arus yang diinduksikan itu sama dengan arah dari arus yang menginduksikan.

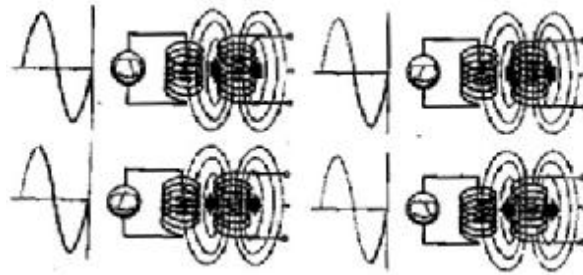
Induksi timbal balik untuk dua kumparan apabila ditempatkan saling berdekatan, maka antara satu dengan yang lain akan terjadi penginduksian. Disini arus yang sedang meningkat pada kumparan satu menginduksikan ggl pada kumparan yang lain. Ggl yang dibangkitkan akan menjadi lebih kuat bila dua kumparan itu dililitkan pada inti besi. Sedangkan penginduksian yang lebih baik akan diperoleh jika kumparan itu dililitkan pada satu inti besi yang sama. Kumparan yang dihubungkan pada baterai lewat sakelar disebut *kumparan primer*. Pada kumparan inilah dibangkitkan garis-garis gaya elektromagnet yang terpotong-potong oleh *kumparan sekunder* selama pembentukan medan magnet.



Gambar 1.10 Induksi timbal balik dua kumparan: (1) kumparan tanpa inti, (2) kumparan dengan inti besi, (3) Dua kumparan dalam satu inti besi.

Jika arus kumparan primer telah mencapai maksimum, maka besar arus itu akan menjadi tetap. Pada saat ini dalam kumparan sekunder tidak terdapat ggl dan arus yang diinduksikan. Namun pada saat sakelara dibuka medan magnet di kumparan primer menghilang dan ggl lawan diinduksikan ke dalam kumparan sekunder. Adanya ggl ini mengakibatkan timbulnya medan magnet pada kumparan sekunder, dan sampai beberapa saat kemudian arus yang diinduksikan menurun menjadi nol, demikian juga medan yang diinduksikan.

Dengan mempergunakan sumber arus searah (DC) dari baterai maksudnya adalah untuk memperlihatkan pengaruh pemutusan arus menggunakan sakelar. Arus balik ketika sakelar dibuka disebut induksi diri. Tetapi jika mempergunakan sumber arus bolak-balik (AC) tidak dibutuhkan lagi pemutus hubungan, karena pada arus bolak-balik dalam satu gelombang terdapat gerak maju-mundur (positif dan negatif). Sifat ggl induksi diri dengan arus bolak-balik diperlihatkan pada gambar 1.11.



Gambar 1.11 Arus Bolak-Balik dalam dua kumparan sejajar : (1) arus bertambah medan melebar, (2) arus berkurang medan menyempit,(3) arus bertambah dalam arah sebaliknya medan bertambah, (4) arus berkurang medan menghilang.

### 1.7 Kapasitansi dan Dielektrikum

Kondensator sering disebut kapasitor sesuai dengan kemampuan komponen ini untuk menyimpan muatan listrik yang disebut sebagai kapasitas dari kondensator yang bersangkutan. *Kapasitansi* dari kondensator ini menggunakan satuan mikrofarrad ( $1\text{ }\mu\text{F} = 10^{-6}\text{ F}$ ) atau piko farrad ( $\text{pF} = 10^{-9}\text{ F}$ ). Jadi yang dimaksud dengan kondensator adalah dua buah penghantar yang dipisahkan satu sama lain oleh suatu bahan bukan penghantar atau bahan isolasi yang sering disebut *dielektrikum*. Bahan dielektrikum yang sering digunakan pada kondensator adalah mika, kertas, keramik, gelas, dan sebagainya. Nilai kapasitas dari sebuah kondensator ditentukan oleh : besar kecilnya kondensator, dan jenis dielektrikurnya.

Kapasitas dari suatu kapasitor/kondensator didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya muatan pada konduktor terhadap beda potensial kedua konduktor tersebut.

Secara matematis dapat dinyatakan :  $C = \frac{Q}{V}$

Perlu dicatat bahwa kapasitas dari kapasitor merupakan besaran skalar yang selalu positif, karena kapasitas adalah kemampuan dari kapasitor untuk menyimpan energi potensial listrik. Dari persamaan di atas dapat dilihat satuan kapasitas adalah coulomb per volt atau farrad. ( 1 farrad = 1 coulomb / volt).

Untuk kondensator yang berisi udara diantara kedua keping konduktornya berlaku

hubungan :  $C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$

Dimana C : kapasitas kondensator (F),  $\epsilon_0$  : permitivitas ruang hampa/udara ( $=8,85 \times 10^{-12}\text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$ ), A : luas kepingan logam penghantar ( $\text{m}^2$ ), dan d : tebal dielektrikum (m).

Bila diantara kedua keping konduktor berisi bahan dielektrikum yang mempunyai koefisien dielektrik K, maka berlaku :  $C = \frac{K \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$

Dengan  $\epsilon = K \cdot \epsilon_0$  (permitivitas suatu medium.). untuk udara nilai K = 1, sedang untuk medium bahan dielektrik lainnya :  $K \geq 1$ . Jadi kapasitas kondensator berbanding langsung dengan luas penampang dan berbanding terbalik dengan jaraknya. Begitu juga jika suatu kondensator mempunyai bahan dielektrikum yang besar konstantanya, maka kapasitasnya akan lebih besar.

**Contoh 1.2**

Suatu kapasitor keping sejajar mempunyai luas penampang 2 cm<sup>2</sup> dan jarak antara keping 1 mm. Bila diantara kedua keping berisi udara, berapakah kapasitas dari kapasitor tersebut ?

Jawab :

Diket : A = 2 cm<sup>2</sup> = 2 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>; d = 1 mm = 10<sup>-3</sup> m;  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/N.m<sup>2</sup>; K = 1

$$C = \frac{K \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{(8,85 \times 10^{-12})(2 \times 10^{-4})}{10^{-3}} = 1,77 \times 10^{-12} \text{ F} = 1,77 \text{ pF}$$

Untuk mengetahui koefisien konstanta dielektrikum beberapa bahan yang sering digunakan, perhatikan tabel 1.1.

Tabel 1.1 Tabel Konstanta Dielektrikum

No.	Nama Bahan Isolator	Konstanta (K)
1.	Ruang hampa	1
2.	Gelas	3 – 7
3.	Kertas	2,5 – 5
4.	Mika	5 – 8
5.	Karet	2 – 3
6.	Porselin	5
7.	Ebonit	3
8.	Marmer	7 – 9
9.	Kondensa	40 – 80
10.	Aquades	80
11.	Mikalex	6 – 8
12.	Steatite	6
13.	Kerafor	80
14.	Bakelit	6

Kebanyakan kapasitor tidak dipolarisasi (tidak ditentukan kutubnya) sehingga boleh dipasang bolak-balik. Tetapi ada beberapa tipe yang ditentukan kutub (+) dan kutub (-) sehingga memasang pada rangkaian harus hati-hati jangan sampai terbalik, karena kapasitor jenis ini tidak akan berfungsi jika dipasang terbalik.

Untuk melengkapi pengetahuan tentang kondensator, maka perlu juga mengetahui hal-hal sebagai berikut :

- 1) *Sifat-sifat kondensator*, diantaranya : memiliki kemampuan menyimpan muatan listrik, kemampuan menahan listrik dc, dan dapat menghubungkan arus ac.
- 2) *Fungsi kondensator*, antara lain : sebagai penghubung, sebagai perata (filter), dan sebagai penentu frekuensi.
- 3) *Macam-macam kondensator*, antara lain :
  - a. Kondensator tak bergerak : kondensator elektrolit (bipolar atau elco) dan kondensator bukan elektrolit (nonpolar)
  - b. Kondensator bergerak : Kondensator trimmer dan kondensator variabel

### **1.8 Resistansi/Tahanan/Hambatan**

Apabila terjadi beda potensial antara kedua ujung dari suatu konduktor, maka akan menyalurkan muatan listrik pada konduktor tersebut yang menyebabkan terjadinya arus listrik pada konduktor tersebut. Besarnya arus yang mengalir ini akan sebanding dengan beda potensial (tegangan) pada konduktor tersebut. Perbandingan antara besarnya beda potensial (V) dengan arus (I) yang mengalir, maka akan menunjukkan suatu besaran tertentu yang disebut dengan Konstanta.

Nilai konstanta ini dinamakan dengan resistansi atau tahanan, yang diberi notasi R dalam satuan ohm ( $\Omega$ ), yang diambil dari nama George Simon Ohm (1787 – 1845) menyatakan : “*Tahanan satu ohm adalah besarnya resistor atau hambatan yang menyebabkan mengalirnya arus listrik sebesar satu ampere apabila pada kedua ujung resistor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar satu volt*”, dalam

bentuk persamaan :  $V = I.R$  atau  $I = \frac{V}{R}$  atau  $R = \frac{V}{I}$

Untuk selanjutnya persamaan di atas dikenal dengan “Hukum Ohm” yang merupakan konsep dasar dalam teknik listrik yang menyatakan hubungan antara tegangan, arus dan tahanan.

## 2. Kegiatan Belajar 2

### ELEKTRO DINAMIS

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 2 :

- Siswa memahami dasar-dasar teori elektro dinamis dan mampu menerapkannya

#### b. Uraian Materi 2 :

##### 2.1 Arus Listrik

Arus listrik merupakan gerakan elektron-elektron yang mengalir ke suatu arah gerakan elektron tersebut. Arus listrik ini diberi notasi I dalam satuan ampere (A), diambil dari nama Andre Marie Ampere (1775 – 1836) menyatakan bahwa : “*Satuan ampere adalah jumlah muatan listrik dari  $6,24 \times 10^{18}$  elektron yang mengalir melalui suatu titik tertentu selama satu detik*”. Sedangkan  $6,24 \times 10^{18}$  elektron adalah sama dengan 1 coulomb. Sehingga dapat dirumuskan :  $I = \frac{Q}{t}$ , dimana I adalah arus listrik (A), Q adalah muatan listrik (C), dan t adalah lamanya waktu (detik).

##### 2.2 Muatan Listrik

Muatan listrik dengan notasi Q dalam satuan Coulomb, yang diambil dari nama Charless Auguste de Coulomb (1736 – 1806) menyatakan bahwa : “*Satu Coulomb adalah jumlah muatan listrik yang melalui suatu titik sebesar satu ampere selama satu detik*”, dirumuskan :  $Q = It$

##### 2.3 Tegangan Listrik

Tegangan listrik diberi notasi V atau E yang diambil dari nama Alexandre Volta (1748 – 1827) merupakan perbedaan potensial antara dua titik yang mempunyai perbedaan jumlah muatan listrik, menyatakan bahwa : “*Satu volt adalah perubahan energi sebesar satu joule yang dialami muatan listrik sebesar satu coulomb*” , yang dirumuskan :  $V = \frac{W}{Q}$  , dimana V adalah tegangan listrik dalam satuan volt, W adalah energi listrik dalam satuan joule dan Q adalah muatan listrik dalam satuan Coulomb.

## 2.4 Macam Arus Listrik

Ada 2 macam arus listrik, yaitu arus searah (dc: direct current) dan arus bolak-balik (ac : alternating current). Dikatakan arus searah apabila elektro berpindah dalam arah yang tetap tidak berubah-ubah dan diberi tanda : = , sedangkan apabila pada saat elektron berpindah terjadi perubahan yang bolak-balik saat tertentu keatas/kekiri, kemudian kebawah/kekanan kembali keatas/kekiri lagi dan seterusnya dinamakan arus bolak-balik, dan diberi simbol : ?

## 2.5 Rapat Arus

Rapat arus adalah besarnya arus yang mengalir pada setiap  $\text{mm}^2$  luas penampang penghantar listrik yang diukur dengan satuan ampere per  $\text{mm}^2$  ( $\text{A}/\text{mm}^2$ ), yang dapat dirumuskan :  $S = \frac{I}{q}$  , dimana S : rapat arus ( $\text{A}/\text{mm}^2$ ), I : kuat arus (A) dan q : luas penampang penghantar ( $\text{mm}^2$ ).

### Contoh 2.1

Kawat dengan penampang sebesar  $2 \text{ mm}^2$  dilalui arus listrik sebesar 1 ampere, akan mempunyai rapat arus yang sama dengan rapat arus dari sebuah kawat yang berpenampang  $6 \text{ mm}^2$  dengan kuat arus sebesar 3 ampere.

Perhatikan :  $S_1 = \frac{I_1}{q_1} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ A}/\text{mm}^2$  dengan  $S_2 = \frac{I_2}{q_2} = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ A}/\text{mm}^2$

## 2.6 Komponen dan Rangkaian Listrik

Dalam rangkaian listrik dikenal ada 2 macam komponen, yaitu :

≠ Pertama yaitu komponen sumber energi atau daya listrik yang sering disebut juga dengan istilah *komponen aktif* dari rangkaian listrik. Contohnya : Baterai, aki (accumulator), generator, dan lain-lain

Sumber energi listrik ini biasanya dalam bentuk sumber tegangan dan sumber arus.

≠ Kedua yaitu komponen pemakai energi atau daya listrik yang sering disebut dengan istilah *komponen pasif* dari rangkaian listrik. Contoh dari komponen pasif ini seperti : tahanan (resistansi), induktor (induktansi), dan kapasitor atau kondensator (kapasitansi).

### 3. Kegiatan Belajar 3

## HUKUM ARUS SEARAH

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 3 :

- Siswa memahami hukum-hukum dasar arus searah dan dapat menerapkannya pada rangkaian listrik

#### b. Uraian Materi 3 :

##### 3.1 Resistansi dan Konduktansi

Gaya gerak listrik (ggl) pada suatu rangkaian tertutup akan menekan elektron-elektron bebas dari atomnya dan membuatnya bergerak sepanjang penghantar. Jalan elektron di dalam penghantar amat berliku-liku di antara berjuta-juta atom dan saling bertumbukan satu dengan yang lainnya termasuk juga dengan atom. Rintangan yang terdapat di dalam penghantar ini disebut : *tahanan* atau *resistansi* dari penghantar tersebut. Besar kecilnya tahanan tersebut diukur dengan suatu alat ukur ohmmeter dalam satuan *ohm*, disingkat dengan  $\Omega$  yang diambil dari huruf besar Yunani : omega, sebagai penghargaan kepada seorang ahli fisika Jerman bernama George Simon Ohm. Satu ohm adalah tahanan satu kolom air raksa yang panjangnya 1,063 m dengan penampang  $1\text{mm}^2$  pada suhu  $0^\circ$  celcius.

Penghantar yang mempunyai tahanan yang kecil amat mudah dialiri arus listrik, artinya daya kemampuan menghantarkan arus listriknya besar. Besarnya daya kemampuan untuk menghantarkan arus ini dinamakan *daya antar arus* atau *konduktansi*. Jadi penghantar yang mempunyai tahanan kecil berarti mempunyai daya-antar arus kecil. Satuan untuk daya-antar arus adalah *siemens* atau mho (kebalikan ohm), disingkat  $\Omega^{-1}$  (omega dibalik). Tahanan atau resistansi diberi simbol R, sedangkan daya antar atau konduktansi diberi simbol G. Berdasarkan keterangan di atas, maka tahanan itu kebalikan dari daya-antar arus. Jadi  $R = \frac{1}{G}$  dan  $G = \frac{1}{R}$

Jika tahanan suatu kawat besarnya 5 ohm, maka daya-antar arus listriknya  $1/5$  siemens. Penghantar listrik seperti tembaga, aluminium, dan perak mempunyai tahanan yang kecil atau mempunyai daya-antar yang besar dan mudah dilalui arus listrik, sedangkan penyekat listrik seperti porselin, karet, dan mika mempunyai tahanan yang besar sekali atau daya-antar yang kecil, sehingga sulit dialiri arus listrik.

### 3.2 GGL dan Tegangan Listrik

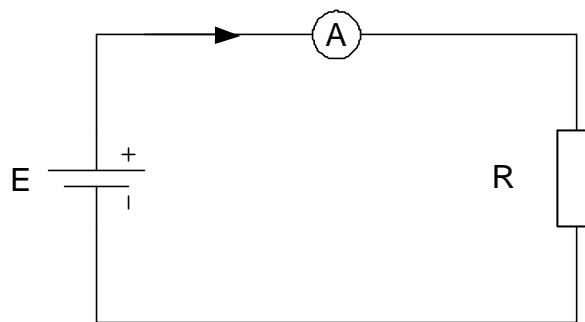
Tegangan listrik dapat dimisalkan dengan tekanan air di dalam menara air. Di atas menara itu air disimpan dalam bak air dan dihubungkan dengan pipa melalui suatu keran pembuka dan penutup. Apabila makin tinggi penempatan bak air makin besar tekanannya, begitu pula bila makin rendah posisi bak air makin rendah pula tekanan air tersebut. Menurut teori elektron, jika sebuah benda bermuatan positif kalau benda tersebut kehilangan elektron dan jika bermuatan negatif kalau benda tersebut kelebihan elektron. Dalam keadaan perbedaan muatan inilah timbul tenaga/energi potensial yang berada di antara benda-benda tersebut. Tenaga potensial tersebut dapat menunjukkan kemampuan untuk melaksanakan kerja, sehingga bila sepotong kawat penghantar dihubungkan di antara kedua benda yang berbeda muatan tersebut akan menyebabkan terjadinya perpindahan energi di antara benda-benda itu. Peralihan energi ini akan berlangsung terus menerus selama ada perbedaan tegangan. Terjadinya beda tegangan disebabkan karena setiap muatan mempunyai tenaga potensial untuk menggerakkan suatu muatan lain dengan cara menarik (untuk muatan yang tidak sama atau tidak sejenis) atau menolak (untuk muatan yang sama atau sejenis).

Beda tegangan dapat juga dihasilkan dengan memberikan tekanan listrik dari suatu pembangkit listrik kepada salah satu penghantar. Baterai atau generator dapat bertindak sebagai pompa listrik untuk menghasilkan tegangan di antara dua titik. Satuan untuk mengukur tegangan ini adalah *volt* (ditulis dengan notasi huruf V), yang diambil dari nama seorang sarjana Italia Alessandro Volta (1775 – 1827). Beda tegangan di antara dua terminal dapat berubah-ubah, mulai dari seperjuta volt sampai beberapa juta volt. Beda tegangan di antara terminal-terminal pada PLN ada yang 110 volt, 220 volt, 380 volt, 20 kV, 150 kV, 500 kV, dan lain-lain. Beda tegangan diantara terminal-terminal aki adalah 6 volt, 12 volt, 24 volt, dan lain-lain, sedangkan beda tegangan pada terminal baterai umumnya 1,5 volt.

### 3.3 Hukum Ohm

Hubungan antara arus listrik, tegangan listrik dan hambatan listrik dalam suatu rangkaian listrik dinyatakan dalam hukum Ohm (seperti dijelaskan pada gambar 3.1). . Nama Ohm ini diambil dari seorang ahli fisika dan matematika Jerman bernama George Simon Ohm (1787 – 1854) yang membuat teori ini. Ketika Ohm membuat percobaan tentang listrik, ia menemukan antara lain :

- Bila hambatan tetap, maka arus pada setiap rangkaian adalah berbanding langsung dengan tegangannya. Bila tegangan bertambah, maka arus pun bertambah begitu pula bila arus berkurang, maka arus pun semakin kecil.
- Bila tegangan tetap, arus dalam rangkaian menjadi berbanding terbalik terhadap rangkaian itu, sehingga bila hambatan bertambah maka arus akan berkurang dan sebaliknya bila hambatan berkurang maka arus akan semakin besar.



Gambar 3.1 Hubungan arus, tegangan dan hambatan

Satuan dari hambatan listrik adalah Ohm (simbol  $\Omega$  : dibaca omega). Hukum Ohm ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{E}{I} \quad \text{atau} \quad E = I \times R \quad \text{atau} \quad I = \frac{E}{R}$$

dimana R : menunjukkan banyaknya hambatan listrik(ohm), I : menunjukkan banyaknya aliran arus listrik (ampere), dan E : menunjukkan besar tegangan listrik yang bekerja pada rangkaian tertutup (volt).

### 3.4 Daya dan Energi Arus Searah

#### a. Daya Listrik

Daya listrik adalah kemampuan atau kapasitas untuk melakukan suatu usaha atau energi. Kalau di rumah terpasang daya sebesar 900 watt, artinya besarnya kemampuan

yang dapat digunakan untuk melakukan usaha atau energi listrik adalah sebesar 900 watt. Kelebihan dari kapasitas itu, maka akan terjadi pemadaman atau pemutusan oleh alat pembatas daya yang dipasang oleh petugas PLN.

Pada lampu pijar, tenaga listrik diubah menjadi bentuk tenaga cahaya dan panas. Seandainya sebuah lampu menyala dalam waktu satu jam, maka selama itu lampu menggunakan sejumlah tenaga tertentu. Bila lampu itu menyala selama dua jam, sudah tentu lampu itu menggunakan tenaga listrik sebanyak dua kali lipat dari yang satu jam. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa : “Jumlah tenaga yang digunakan, berbanding lurus dengan waktu menyala lampu”.

Bila meninjau jumlah tenaga yang digunakan dalam satu detik (satuan waktu), maka akan didapat daya atau penggunaan daya listrik. Besaran daya ditulis dengan notasi huruf P dengan satuan watt (W). Nama Watt diambil dari seorang ahli fisika dan mesin bangsa Inggris bernama James Watt (1736 – 1810).

Dalam rangkaian listrik, daya berbanding lurus dengan tegangan dan arus. Pernyataan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$P = I \times E$$

Dimana P : daya listrik dalam satuan watt (W), I : arus listrik dalam satuan ampere (A), dan E : adalah tegangan listrik dalam satuan volt (V).

Berdasarkan rumus :  $P = I \times E$  ; karena  $I = E/R$ , maka  $P = (E/R) \times E = E^2/R$ , atau karena  $E = I \times R$ , maka  $P = I \times (I \times R) = I^2 \times R$

Jadi secara umum rumus daya adalah :  $P = E \cdot I$  atau  $P = \frac{E^2}{R}$  atau  $P = I^2 R$

Pada sebuah bola lampu akan dijumpai petunjuk tegangan dan pemakaian daya. Tegangan yang tercantum adalah tegangan yang diperkenankan dalam jumlah maksimum pada bola lampu tersebut. Pemakaian daya (watt) yang tertera adalah pemakaian daya dari bola lampu tersebut bila dihubungkan pada tegangan maksimum yang diizinkan. Sebagai contoh : sebuah lampu tegangan maksimumnya 110 volt dengan daya 60 watt (110 V/60 W) atau tegangan maksimum 220 volt dengan daya 40 watt (220 V/40 W), atau sekarang banyak yang bertuliskan tegangan antara 220 V sampai dengan 240 Volt dengan daya 75 watt (220V-240V/75 W), dan lain-lain.

### b. Tenaga atau Energi Listrik

Sejumlahnya daya listrik dapat berupa tenaga atau energi. Dengan tenaga listrik bisa mendapatkan panas, cahaya, gerakan, suara, dan lain-lain. Terjadinya tenaga listrik bila ada elektron-elektron bebas yang didorong pada suatu penghantar. Akibat adanya tekanan listrik maka terbentuklah potensial listrik.

Satuan jumlah daya listrik dinamai watt yang dapat menimbulkan tenaga atau energi listrik dalam waktu tertentu dalam satuan watt detik atau joule atau kWh. Hubungan antara daya listrik (P) dalam satuan watt (W), tenaga atau energi listrik (W) dalam satuan joule (J), dan lamanya waktu pemakaian (t) dalam satuan detik atau jam, dapat dituliskan dengan persamaan :  $W = P \times t$

Karena : -  $P = E.I$  , maka  $W = (E.I) \times t = E \times I \times t$

-  $P = E^2/R$ , maka  $W = (E^2/R) \times t = E^2.t / R$

-  $P = I^2.R$ , maka  $W = (I^2.R) \times t = I^2 \times R \times t$

Jadi rumus-rumus tenaga atau energi listrik yang banyak digunakan adalah :

$$W = E.I.t \quad \text{atau} \quad W = \frac{E^2.t}{R} \quad \text{atau} \quad W = I^2.R.t$$

*Catatan* : 1 kWh = 1.000 Wh = 1.000 x 3.600 W det = 3,6 x 10<sup>6</sup> Joule

#### Contoh 3.1

Berapakah tenaga listrik yang dikeluarkan setiap bulan (30 hari) bila mempergunakan setrika listrik 400 watt dengan pemakaian rata-rata 3 jam setiap malam.

Jawab :

Diketahui : P = 400 W, t = 3 jam x 30 hari = 90 jam

$W = P \times t = 400 \times 90 = 36.000 \text{ Wh} = 36 \text{ kWh}$ .

atau karena : 1 kWh = 3,6 x 10<sup>6</sup> joule, sehingga  $W = 36 \times 3,6 \times 10^6 = 1,296 \times 10^8 \text{ Joule}$

## 4. Kegiatan Belajar 4

### RANGKAIAN LISTRIK ARUS SEARAH

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 4 :

- Siswa memahami dasar-dasar rangkaian listrik arus searah dan dapat menerapkannya pada rangkaian listrik

#### b. Uraian Materi 4 :

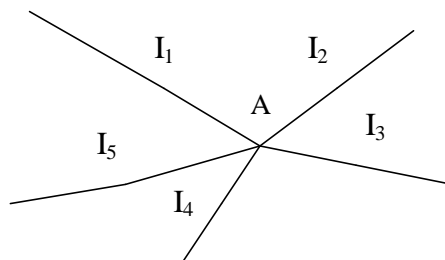
##### 4.1 Hukum Kirchoff

Untuk menyelesaikan perhitungan rangkaian listrik atau jala-jala, seorang ahli ilmu alam dari Jerman bernama *Gustav Kirchoff* telah menemukan dua cara yang kemudian cara ini menjadi hukum yang dikenal dengan "*Hukum Kirchoff*".

##### a. Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I untuk rangkaian atau jala-jala listrik berbunyi : "*Jumlah aljabar dari arus listrik pada suatu titik percabangan selalu sama dengan nol*"

Dalam gambar 4.1 menerangkan hukum Kirchoff I sebagai berikut :



Gambar 4.1 Titik percabangan arus

Dari gambar di atas arah arus  $I_2$  dan  $I_3$  berlawanan dengan arah arus  $I_1$ ,  $I_4$ , dan  $I_5$ .

Jadi pada titik percabangan A berlaku :

$$I_1 + I_4 + I_5 - I_2 - I_3 = 0 \quad \text{atau} \quad I_1 + I_4 + I_5 = I_2 + I_3$$

Sehingga persamaan untuk Hukum Kirchoff dapat ditulis dengan bentuk umum :

$$\sum I = 0$$

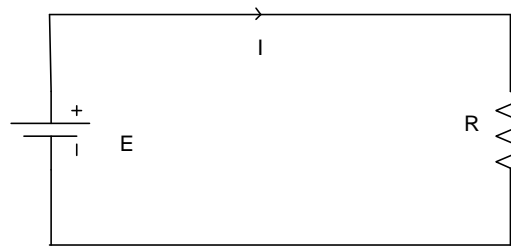
**b. Hukum Kirchoff II**

Hukum Kirchoff II ini berhubungan dengan rangkaian listrik tertutup yang menyatakan : “Di dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar antara gaya gerak listrik (ggl) dengan kerugian-kerugian tegangan selalu sama dengan nol”

Hukum ini secara umum dapat ditulis dengan rumus :  $\sum E - \sum I \times R = 0$

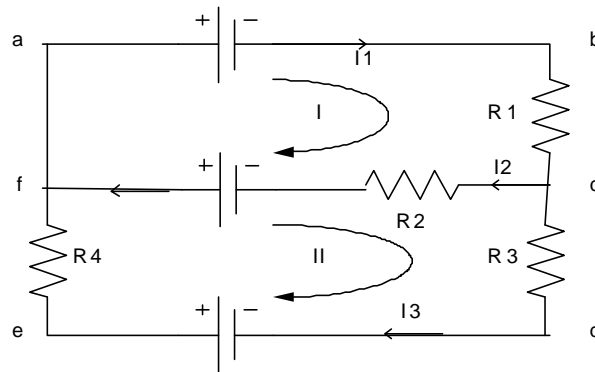
Dalam gambar 4.2 dengan tidak memperhatikan kerugian tegangan di dalam baterai (tahanan baterai dianggap kecil) maka :  $E - I.R = 0$  atau  $E = I \cdot R$

Ini sesuai dengan Hukum Ohm.



Gambar 4.2 Rangkaian listrik tertutup

Apabila jaringan listrik terdiri atas beberapa rangkaian, maka dapat dibuat persamaan menurut rangkaiannya satu persatu. Misal di dalam rangkaian seperti gambar 4.3 dapat dibuat tiga rangkaian listrik yaitu I, II dan III.



Gambar 4.3 Tiga rangkaian tertutup

Dalam rangkaian I, yaitu terdapat loop a-b-c-f-a, maka diperoleh :

$$E_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 = 0$$

Dalam rangkaian II (f-c-d-e-f) diperoleh :

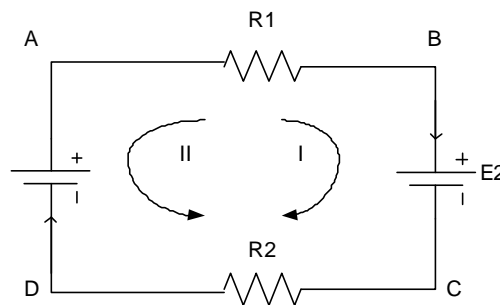
$$- E_2 + I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_3 - I_3 R_4 = 0$$

dan di dalam rangkaian III terdapat a-b-c-d-e-f-a, maka diperoleh :

$$E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 + E_3 - I_3 R_4 = 0$$

Untuk dapat menggunakan hukum Kirchoff ini perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Apabila arah arus mengalir ke salah satu aliran dianggap positif, maka arus yang berlawanan diberi tanda negatif.
- Apabila arah arus pada jaring listrik belum diketahui maka dapatlah diambil sembarang, dan apabila dalam penyelesaian menghasilkan negatif berarti arah arus yang sebenarnya berlawanan.
- Arah arus listrik yang mengalir di dalam suatu rangkaian listrik perlu diperhatikan yaitu kenaikan tegangan selalui diberi tanda positif (+), dan turunnya tegangan selalui diberi tanda negatif (-). Sebagai contoh misalnya seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Contoh memberi tanda lingkaran tertentu

Menurut rangkaian I yaitu dari D-A-B-C dan kembali ke D, maka dari D ke A tegangan  $E_1$  diberi tanda positif (+). Dari A ke B kerugian tegangan ( $I.R_1$ ) diberi tanda negatif (-). Dari B ke C tegangan  $E_2$  mengurangi tegangan  $E_1$  diberi tanda negatif (-). Dan seterusnya, sehingga berdasarkan gambar 4.4 dapat ditulis persamaan berikut :

$$\text{Rangkaian I : } E_1 - I.R_1 - E_2 - I.R_2 = 0 \quad \text{atau} \quad E_1 = E_2 + I.R_1 + I.R_2$$

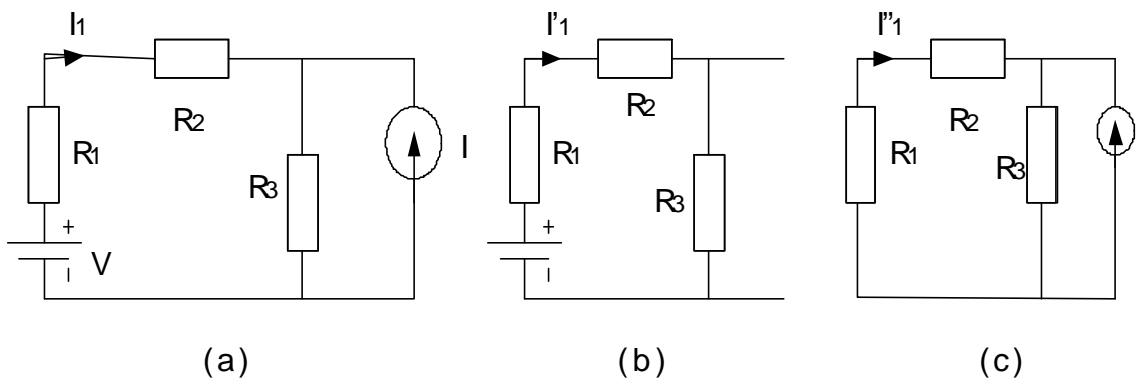
$$\text{Rangkaian II : } + I.R_1 + E_2 + I.R_2 - E_1 = 0 \quad \text{atau} \quad E_1 = E_2 + I.R_1 + I.R_2$$

## 4.2 Teori Superposisi dalam Rangkaian

Secara umum teori superposisi ini dapat dikatakan bahwa “jika sebab dan akibat mempunyai hubungan yang linier, maka akibat dari sejumlah sebab yang bekerja bersama-sama sama dengan jumlah akibat dari masing-masing sebab jika bekerja sendiri-sendiri”.

Untuk suatu rangkaian listrik, jika pada suatu rangkaian bekerja sejumlah sumber energi secara bersama-sama, maka respon/akibatnya sama dengan jumlah respon/akibat

dari masing-masing sumber energi jika bekerja sendiri-sendiri. Sedangkan sumber yang tidak bekerja diganti dengan tahanan dalamnya. Tahanan dalam untuk sumber tegangan ideal adalah *hubung singkat* dan tahanan dalam untuk sumber arus ideal adalah *tak terhingga* atau *hubung terbuka*. Teorema superposisi ini tidak berlaku untuk rangkaian yang mengandung transistor, dioda, dan lain-lain, dan tidak berlaku pula pada rangkaian yang mempunyai sumber energi dependen (yaitu sumber arus yang tergantung pada arus atau tegangan lain, atau sumber tegangan yang tergantung pada



arus atau tegangan lain). Contoh rangkaian teorema superposisi ini dapat dijelaskan pada gambar 4.5.

Gambar 4.5 Contoh rangkaian teorema superposisi

$I_1$  adalah respon/akibat bekerjanya sumber tegangan  $V$  dan sumber arus  $I$  bersamaan. Menurut teorema superposisi  $I_1 = I_1' + I_1''$ , dengan “

- $I_1'$  adalah respon/akibat bekerjanya sumber tegangan  $V$ , jika sumber arus  $I$  diganti dengan tahanan dalamnya ( $\infty$ ), dan
- $I_1''$  adalah respon/akibat bekerjanya sumber arus  $I$ , jika sumber tegangan  $V$  diganti dengan tahanan dalamnya ( $0$ ).

$$I_1' = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \text{dan} \quad I_1'' = \frac{-R_3 I}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (\text{tanda - akibat arah arus berlawanan})$$

$$\text{Jadi } I = I' + I_1'' = \frac{V - R_3 I}{R_1 + R_2 + R_3}$$

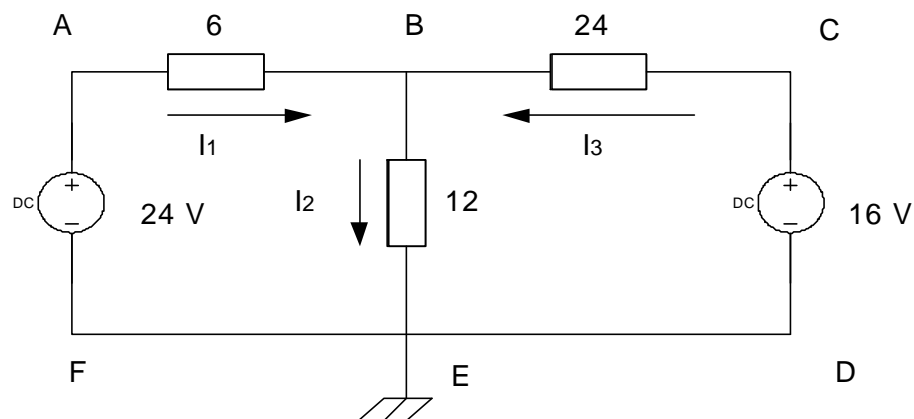
### 4.3 Teori Node (Tegangan Titik) Rangkaian

Teorema ini pada dasarnya menggunakan hukum Kirchoff arus dan hukum Ohm. Langkah-langkah menggunakan metode tegangan titik ini adalah :

1. Tentukan arus cabang yang diperlukan
2. Gunakan Hukum Kirchoff Arus.
3. Gunakan Hukum Ohm untuk menyatakan arus-arus cabang tersebut.
4. Tentukan titik patokan (referensi), yaitu titik yang digunakan untuk menyatakan potensial titik-titik lain. Titik patokan dipilih sedemikian rupa sehingga titik-titik lain mudah ditentukan potensialnya terhadap titik tersebut. Biasanya dipilih ground atau chasis.
5. Selesaikan persamaan-persamaan tersebut.

#### Contoh 4.1

Diketahui suatu rangkaian sebagai berikut :



Gambar 4.6 Contoh rangkaian teori Tegangan titik (Node)

Penyelesaiannya sebagai berikut :

Langkah 1 : perhatikan gambar

Langkah 2 :  $\sum i_B = 0 \Rightarrow I_1 - I_2 + I_3 = 0$

Langkah 3 :  $\frac{V_A - V_B}{6} - \frac{V_B - V_E}{12} + \frac{V_C - V_B}{24} = 0$

Langkah 4 : Titik patokan E.  $\Rightarrow V_E = V_D = V_F = 0$

$$\frac{(V_A - V_E) - (V_B - V_E)}{6} - \frac{V_B - V_E}{12} + \frac{(V_C - V_E) - (V_B - V_E)}{24} = 0$$

Langkah 5 :

$$\frac{\frac{24 - V_B}{6} - \frac{V_B}{12} - \frac{16 - V_B}{24} = 0}{4(24 - V_B) - 2V_B - 16 - V_B = 0} \times 24 \Rightarrow 7V_B = 112 \Rightarrow V_B = 16 \text{ V}$$

$$I_2 = V_B/12 = 4/3 \text{ A} \quad I_1 = (24 - V_B)/6 = (24 - 16)/6 = 4/3 \text{ A}$$

**c. Rangkuman 1 :**

Elektrostatik merupakan konsep dasar dari teknik listrik yang sangat penting bagi setiap siswa yang akan memperdalam ilmunya di bidang teknik ketenagalistrikan. Beberapa hal yang berkaitan dengan elektrostatik diantaranya : teori elektron, teori atom dan molekul, hukum Coulomb, medan listrik, konduktor dalam medan magnet, induksi dan induksi timbal balik, kapasitansi dan dielektrikum, dan resistansi.

Selain elektrostatik, di dalam teknik listrik dikenal istilah elektrodinamis, diantaranya meliputi : arus listrik, muatan listrik, tegangan listrik, macam arus listrik, rapat arus, dan komponen rangkaian listrik.

Dalam tenaga listrik dikenal istilah arus searah (DC : Direct Current) dan arus bolak-balik (AC : Alternating current). Beberapa hal yang berkaitan dengan arus searah diantaranya : resistansi dan konduktansi, ggl dan tegangan listrik, hukum Ohm, dan daya dan energi arus searah.

Rangkaian listrik arus searah merupakan sebagai teori rangkaian dasar yang dijadikan pengetahuan dasar bagi setiap siswa, sebelum mempelajari kepada rangkaian arus bolak-balik. Dalam rangkaian arus searah, analisis perhitungan belum begitu rumit, karena masih banyak menggunakan besaran-besaran skalar, sedangkan untuk rangkaian arus bolak-balik sudah melibatkan bilangan kompleks dan besaran-besaran vektoris. Beberapa teori dasar tentang arus searah diantaranya hukum Kirchoff I dan II, teori superposisi dalam rangkaian, dan teori tegangan titik.

**d. Tugas 1 :**

1. Buatlah suatu percobaan untuk membuktikan bahwa garis-garis gaya magnet membentuk suatu garis-garis yang bergerak dari kutub utara magnet menuju ke kutub selatan magnet ?
2. Buatlah suatu percobaan untuk membuktikan adanya induksi timbal-balik pada dua buah kumparan yang dipasang secara paralel ?
3. Buatlah grafik untuk membuktikan percobaan dari hukum Ohm, dimana :
  - a. Arus berbanding lurus dengan tegangan [ $I = f(V)$ ]
  - b. Tegangan berbanding lurus dengan tahanan [ $V = f(R)$ ]
  - c. Tahanan berbanding terbalik dengan arus [ $R = f(I)$ ]
4. Buatlah suatu rangkaian percobaan untuk membuktikan kebenaran dari hukum Kirchoff (arus atau tegangan, atau arus dan tegangan) ?

**e. Tes Formatif 1 :**

1. Apa yang dimaksud dengan arus elektron dan arus listrik dalam teknik listrik ?
2. Bagaimana reaksi gaya antara dua buah muatan listrik yang tidak sejenis apabila didekatkan ?
3. Berapakah muatan listrik yang akan pindah dari sebuah baterai yang mengeluarkan arus sebesar 2 ampere selama 5 menit ?
4. Apa yang dimaksud dengan istilah induksi sendiri pada suatu kumparan yang dialiri arus listrik ?
5. Suatu kondensator memiliki kapasitas 500  $\mu$ F. Berapa nilai kapasitas kondensator tersebut kalau mau diubah ke dalam satuan farad ?
6. Suatu kapasitor keping sejajar mempunyai luas penampang 4 cm<sup>2</sup> dan jarak antar keping 2 mm. Bila di antara kedua keping berisi kertas dengan  $K = 3$  dan permitivitas ruang hampa/udara =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ . Berapakah kapasitas dari kondensator tersebut ?
7. Sebutkan 3 sifat yang dimiliki oleh kondensator ?
8. Suatu lampu mempunyai tahanan 500 ohm, dihubungkan dengan sumber tegangan 200 volt. Berapakah besarnya arus yang mengalir pada lampu tersebut ?
9. Suatu kawat penghantar mempunyai penampang 1,5 mm<sup>2</sup>. Apabila pada kawat tersebut dialiri arus listrik sebesar 6 amper, berapakan kerapatan arus listrik yang terjadi pada kawat penghantar tersebut ?
10. Sebuah lampu pijar 40 watt, 220 volt digunakan setiap hari selama 8 jam. Berapa kWh besarnya energi listrik yang digunakan oleh lampu tersebut selama satu bulan (30 hari) ?

**f. Kunci Jawaban Formatif 1 :**

1. *Arus elektron* adalah elektron yang bergerak dari kutub yang kelebihan elektron (kutub negatif) menuju kutub yang kekurangan elektron (kutub positif). Tetapi berdasarkan konvensi atau kesepakatan dijelaskan bahwa *arus listrik* mengalir dari kutub positif menuju ke kutub negatif.
2. Akan saling tarik-menarik
3.  $Q = 2 \times 5 \times 60 = 600$  coulomb
4. Induksi diri atau induksi sendiri adalah proses terjadinya gaya-geser listrik (ggl) akibat adanya garis-garis gaya magnet (ggm) yang timbul pada kumparan yang dialiri arus listrik memotong kawat-kawat lilitan pada kumparan itu sendiri, sehingga akibat perpotongan itu dapat menimbulkan ggl induksi pada kumparan itu sendiri.
5.  $500 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-4} = 0,0005$  F
6.  $5,31 \times 10^{-12}$  F = 5,31 pF
7. (a) menyimpan muatan listrik, (b) menahan listrik dc, (c) menghubungkan arus ac.
8. 0,4 A
9. 4 A/mm<sup>2</sup>
10. 9,6 kWh

**g. Lembar Kerja 1 :**

1. **Alat** : Voltmeter, amperemeter, fluksmeter, obeng, tang, cutter, isolasi, solder, alat tulis menulis, kabel, dan lain-lain
2. **Bahan** : Serbuk besi, kaca bening, magnet, karton atau plastik, kumparan atau lilitan, Baterai atau aki, sejumlah resistor atau tahanan, sakelar, dan lain-lain
3. **Keselamatan kerja** : jas lab, sarung tangan, alas kaki atau sepatu karet, kerjakan sesuai instruction manual, patuhi prosedur kerja yang telah ditentukan, patuhi peraturan yang tercantum di lab atau tempat praktik.
4. **Langkah kerja** : tentukan peralatan-peralatan dan komponen-komponen yang akan dibutuhkan, buat rancangan diagram pengawatan yang akan dilakukan, pasang peralatan pengukur yang akan digunakan sesuai dengan diagram rencana, rangkai peralatan yang telah dipasang, periksa dan uji rangkaian atau peralatan yang telah dipasang, perbaiki apabila masih terdapat kesalahan atau komponen yang belum berfungsi dengan benar, uji sesuai dengan prosedur dan instruction manual yang berlaku, buat berita acara laporan pengujian atau percobaan
5. **Laporan** : Jawab pertanyaan-pertanyaan dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan tugas yang diberikan

## 5. Kegiatan Belajar 5

### ELEKTROMAGNETIK

#### a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran 2 :

- Siswa memahami teori dasar elektromagnetik sebagai dasar dalam mempelajari sumber-sumber listrik

#### b. Uraian Materi 2 :

##### 5.1 Medan Magnet dan Muatan Listrik

Magnet ditemukan oleh orang Yunani (Greek) kuno berupa batu hitam yang mempunyai sifat dapat menarik benda metalis. Penemuan ini terjadi kira-kira 2000 tahun SM di Asia kecil dekat kota Magnesia. Orang Yunani kemudian menyebutnya batu *magnitie* atau *magnitis*.

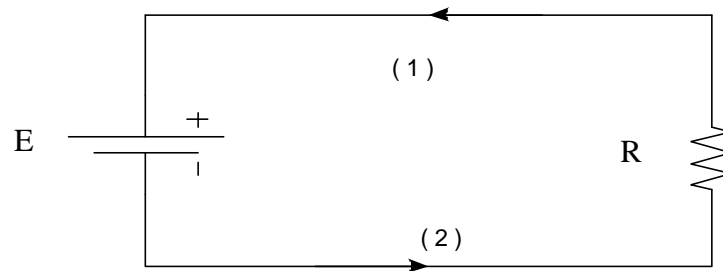
Yang dimaksud dengan kemagnetan adalah sifat yang dimiliki oleh logam tertentu untuk menarik besi atau benda yang mengandung besi. Suatu benda dapat mengandung magnet apabila kemagnetannya terpusat di tempat tertentu. Magnet yang kuat selalu dapat menarik beban yang lebih berat daripada magnet yang lemah. Berdasarkan percobaan ternyata magnet yang terbuat dari besi lebih lemah daripada magnet yang dibuat dari logam campuran.

Magnet yang ada terdiri dari beberapa bentuk seperti magnet jarum, magnet batang, magnet tapal kuda, magnet sentral dan lain-lain tergantung fungsinya, tetapi semuanya mempunyai kemagnetan yang terpusat di suatu tempat yang disebut kutub. Kutub magnet terdiri dari *kutub utara* (U) dan *kutub selatan* (S).

Sebenarnya kemagnetan suatu logam tidak dapat dilihat tetapi beberapa hasil kerjanya dapat disaksikan. Untuk keperluan ini dapat menggunakan bantuan serbuk besi.

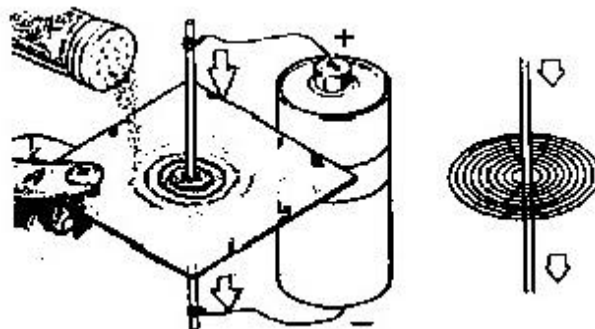
*Caranya* : letakkan sebuah magnet dibawah sehelai karton, plastik atau kaca tipis. Kemudian diatasnya ditaburi serbuk besi. Jika penutup tersebut diketok-ketok, maka terlihatlah bahwa serbuk besi itu akan mengatur diri dalam pola tertentu. Pola ini yang dinamakan *medan magnet*.

Yang dimaksud dengan *elektromagnetik* adalah magnet yang timbul pada suatu penghantar lurus atau kumparan pada waktu dialiri arus listrik. Berdasarkan teori elektron mengatakan bahwa elektron di dalam kawat penghantar bergerak dari kutub negatif (-) ke kutub positif (+), tetapi pengertian arus listrik menurut perjanjian (kesepakatan atau konvensi) yaitu arus listrik mengalir dari kutub positif (+) menuju ke kutub negatif (-). Hal ini penting untuk diketahui karena setiap perkataan arus berarti arus menurut perjanjian yang mengalir dari positif ke negatif, seperti dijelaskan pada rangkaian gambar 5.1.



Gambar 5.1 Arah aliran arus dan aliran elektron : (1) aliran arus menurut teori elektron, (2) aliran arus menurut perjanjian

Seperti halnya pada magnet biasa, pada elektromagnetpun memiliki medan magnet yang timbul disebabkan oleh adanya arus listrik yang mengalir melalui suatu kawat penghantar yang dinamakan medan *elektromagnet*. Untuk mengetahui bentuk medan magnet yang timbul di sekitar penghantar, dapat dilakukan dengan suatu percobaan sederhana seperti gambar 5.1. Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuktikan adanya medan magnet diantaranya : (1) serbuk besi, (2) penghantar, (3) Kertas, (4) baterai 3 volt, (5) medan magnet yang terbentuk, (6) medan magnet yang digambarkan berupa garis.

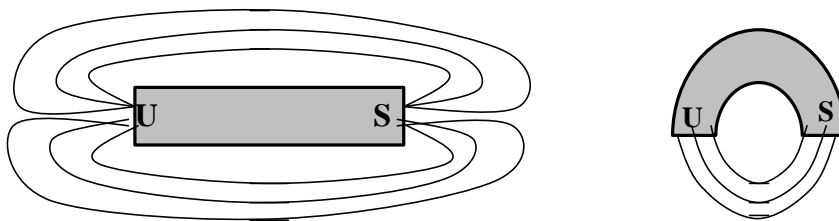


Gambar 5.2 Percobaan membuktikan adanya medan elektromagnet

*Caranya* : sebuah penghantar (kawat baja) ditusukan pada permukaan kertas, dimana bila penghantar tersebut dialiri arus listrik dari baterai, kemudian permukaan kertas ditaburi serbuk besi, maka akan terbentuklah medan magnet (medan elektromagnet)

## 5.2 Garis Gaya Magnet dan Fluks Magnet

Bila medan magnet yang terbentuk dari serbuk besi diibaratkan garis-garis, maka garis-garis itu dinamakan dengan *garis-garis gaya magnet* (ggm) atau *garis fluksi*. Seperti dijelaskan pada gambar 5.3 berikut.



a. Garis gaya magnet batang

b. Garis gaya magnet tapal kuda

Gambar 5.3 Garis-garis gaya magnet

Garis gaya magnet menghubungkan kutub utara, kutub selatan dan magnet. Serbuk besi membuat garis gaya di luar magnet, dimana garis gaya ini walaupun banyak tetapi tidak saling berpotongan dan selalu melebar menjauhi kutub-kutub magnetnya. Namun demikian garis-garis gaya magnet juga banyak yang lewat di dalam logamnya dan lebih banyak lagi terkumpul di situ. Makin banyak garis gaya yang terpusat pada suatu luas  $1 \text{ cm}^2$ , makin kuat gaya magnetnya atau kekuatan medan magnetnya. Dari hasil percobaan/perhitungan diketahui bahwa kekuatan medan magnet antara kutub-kutub magnet pada tapal kuda jauh lebih besar daripada kekuatan medan magnet batang. Banyaknya garis-garis gaya magnet (ggm) sering dinamakan dengan *fluks magnet* dengan simbol  $\Phi$  (dibaca fluksi) dalam satuan weber (Wb), sedangkan banyaknya fluksi dalam satuan luas tertentu dinamakan dengan kerapatan fluksi diberi simbol  $B$  dalam satuan weber per meter persegi ( $\text{Wb/m}^2$ ).

Dua buah magnet jika saling didekatkan maka akan terjadi saling menarik atau menolak. Dari hasil percobaan, ternyata kutub magnet yang sama atau sejenis (misal U dengan U, atau S dengan S), akan saling tolak menolak, sedangkan kutub magnet yang tidak sama atau tidak sejenis (misal U dengan S atau S dengan U) maka akan saling

tarik menarik. Gaya yang diperlukan untuk menolak atau menarik ini tergantung kepada kekuatan magnet itu sendiri.

Berdasarkan *hukum Coulomb*, kekuatan gaya menarik atau menolak dari kutub-kutub magnet dapat ditulis dengan persamaan : 
$$K \propto \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Dimana K : kekuatan (menarik atau menolak) antara kedua kutub diukur dengan *dyne* ( $1 \text{ dyne} = 1,0197 \times 10^{-3}$ ),  $m_1$  dan  $m_2$  : jumlah magnetisasi pada masing-masing kutub diukur dengan *weber*, dan  $r^2$  : jarak antara kedua kutub diukur dengan centimeter (cm).

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa :

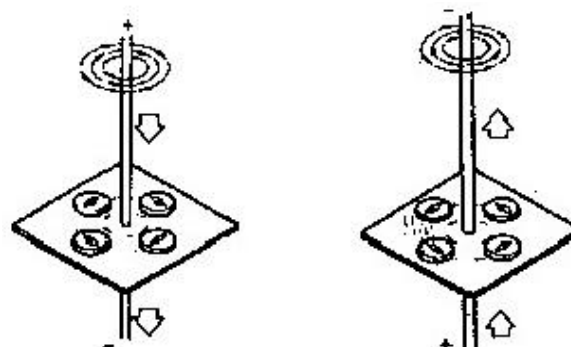
- (1) Kutub magnet yang saling tolak-menolak jika garis-garis gayanya berlawanan arah
- (2) Kutub magnet yang saling tarik-menarik jika garis-garis gayanya searah.

### 5.3 Medan Magnet dari Penghantar Lurus

Bila suatu penghantar dilalui arus listrik, selama itu penghantar tersebut akan timbul medan elektromagnet. Arah medan elektromagnet di sekitar penghantar dapat diketahui antara lain : dengan menggunakan kompas kecil atau dengan menggunakan kaidah tangan kanan.

#### a. Dengan menggunakan kompas kecil

Sebuah kompas akan selalu menunjuk arah kutub utara dan kutub selatan, namun bila ada arus mengalir di sekitar jarum kompas akan mengubah kedudukan secara otomatis. Dari hasil pengamatan ternyata arah gerak kutub utara searah dengan arus yang mengalir pada penghantar tersebut. Dari kejadian ini bila kompas-kompas kecil diletakan di sekitar penghantar, jarum-jarum kutub utara kompas akan menunjukkan arah yang sama (segaris). Arah jarum kompas ini selanjutnya diartikan sebagai arah medan elektromagnet. Perhatikan gambar 5.4.



Gambar 5.4 Arah medan elektromagnet

### b. Dengan menggunakan kaidah tangan kanan

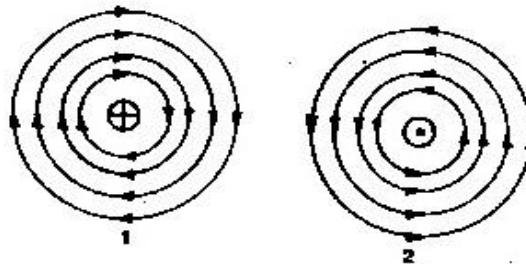
Selain dengan kompas, arah medan elektromagnet dapat ditentukan dengan menggunakan tangan kanan.

*Caranya* : Genggamlah penghantar dengan tangan kanan yang posisinya seperti gambar 5.5. Pada posisi seperti gambar tersebut dapat diartikan sebagai berikut : ibu jari akan menunjuk arah arus listrik dan arah medan elektromagnet yang mengelilingi penghantar ditunjukkan oleh jari-jari tangan. Pada cara ini kedudukan positif (+) harus diletakan di sebelah kanan pula.



Gambar 5.5 Kaidah tangan kanan untuk menentukan arah medan elektromagnet

Untuk selanjutnya arah arus dalam gambar ditentukan dengan tanda silang (+) dan tanda titik (?). Tanda silang (+) berarti arah aliran arus menjauhi diri kita, dan tanda titik (?) berarti arah aliran arus menuju kita, seperti dijelaskan dalam dambar 5.6.

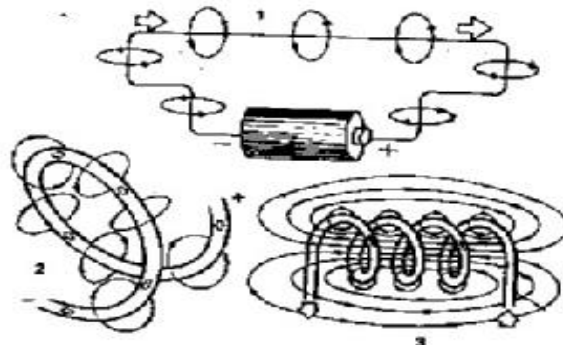


Gambar 5.6 Arah arus dalam tanda (+) menjauhi kita dan (?) menuju kita

Dengan menggunakan kaidah tangan kanan ini maka dapat menentukan arah medan magnet dengan mudah.

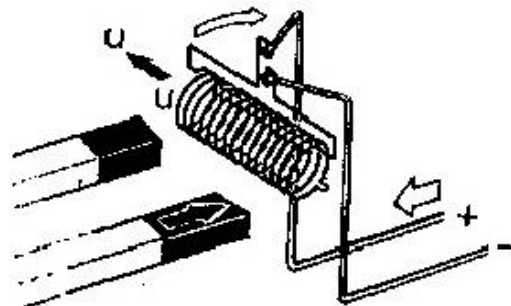
### 5.4 Medan Magnet dari Elemen Arus

Berdasarkan cara penentuan arah medan magnet dengan menggunakan kaidah tangan kanan ini maka menentukan arah medan magnet dengan mudah walaupun penghantar yang dilalui arus tidak lurus, seperti pada selenoida maupun toroida. Lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada gambar 5.7 untuk arah arus pada penghantar yang tidak lurus.



Gambar 5.7 **Arah arus pada penghantar tak lurus** : (1) medan elektromagnet suatu rangkaian, (2) medan elektromagnet pada penghantar melingkar, (3) medan elektromagnet pada kumparan

Suatu kumparan yang dialiri arus listrik akan memiliki sifat-sifat seperti sebuah magnet, seperti halnya pada magnet batang. Oleh karena memiliki sifat seperti magnet biasa (logam), pada magnet kumparanpun memiliki kutub utara dan kutub selatan. Untuk mengetahui letak kutub-kutubnya dapat menggunakan kompas atau kaidah tangan kanan. Seperti ditunjukkan pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 menentukan kutub magnet dari kumparan

## 6. Kegiatan Belajar 6

### KUANTITAS KEMAGNETAN

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 6 :

- Siswa memahami kuantitas kemagnetan suatu bahan dan mampu untuk menerapkannya

#### b. Uraian Materi 6 :

##### 6.1 Sistem Sudut Magnet

Bila penghantar yang dialiri arus dipegang dengan tangan kanan dimana ibu jari menunjuk ke depan dan keempat jari lainnya melingkar penghantar, maka ibu jari menunjukkan arah arus dan lainnya menunjukkan arah ggm. Apabila arus diperbesar maka medan pun bertambah besar, garis-garis gaya mengembang dan sebaliknya apabila arus diperlemah garis-garis gaya menyusut dan akan menghilang bila arus dihentikan. Besarnya medan pada suatu titik di sekitar penghantar yang dialiri arus dinyatakan dengan rumus :  $H = \frac{0,2 \times I}{r}$  oersted , dimana H : medan pada suatu

titik (oersted), I : kuat arus (ampere), dan r : jarak titik dari penghantar (cm).

##### Contoh 6.1

Jarak suatu titik P dari penghantar adalah 2 cm dengan kuat arus sebesar 1,5 A, maka kuat medan di titik P yang diakibatkan oleh arus dalam penghantar adalah :

$$H_p = \frac{0,2 \times 1,5}{2} = 0,15 \text{ oersted}$$

Apabila sepotong penghantar dibengkokkan menjadi suatu lilit dan dialirkan arus listrik melalui lilit itu, maka sepanjang keliling lilit itu dibangkitkan lingkaran garis gaya. Resultan lingkaran garis gaya itu merupakan medan magnet dengan garis-garis gaya masuk dari satu sisi menembus bidanag lilit, dan keluar dari sisi lainnya. Jadi lilit menjadi magnet tipis dengan satu sisi sebagai kutub utara dan sisi lainnya sebagai kutub selatan. Besarnya kuat medan magnet di titik pusat lingkaran itu dapat dinyatakan

dengan persamaan :  $H = \frac{0,2 \times \pi \times I}{r}$

**Contoh 6.2**

Dalam suatu lilit penghantar mengalir arus 2 ampere, sedangkan jari-jari lilit 3 cm.

Medan magnet di pusat lilit besarnya adalah :  $H = \frac{0,2 \times 3,14 \times 2}{3} = 0,419 \text{ oersted}$

**6.2 Hukum Ampere dan Hukum Ohm Sirkuit Magnet**

Apabila dari persoalan di atas dikembangkan menjadi sepotong kawat dibelit-belitkan menjadi susunan banyak lilit atau disebut kumparan (solenoid) kemudian dialiri arus, maka setiap lilit menjadi magnet tipis dan seluruhnya membentuk sebuah magnet besar yang sifatnya seperti batang magnet. Ggm keluar dari kutub utara masuk di kutub selatan ke ruang dalam kumparan. Di dalam kumparan ggm berjalan dari kutub selatan ke kutub utara dan apabila ukuran panjang kumparan amat besar dibandingkan ukuran penampangnya maka medan magnet di ruang dalam kumparan (di

udara atau hampa udara) dapat dinyatakan dengan rumus :  $H = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l}$

dimana H : kuat medan magnet (oersted), I : kuat arus (ampere), N : jumlah lilit, dan l : panjang kumparan (cm).

Rumus di atas dapat ditulis :  $H = 1,25 \times \frac{N \times I}{l}$  atau  $0,8 H = \frac{N \times I}{l}$

$\frac{N \times I}{l}$  disebut : *lilit-ampere tiap cm*, dan N x I disebut : *jumlah lilit-ampere* atau *ggm*.

Dapat ditulis menjadi :  $N \times I = \text{ggm} = 0,8 \times H \times l$

Bila luas penampang kumparan :  $q \text{ cm}^2$ , maka arus gaya magnet (jumlah ggm) yang menembus penampang kumparan (di dalam kumparan) adalah :  $\Phi = H \times q$

Dimana  $\Phi$  : arus gaya magnet (maxwel), H : medan di dalam kumparan (oersted), dan q : penampang kumparan ( $\text{cm}^2$ ).

**Contoh 6.3**

Sebuah kumparan mempunyai 200 lilit dan panjangnya 9,5 cm. Arus yang mengalir pada kumparan tersebut 1,5 ampere, maka kuat medan di dalam kumparan adalah :

$$H_k = \frac{0,4 \times 3,14 \times 200 \times 1,5}{9,5} = 40 \text{ oersted}$$

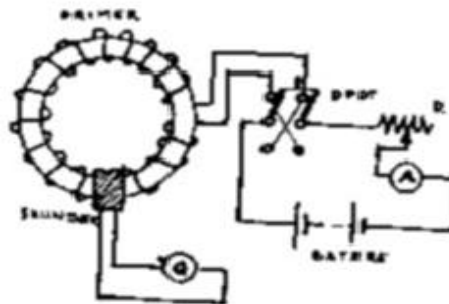
**Contoh 6.4**

Sebuah kumparan mempunyai 100 lilit dan panjangnya 6 cm, mempunyai luas penampang 2 cm<sup>2</sup>. Dalam kumparan dialiri arus sebesar 2,4 ampere, maka :

- Kuat medan di dalam kumparan :  $H = \frac{0,4 \times 3,14 \times 100 \times 2,4}{6} = 50,24 \text{ oersted}$
- Arus gaya dalam kumparan :  $\Phi = H \times q = 50,24 \times 2 = 100,48 \text{ maxwel}$
- Kumparan itu mempunyai :  $N \times I = 100 \times 2,4 = 240 \text{ lilit-ampere}$

**6.3 Kurva Karakteristik Kemagnetan Bahan**

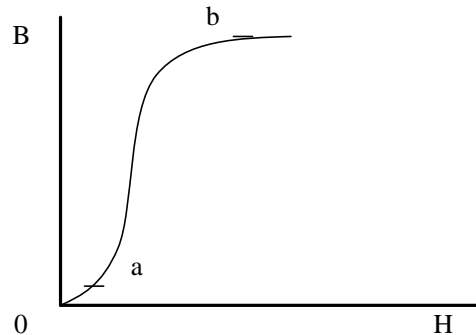
Dalam sebuah kumparan-udara (kumparan tanpa inti besi) yang berarus listrik, terdapat medan magnet  $H$ . apabila ke dalam kumparan itu dimasukan sepotong inti besi, maka besi itu akan dipermagnet dengan rapat arus gaya di dalam besi :  $B = \mu H$ . Jika kuat arus dalam kumparan itu dinaikkan sehingga gaya pemagnet  $H$  naik nilainya, maka besar  $B$  juga naik. Untuk membuat lengkung yang menunjukkan hubungan antara  $B$  dan  $H$  untuk tiap-tiap nilai gaya pemagnet  $H$  dilakukan dengan cara percobaan seperti gambar 6.1.



Gambar 6.1 Percobaan mencari lengkung  $B$  dan  $H$

Besar arus mula-mula = 0, menghasilkan  $H = 0$ . Lalu arus dinaikkan dan  $H$  naik pula. Tiap nilai  $H$  dapat dihitung dari kuat arus yang diberikan oleh sumber arus kepada kumparan primer lewat beberapa tahanan yang dihubungkan paralel dengan jumlah lilit kumparan primer ini. Besar gaya pemagnet  $H$  dapat diatur (dinaikkan) dengan menghubungkan berturut-turut sakelar pada tahanan yang dihubungkan paralel. Harga kenaikan  $B$  yang berhubungan dengan kenaikan  $H$  dapat dihitung dari penunjuk pengukur galvano-balistik. Bahan yang dicari harga permeabilitasnya adalah bahan yang dipakai sebagai inti dalam kumparan primer. Dari hasil percobaan ini dapat

dilukiskan *lengkung kemagnetan* atau *kurva karakteristik* suatu bahan bersangkutan (seperti gambar 6.2).

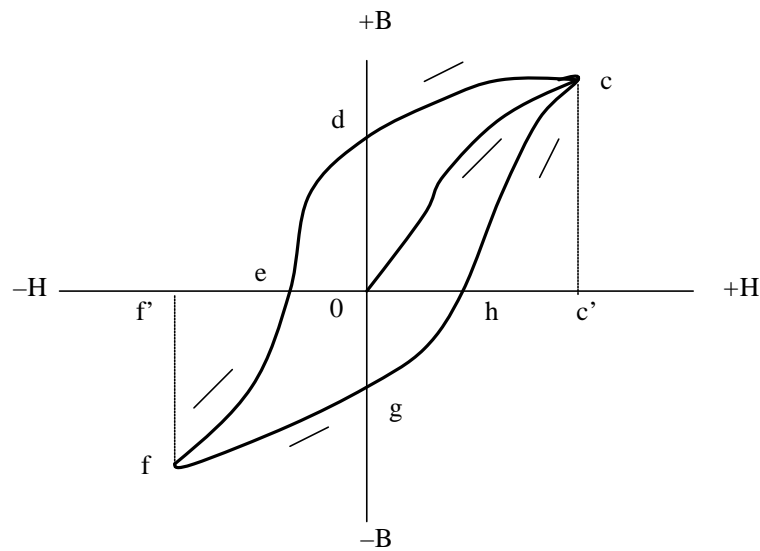


Gambar 6.2 Lengkung kemagnetan atau kurva karakteristik suatu bahan

Berdasarkan gambar di atas, dapat dijelaskan : ketika gaya pemagnet  $H$  mulai diberikan, daerah (domain) dalam bahan mulai bersikap mengarahkan kemagnetannya ke arah gaya pemagnet. Jadi bahan mulai bersifat magnet sedikit. Kenaikkan  $B$  sedikit karena gaya pemagnet dipakai untuk mempersiapkan daerah (domain) yang banyak itu (lengkung :  $0a$ ). kalau  $H$  dinaikkan sedikit saja, daerah (domain) mengarahkan kemagnetannya searah dengan gaya-pemagnet, sehingga dengan kenaikan  $H$  sedikit saja kenaikan  $B$  besar. Ini terjadi sampai bahan jenuh (saturated), yaitu semua daerah (domain) telah mempunyai arah kemagnetan sama dengan arah gaya pemagnet (lengkung  $a - b$ ). sesudah titik  $b$  (titik jenuh), jalan lengkung tidak menanjak lagi.

#### 6.4 Kejenuhan dan Hysteresis

Apabila dari point 6.3 di atas diteruskan sampai di titik  $C$  pada gambar 6.3, dan sesudah itu gaya pemagnet dikurangi, maka karena keterlambatan lepasnya daerah (domain), harga induksi kemagnetan ( $B$ ) untuk tiap nilai gaya pemagnet ( $H$ ) tertentu selalu lebih besar daripada ketika gaya-pemagnet naik. Misal apabila gaya pemagnet telah diturunkan sampai nol, maka induksi kemagnetan turun menurut lengkung  $cd$ , jadi sebesar  $O_d$ . nilai induksi kemagnetan  $O_d$  ini disebut *kemagnetan-sisa* (kemagnetan remanen). Untuk membuat kerapatan garis gaya  $B$  menjadi nol, gaya pemagnet harus dibalik arahnya dan dinaikkan (arah negatif) sampai harga  $O_e$  atau  $H_e$ . Harga pemagnet itu disebut *gaya koersif*.



Gambar 6.3 Kurva histerisis suatu bahan

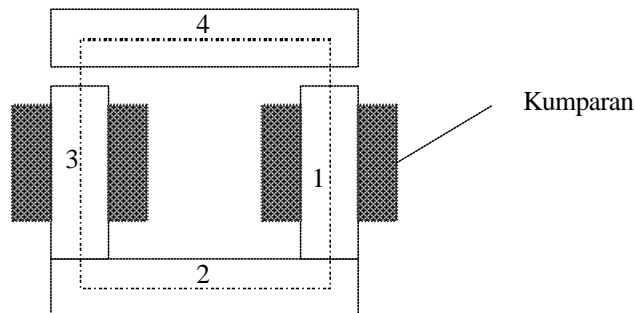
Kalau diteruskan menaikkan gaya-pemagnet dalam arah negatif sampai  $f'$ , dengan  $Of' = Oc'$ , maka induksi kemagnetan mencapai harga maksimum negatif  $ff'$  ( $= cc'$ ). Apabila gaya-pemagnet dibuat nol, dan arahnya dibalik dan dinaikkan menjadi  $0c'$ , maka induksi kemagnetan akan berjalan menurut bagian lengkung :  $f-g-h$  dan kembali sampai  $c$ . dan  $Oh$  disebut juga gaya koersif yang positif.

Jadi induksi kemagnetan selalu ketinggalan terhadap gaya-pemagnet. Gejala ini disebut : *histeresis*. Kurva pemagnetan di atas disebut *kurva histeresis* (hysteresis loop) atau *edaran histeresis*.

## 6.5 Perhitungan dan Rangkaian Kemagnetan

### a. Rangkaian Kemagnetan

Rangkaian kemagnetan (magnetic circuit) adalah jalan arus gaya magnet yang merupakan rangkaian tertutup. Misalnya seperti gambar 6.4.



Gambar 6.4 Rangkaian kemagnetan

Sebuah relai yang terdiri dari : (1) inti, (2) gandar, (3) inti, (4) jangkar dan dua lilitan (kumparan) yang dipasang pada kedua inti relai. Antara kedua inti dan jangkar terdapat celah udara. Apabila dalam kedua kumparan relai dialirkan arus, maka timbul arus gaya yang berjalan melalui inti kanan, gandar, inti kiri, celah udara kiri, jangkar, celah udara kanan dan kembali ke inti kanan. Jalan arus-gaya inilah yang merupakan rangkaian kemagnetan.

**b. Tahanan-magnet dan daya antar-magnet**

Apabila di dalam kumparan berisi inti besi berbentuk cincin, dialirkan arus listrik, maka induksi kemagnetan atau kerapatan arus-gaya magnet di dalam inti itu adalah :

$$B = \mu \times H$$

Karena  $H = \frac{0,4 \pi \times N \times I}{l}$ , maka  $B = \mu \times \frac{0,4 \pi \times N \times I}{l}$

Dan besar arus gaya dalam inti besi itu :

$$\phi = B \times q = \frac{0,4 \pi \times N \times I \times \mu \times q}{l}, \text{ karena } N \times I = ggm, \text{ maka dapat dituliskan :}$$

$$\phi = \frac{0,4 \pi \times ggm \times \mu \times q}{l} \text{ atau } \phi = \frac{ggm}{\frac{l}{0,4 \pi \times \mu \times q}}$$

$\frac{l}{0,4 \pi \times \mu \times q}$  merupakan : tahanan-magnet dan diberi simbol :  $R_{mag}$ .

Jadi persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk :  $\phi = \frac{ggm}{R_{mag}}$  max wel

Rumus di atas sering disebut hukum Ohm untuk rangkaian kemagnetan, karena mempunyai persamaan dengan hukum Ohm rangkaian listrik :  $I = \frac{E}{R}$

Tahanan magnet :  $R_{mag} = \frac{l}{0,4 \pi \times \mu \times q}$  mempunyai persamaan dengan :  $R = \frac{l}{g \times q}$

Jadi  $0,4 \pi \times \mu \times q$  dapat disebut juga : *daya antar-magnet-jenis* ( $g_{mag}$ ),

$\frac{1}{0,4 \pi \times \mu \times q}$  disebut *tahanan magnet jenis*, dan

$\frac{0,4 \pi \times \mu \times q}{l}$  disebut *daya-antar magnet*

### c. Menghitung besar lilit-ampere rangkaian kemagnetan

Misal ukuran data rangkaian kemagnetan gambar 6.1 sebagai berikut :

Tabel 6.1 Data Ukuran rangkaian kemagnetan

No.	Nama	Bahan	Luas penampang (q) dalam cm <sup>2</sup>	Panjang jalan arus gaya (l) dalam cm
1.	Inti	Besi tuang	10	20
2.	Gandar	Besi tuang	8	15
3.	Inti	Besi tuang	10	20
4.	Jangkar	Pelat jangkar	8	15
5.	Celah udara	Udara	12,5	0,4
6.	Celah udara	Udara	12,5	0,4

Dalam rangkaian kemagnetan ini terdapat dua celah udara antara jangkar dan inti. Luas celah udara ini sama dengan luas penampang besi yang terdekat dikalikan dengan faktor bocor. Dalam celah udara ini jalan arus gaya tidak lurus tetapi mengembang (bocor). Jadi luas bidang yang ditembus arus gaya dalam celah udara lebih besar. Nilai faktor bocor kurang lebih 1,2 – 1,3. Jadi dalam hal ini luas penampang celah udara :  $1,25 \times \text{luas inti} = 1,25 \times 10 = 12,5 \text{ cm}^2$ .

Tahanan magnet rangkaian ini dalam hubungan seri, jadi jumlah tahanan magnet :

$$R_{\text{mag}} = R_{\text{mag1}} + R_{\text{mag2}} + R_{\text{mag3}} + R_{\text{mag4}} + R_{\text{mag5}} + R_{\text{mag6}}$$

Untuk menghitung tiap  $R_{\text{mag}}$  harus dicari nilai ? dahulu untuk macam-macam bahan. Misal dalam rangkaian kemagnetan diinginkan arus gaya 100.000 maxwel di dalam masing-masing celah udara, maka karena jalan arus gaya hanya satu (rangkaian seri), nilai arus gaya di seluruh bagian rangkaian kemagnetan ini sama. Tetapi karena luas penampang masing-masing bagian tidak sama, maka nilai kerapatan arus-gaya tiap bagian juga tidak sama. Nilai B ini dicari dengan menggunakan persamaan :

$$B_1 = 100.000/10 = 10.000 \text{ gauss} \quad (\text{dalam inti pertama})$$

$$B_2 = 100.000/8 = 12.500 \text{ gauss} \quad (\text{dalam gandar})$$

$$B_3 = 100.000/10 = 10.000 \text{ gauss} \quad (\text{dalam inti kedua})$$

$$B_4 = 100.000/8 = 12.500 \text{ gauss} \quad (\text{dalam jangkar})$$

$$B_5 = 100.000/12,5 = 8.000 \text{ gauss} \quad (\text{dalam udara})$$

$$B_6 = 100.000/12,5 = 8.000 \text{ gauss} \quad (\text{dalam udara})$$

Nilai ? yang bersangkutan dengan nilai B di atas dapat dicari pada tabel 6.2 sbb :

$$?_1 = 72 \quad (\text{besi tuang}) \quad ?_4 = 1250 \quad (\text{pelat jangkar})$$

$$?_2 = 1120 \quad (\text{besi tuang}) \quad ?_5 = 1 \quad (\text{udara})$$

$$?_3 = 72 \quad (\text{besi tuang}) \quad ?_6 = 1 \quad (\text{udara})$$

Tabel 6.2 Nilai B, H dan  $\mu$  beberapa macam bahan

H	Pelat jangkar		Baja tuang		Besi tuang	
	B	$\mu$	B	$\mu$	B	$\mu$
1.	4060	4060	2300	2300	940	940
2.	5320	2910	4400	2000	1610	805
4.	9240	2310	7400	1850	2520	630
6.	10820	1820	9180	1530	3180	530
8.	11840	1480	10800	1350	3720	465
10.	12600	1260	12000	1200	4180	418
20.	14600	730	14800	750	5600	280
30.	15250	508	15900	530	6480	216
40.	15680	392	16200	405	7320	183
50.	16100	322	16250	325	7850	157
60.	16500	275	16500	275	8160	136
70.	16800	240	16730	339	8470	121
80.	17040	213	16800	210	8800	110
90.	17100	190	17100	190	8910	99
100.	17500	175	17400	174	9200	92
110.	17600	160	17490	159	9460	96
120.	17880	149	17760	148	9720	81
130.	18070	139	17940	138	9880	76
140.	18200	130	18200	130	10080	72
150.	18750	125	18300	122	10350	69

Apabila nilai B tidak tepat sama dengan salah satu dalam daftar di atas, maka cara mencari nilai  $\mu$  seperti berikut :

Nilai  $B_2$  untuk baja tuang dalam perhitungan di atas = 12500, ini terletak di antara 12000 dan 14800 (dalam tabel). Jadi harga  $\mu$  yang sepadan terletak di antara 1200 dan 750. Selisih nilai B :  $14800 - 12000 = 2800$ , ini setaraf dengan selisih nilai  $\mu$  :  $1200 - 75 = 450$ . Nilai 12500 itu dari 12000 lebih besar : 500, yang sama dengan :  $500/2800 \times$  kenaikan nilai B tadi ( $500/2800 \times 2800$ ). Jadi perubahan nilai  $\mu$  harus setaraf dengan perubahan nilai B itu, yaitu :  $500/2800 \times 450 = 80$ . Maka nilai  $\mu$  yang sesuai dengan nilai B : 12500, adalah :  $1200 - 80 = 1120$ . Begitu juga untuk menemukan nilai H yang sepadan dengan suatu nilai B atau sebaliknya, dapat dilakukan dengan cara seperti di atas. Nilai tahanan magnet bagian rangkaian kemagnetan di atas dapat dihitung dengan rumus :

$$R_{mag} = \frac{l}{\mu \times q}$$

$$R_{mag-1} = 20 / (75 \times 10) = 0,028$$

$$R_{mag-4} = 15 / (1230 \times 8) = 0,0015$$

$$R_{mag-2} = 15 / (1120 \times 8) = 0,0017$$

$$R_{mag-5} = 0,4 / (1 \times 12,58) = 0,032$$

$$R_{mag-3} = 20 / (75 \times 10) = 0,028$$

$$R_{mag-6} = 0,4 / (1 \times 12,5) = 0,032$$

$$R_{\text{mag total}} = 0,028 + 0,0017 + 0,028 + 0,0015 + 0,032 + 0,032 = 0,1232$$

$$\text{Jadi : } N \times I = \frac{? \times R_{\text{mag total}}}{1,25} = \frac{100.000 \times 0,1232}{1,25} = 9856 \text{ lilit ampere}$$

Contoh perhitungan di atas dapat juga dilakukan dengan menggunakan daftar lilit-ampere tiap cm, seperti tabel 6.3.

Tabel 6.3 Lilit amper tiap cm

Induksi B	Lilit-ampere tiap cm		
	Pelat jangkar	Baja tuang	Besi tuang
1000	0,2	0,3	0,9
2000	0,4	0,6	2,3
3000	0,7	1,7	4,3
4000	1,0	1,4	7,5
5000	1,3	1,9	12,0
6000	1,7	2,4	19,6
7000	2,1	3,1	31,6
8000	2,5	3,8	49,0
9000	3,1	4,7	76
10000	3,9	5,7	113
11000	5,1	6,8	
12000	6,8	8,2	
13000	9,1	10,4	
14000	12,9	15,4	
15000	21,0	24,0	
16000	39,0	41,0	
17000	70,0	72	
18000	112	117	
19000	181	181	
20000	278		

## 7. Kegiatan Belajar 7

### INDUKTANSI

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 7 :

- Siswa memahami tentang pengertian induktansi dan mampu untuk menerapkannya

#### b. Uraian Materi 7 :

##### 7.1 Faktor yang Mempengaruhi Induktansi

Sebuah kumparan mempunyai induktansi atau koefisien induksi-sendiri sebesar satu henri, apabila ada suatu perubahan arus satu ampere dalam satu sekon yang dapat menimbulkan ggl induksi sendiri sebesar satu volt di dalam kumparan itu. Atau dapat dirumuskan dengan persamaan :

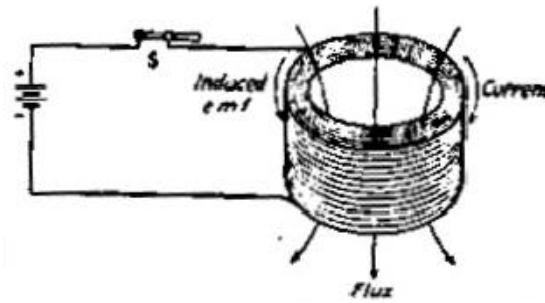
$$L = \frac{N \Phi}{I} \times 10^{-8} \text{ henri}$$

berdasarkan persamaan di atas, maka besarnya harga induktansi dari suatu kumparan, sangat bergantung kepada :

- Jumlah lilitan (N)
- Banyaknya garis-garis gaya magnet atau fluksi yang terjadi ( $\Phi$ ), dan
- Besarnya arus yang mengalir pada kumparan tersebut.

##### 7.2 Induksi Sendiri dan Induksi Bersama

Apabila di dalam sebuah kumparan dialiri arus listrik, maka timbullah arus gaya dalam kumparan itu. Arus gaya itu dikurung sendiri oleh kumparan itu, seperti dijelaskan pada gambar 7.1



Gambar 7.1 Gejala induksi-sendiri

Jika arus di dalam kumparan itu diubah nilainya, berubahlah arus gaya yang dikurung kumparan itu sendiri. Karena perubahan arus gaya sendiri yang dikurung sendiri itu dan diimbaskan dalam kumparan itu sendiri. Gejala ini disebut dengan induksi-sendiri. Ggl induksi itu arahnya selalu berlawanan dengan arus yang membangkitkannya atau arah penyebab yang membangkitkannya dalam gejala induksi-sendiri. Apabila arus di dalam kumparan dinaikkan, arus gaya naik,, ggl induksi sendiri yang dibangkitkan mempunyai arah yang berlawanan dengan arah arus atau ggl yang telah ada di dalam kumparan. Jika arus di dalam kumparan berkurang, arus gaya berkurang, maka ggl induksi sendiri yang dibangkitkan mempunyai arah yang sama dengan ggl dan arus yang telah ada. Jadi apabila arus dalam sebuah kumparan naik, maka ggl induksi sendiri melawan kenaikan ini, sehingga kenaikan arus menjadi lebih lambat daripada bila tidak ada gejala induksi sendiri. Jika arus diturunkan, maka ggl-imbis/induksi sendiri melawan penurunan ini, jadi ingin menambahnya. Apabila arus diputuskan, maka ggl-induksi-sendiri melawan pemutusan ini dan ingin melanjutkan arus (tetap mengalir).

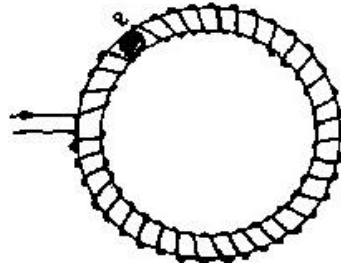
Besarnya induksi sendiri yang terjadi pada sebuah kumparan dinamakan dengan koefisien induksi-sendiri atau induktansi yang dihitung dengan satuan henri (H). atau dalam bentuk persamaan dirumuskan :

$$L = \frac{N \times \Phi}{I} \times 10^{-8} \text{ henri}$$

### Contoh 7.1

Sebuah cincin dari kayu diberi kumparan dengan 600 lilit, serti gambar 7.1. Di dalam kumparan dialiri arus 1 ampere dengan luas penampang cincin  $2 \text{ cm}^2$ , dan panjang jalan

garis-gaya rata-rata 20 cm. Hitung arus-gaya yang dibangkitkan dan koefisien induksi – sendiri kumparan. Permeabilitas kayu sama dengan udara (1) dan kebocoran diabaikan.



Gambar 7.2 Cincin kayu diberi kumparan

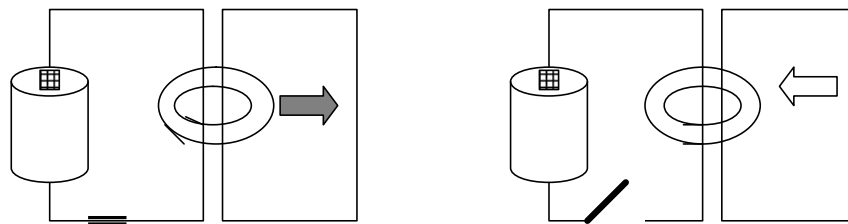
Jawab :

$$I = \frac{0,4 \times N \times I \times q}{l} = \frac{1,25 \times 600 \times 1 \times 2}{20} = 75 \text{ max wel}$$

$$L = \frac{1,25 \times N^2 \times q}{l} \times 10^{-8} = \frac{1,25 \times 600^2 \times 1 \times 2}{20} \times 10^{-8} = 45 \times 10^{-5} \text{ henri}$$

$$\text{atau } L = \frac{N^2 \times q}{I} \times 10^{-8} = \frac{600 \times 75}{1} \times 10^{-8} = 45 \times 10^{-5} \text{ H}$$

Induksi bersama atau induksi timbal-balik dapat dibuktikan dengan cara melakukan percobaan seperti gambar 7.3 berikut.



Gambar 7.3 Percobaan induksi timbal-balik

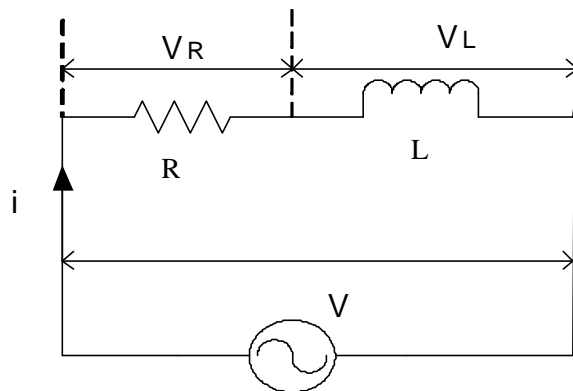
Dua buah lilitan  $L_1$  dan  $L_2$  diletakkan berdekatan, dimana lilitan  $L_1$  dihubungkan pada sebuah baterai melalui sebuah sakelar dan  $L_2$  merupakan rangkaian tertutup. Apabila sakelar dimasukkan arus mulai mengalir dari nol naik mencapai suatu nilai tertentu di dalam lilitan  $L_1$ . Kuat medan di sekitar kawat lilitan  $L_1$  yang berbentuk lingkaran garis-gaya naik dari nol sampai suatu nilai tertentu. Jadi lingkaran garis gaya mengembang dari pusat kawat ke luar, menjauhi kawat. Garis-garis gaya kawat  $L_1$  yang kanan, ketika mengembang memotong kawat  $L_2$  yang kiri. Karena perpotongan ini diimbaskan ggl di

dalam kawat kiri lilitan  $L_2$ . Karena lilitan  $L_2$  merupakan rangkaian tertutup, maka ggl-imbias kawat ini membangkitkan arus induksi dalam lilitan  $L_2$ . Menurut peraturan tangan kanan arah ggl-induksi dan arus-induksi ini melingkar searah putaran jarum jam. Jadi berlawanan dengan arah arus dan ggl dalam lilitan  $L_1$ . Apabila arus di dalam lilitan  $L_1$  telah mencapai suatu nilai tertentu dan tidak naik lagi, maka tidak lagi terjadi perpotongan antara garis-gaya dan kawat, dan berhentilah arus induksi dalam lilitan  $L_2$ .

Apabila sakelar dibuka, maka arus dalam lilit  $L_1$  berkurang sampai menjadi nol. Lingkaran garis-gaya kawat kanan  $L_1$  menyusut dari bagian luar ke arah pusat kawat, maka terjadilah perpotongan garis-gaya dengan kawat kiri lilit  $L_2$  dalam arah kebalikan arah perpotongan ketika sakelar dimasukkan tadi. Sehingga dalam kawat kiri lilitan  $L_2$  diinduksikan ggl yang membangkitkan arus di dalam lilitan  $L_1$  dalam arah kebalikan dengan arah ggl-imbias ketika sakelar dimasukkan tadi. Jadi arah ggl induksi yang sekarang ini sama dengan arah ggl di dalam lilitan  $L_1$ . Apabila arus di dalam lilitan  $L_1$  telah menjadi nol, tak ada perpotongan garis gaya lagi, ggl-induksi dan arus induksi di dalam lilitan  $L_2$  juga hilang. Jadi : “Ggl-induksi itu dibangkitkan hanya bila ada perubahan garis-gaya (perubahan arus-gaya)”. Arah ggl-induksi ini selalu berlawanan dengan arah yang membangkitkan. Apabila arus-gaya naik, arus naik, arah ggl-induksi berlawanan dengan kenaikan positif arus. Jadi arahnya berlawanan dengan arah arus yang membangkitkannya. Kalau arus-gaya turun, arus turun, arah-ggl berlawanan dengan penurunan (kenaikkan negatif) arus, jadi arahnya sama dengan arah arus yang membangkitkan.

### 7.3 Rangkaian Induktansi dan Resistansi

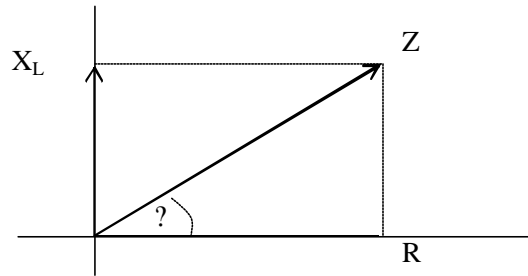
Perhatikan gambar 7.4 rangkaian seri induktansi dan resistansi



Gambar 7.4 Rangkaian induktansi dan resistansi

Rangkaian antara induktansi dan resistansi sering dinamakan dengan istilah impedansi diberi simbol  $Z$  yang dapat diartikan sebagai hambatan total. Besarnya impedansi ini dapat dinyatakan dengan rumus :  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

Diagram dari hambatan  $R$  dan hambatan induktif  $X_L$  dapat dinyatakan dalam vektor diagram sebagai berikut.



Gambar 7.5 Vektor diagram induktansi dan resistansi

Sudut fase impedansi (?) dapat dihitung dengan persamaan :  $\tan \theta = X_L / R$

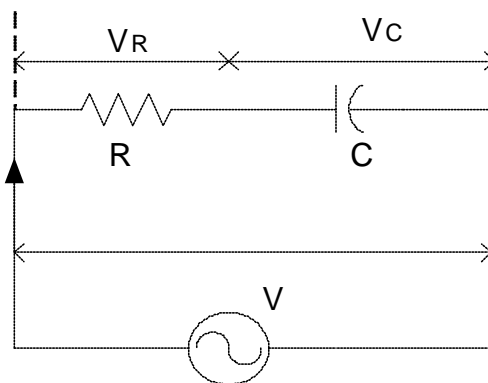
Dengan  $X_L$  : hambatan induktif, dan  $R$  : hambatan murni.

Dari gambar 7.4 di atas, jika  $V_R$  adalah harga tegangan pada ujung-ujung hambatan  $R$ , sedangkan  $V_L$  harga tegangan pada ujung-ujung induktor  $L$ , dan  $V$  adalah harga tegangan sumber, maka berlaku persamaan :  $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$

Dengan demikian :  $\tan \theta = \frac{X_L}{R} = \frac{V_L}{V_R}$  ; dimana :  $V_R = i.R$  ;  $V_L = i.X_L$ ; dan  $V = i.Z$

### 7.4 Rangkaian Kapasitansi dan Resistansi

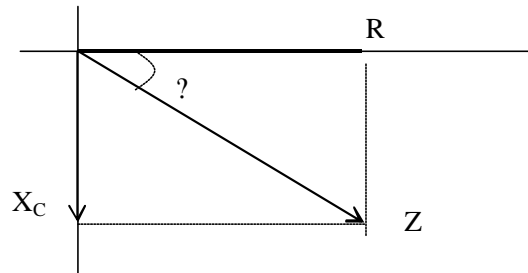
Perhatikan gambar 7.6 rangkaian seri kapasitansi dan resistansi



Gambar 7.6 Rangkaian kapasitansi dan resistansi

Besarnya impedansi ini dapat dinyatakan dengan rumus :  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

Diagram dari hambatan R dan hambatan kapasitif  $X_C$  dapat dinyatakan dalam vektor diagram sebagai berikut.



Gambar 7.7 Vektor diagram induktansi dan resistansi

Sudut fase impedansi (?) dapat dihitung dengan persamaan :  $\tan \theta = -X_C / R$

Dengan  $X_C$  : hambatan kapasitif, dan  $R$  : hambatan murni.

Dari gambar 7.6 di atas, jika  $V_R$  adalah harga tegangan pada ujung-ujung hambatan R, sedangkan  $V_C$  adalah harga tegangan pada ujung-ujung kapasitor, dan  $V$  adalah harga

tegangan sumber, maka berlaku persamaan :  $V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$

Dengan demikian :  $\tan \theta = \frac{X_C}{R} = \frac{V_C}{V_R}$

Dimana :  $V_R = i.R$  ;  $V_C = i.X_C$  ; dan  $V = i.Z$

## 7.5 Energi Pada R, L dan C

### a. Energi dan daya pada R

Besarnya energi yang tersimpan pada tahanan murni dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :  $W_R = I^2 R t$

Dengan  $W_R$  : energi pada R (joule),  $I$  : arus yang mengalir pada R (A),  $R$  : besarnya tahanan R (ohm), dan  $t$  : lamanya waktu (detik). Energi ini di-desipasi dalam bentuk panas, dan tidak dapat ditransformasikan kembali menjadi energi listrik. Sedangkan besarnya daya pada R dapat dirumuskan :  $P = R. I^2$

Daya desipasi pada R berbanding lurus dengan kuadrat arus. Resistansi R sering didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu komponen untuk mendesipasi daya.

### **b. Energi pada L**

Besarnya energi yang tersimpan pada induktor dapat dirumuskan :  $W_L = \frac{1}{2} L.I^2$  dimana  $W_L$  : besarnya energi yang dapat disimpan pada L (joule), L : induktansi (henri), dan I : besarnya arus yang mengalir pada L (A).

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa jumlah energi yang masuk pada suatu L dalam waktu tertentu berbanding lurus dengan kuadrat arus akhir, dengan faktor pembanding L/2. Induktor L dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan untuk menyimpan energi dalam bentuk muatan bergerak atau medan magnet.

### **c. Energi pada C**

Besarnya energi yang tersimpan pada kapasitor dapat dirumuskan :  $W_C = \frac{1}{2} C.V^2$  dimana  $W_C$  : besarnya energi yang dapat disimpan pada C (joule), C : kapasitansi (farrad), dan V : besarnya tegangan yang terjadi pada C (V).

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa jumlah energi yang masuk pada suatu C dalam waktu tertentu berbanding lurus dengan kuadrat tegangan akhir, dengan faktor pembanding C/2. Kapasitansi C dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu kapasitor untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik.  $W_L = \frac{1}{2} C.V^2$  merupakan energi yang disimpan oleh kapasitor.

## 8. Kegiatan Belajar 8

### INDUKSI ELEKTROMAGNET

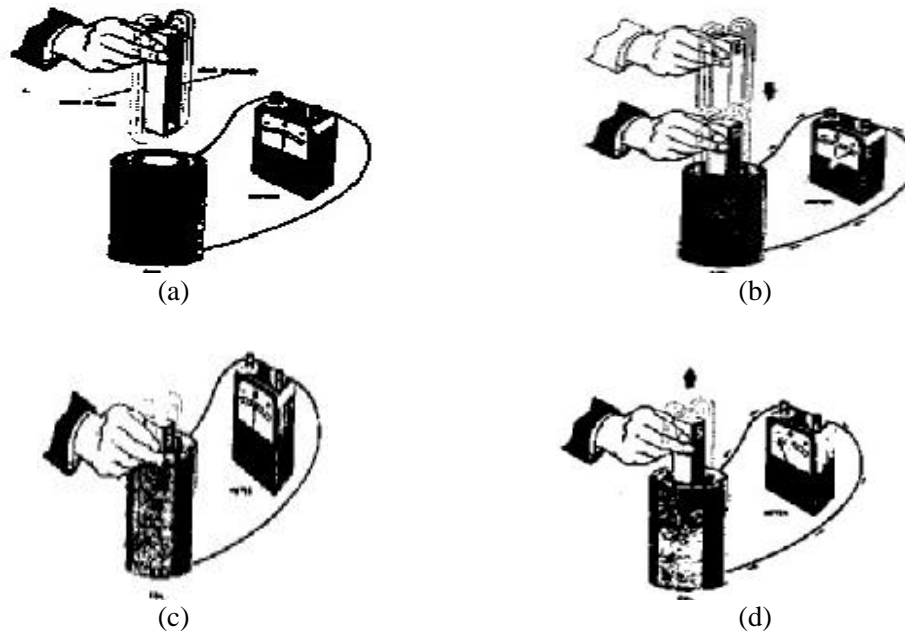
#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 8 :

- Siswa memahami tentang pengertian induksi elektromagnet dan mampu untuk menerapkannya dalam rangkaian listrik

#### b. Uraian Materi 8 :

##### 8.1 Gaya Gerak Listrik dan Hukum Faraday

Berdasarkan teori kemagnetan, mengatakan bahwa apabila sebuah batang magnet digerakkan di dalam lilitan kawat, maka timbul tegangan-listrik atau gaya gerak listrik di dalam lilitan itu. Karena garis-garis gaya batang magnet memotong kawat-kawat dalam lilitan, maka dalam kawat-kawat (lilitan) itu diimbaskan (diinduksikan) gaya-gerak-listrik (ggl), seperti dijelaskan pada gambar 8.1.



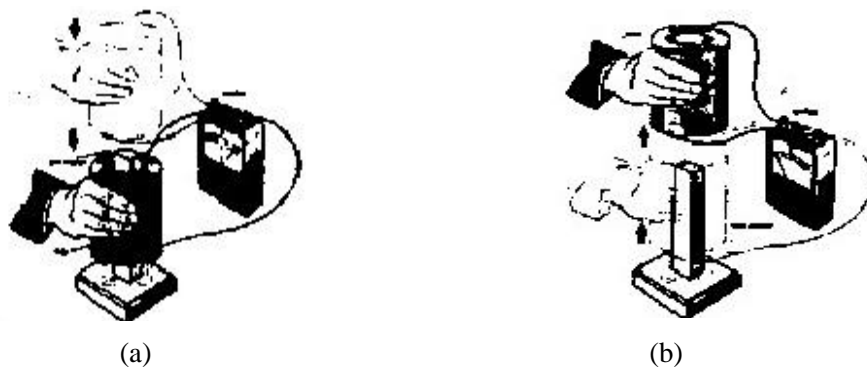
Gambar 8.1 Proses terjadinya ggl induksi

Pada gambar 8.1 (a), ketika batang magnet diam di atas kumparan (lilitan kawat), tidak ada ggl yang diimbaskan. Kalau batang magnet dimasukkan ke dalam kumparan,

terjadilah perpotongan garis-gaya magnet dengan kawat-kawat kumparan, maka diimbaskan ggl di dalam kawat kumparan tersebut (gambar b). Jika batang magnet telah diam di dalam kumparan (gambar c), tidak ada ggl yang diimbaskan karena tidak ada perpotongan garis-gaya dengan kawat. Apabila batang magnet diangkat ke luar kumparan, maka terjadi lagi perpotongan garis-gaya dengan kawat, dan diimbaskan lagi ggl di dalam kumparan (yang arahnya kebalikan dengan ggl yang dibangkitkan ketika batang magnet dimasukkan).

Jadi : “apabila terjadi perpotongan garis-gaya (arus-gaya) dengan penghantar, maka di dalam penghantar itu diimbaskan gaya-gerak-listrik”. Prinsip itu lebih sering disebut dengan istilah *percobaan Faraday* atau lebih dikenal dengan *Hukum Faraday*. Sehingga lebih kuat medan magnetnya dan lebih cepat gerak potongnya, lebih besar ggl yang diimbaskan (diinduksikan).

Perpotongan garis-gaya-magnet (ggm) dengan penghantar juga terjadi apabila kumparannya yang digerakan, sedangkan batang magnetnya diam, seperti dijelaskan pada gambar 8.2.



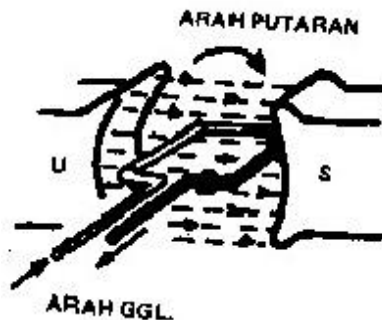
Gambar 8.2 Kumparan digerakan dalam medan magnet

## 8.2 Induksi Dalam Kumparan Berputar dan Hukum Lenz

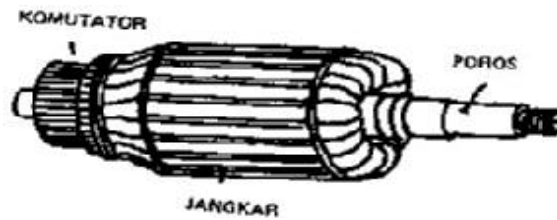
Kerja sebuah generator berdasarkan azas imbas listrik. Kumparan yang terdiri atas banyak lilitan, diputar di dalam medan magnet sehingga memotong ggm dan diimbaskan ggl di dalam kumparan itu. Dalam gambar 8.3 terdapat sebuah lilitan kawat penghantar yang diputar di dalam medan magnet. Sisi kanan dan sisi kiri lilitan memotong garis-garis gaya sehingga di dalam kedua sisi dibangkitkan ggl. Arah ggl di kawat sisi kiri ke belakang, di kawat sisi kanan ke muka (berlawanan, karena arah gerakanya juga berlawanan). Karena dibagian ujung belakang kedua sisi ini

dihubungkan maka dalam lilitan itu kedua ggl saling membantu. Generator mempunyai banyak lilitan semacam itu yang dipasang pada sebuah inti, seperti gambar 8.4 dan disebut jangkar (seperti jangkar motor listrik).

Apabila kedua ujung dari lilitan jangkar itu dihubungkan dengan rangkaian luar melalui komutator atau cincin dan sikat, seperti pada motor, maka mengalir arus ke rangkaian luar (rangkaian arus tertutup).



Gambar 8.3 kumparan yang diputar di dalam medan magnet

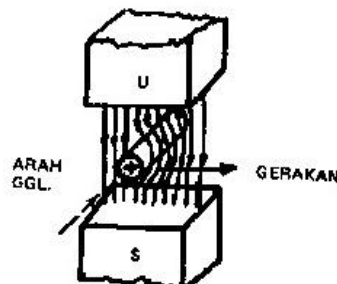


Gambar 8.4 Sebuah jangkar mesin listrik

Nilai ggl yang diinduksikan apabila sepotong kawat penghantar digerakan tegak lurus pada garis-garis gaya dalam medan magnet seperti gambar 8.5 adalah :

$$E = H \times l \times v \times 10^{-8} \text{ volt}$$

Dengan E : nilai ggl (volt), H : kuat medan (oersted), l : panjang penghantar yang berada di dalam medan magnet (cm), dan v : kecepatan gerakan penghantar (cm/sekon).



Gambar 8.5 Arah ggl dan gerakan

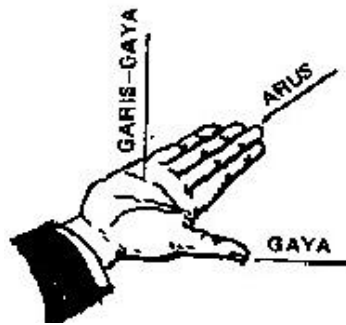
### Contoh 8.1

Sepotong penghantar yang panjangnya 20 cm digerakkan tegak lurus pada garis-gaya dengan kecepatan 10 m/sekon, di dalam medan magnet yang sama rata (homogen) 1000 oersted. Berapakah besar ggl yang diinduksikan di dalam penghantar tersebut ?

Jawab :

$$\begin{aligned} E &= H \times l \times v \\ &= 1000 \times 20 \times 1000 \times 10^{-8} = 0,2 \text{ volt.} \end{aligned}$$

Arah ggl yang diinduksikan di atas tergantung kepada arah gerakan penghantar dan arus gaya. Suatu aturan untuk dapat menemukan arah ggl induksi di sebut aturan tangan kanan, seperti dijelaskan pada gambar 8.6.



Gambar 8.6 Peraturan tangan kanan

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan : tangan kanan dibuka dengan ibu jari tegak lurus pada empat jari yang lain direntangkan lurus. Kemudian letakan di dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga garis-garis gaya jatuh (menembus) tegak lurus pada telapak tangan, dan ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, maka keempat jari tangan menunjukkan arah ggl induksi. Kalau dilihat gambar 8.2, kejadian ggl induksi dapat dipandang dari sudut lain, yaitu ketika kumparan berada jauh dari batang magnet, arus gaya (garis gaya) yang dikurung kecil jumlahnya. Kalau kumparan didekatkan dengan batang magnet, jumlah arus gaya yang dikurung kumparan akan naik dan diimbaskan ggl di dalam kumparan selama kenaikan jumlah arus-gaya itu. Apabila kumparan dijauhkan dari batang magnet, berkurang arus gaya yang dikurung, maka diinduksikan ggl yang arahnya kebalikan ggl-induksi yang tadi.

Jadi : “apabila jumlah arus-gaya yang dikurung sebuah kumparan diubah besarnya, maka akan diinduksikan ggl di dalam kumparan tersebut”, yang besarnya dirumuskan :

$$E = N \times \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot 10^{18} \quad \text{volt}$$

dengan E : ggl induksi (volt),  $\Delta \Phi$  (delta fi) : perubahan arus-gaya yang dikurung (maxwel),  $\Delta t$  (delta t) : waktu kecepatan perubahan arus gaya (sekon), dan N : jumlah lilit kumparan.

Rumus di atas sering juga ditulis dengan persamaan :  $E = - N \times \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot 10^{18} \quad \text{volt}$

Tanda negatif (-), maksudnya adalah untuk menunjukkan bahwa arah garis-gaya atau ggl hasil induksi yang terjadi pada kumparan biasanya berlawanan dengan arah garis-gaya atau ggl yang membangkitkannya. Peristiwa ini sering dikenal dengan istilah Hukum Lenz, yang menyatakan bahwa garis-gaya atau ggl hasil induksi pada suatu kumparan/ lilitan akan mempunyai arah berlawanan dengan garis-gaya atau ggl sumbernya.

### Contoh 8.2

Sebuah kumparan yang bentuknya segi empat, panjangnya 16 cm dan lebarnya 10 cm, mempunyai 90 lilit. Kumparan ini terletak tegak lurus pada garis-garis gaya di dalam sebuah medan magnet yang kuatnya : 4000 gauss. Kumparan itu ditarik ke luar dari medan magnet dalam waktu selama 0,15 detik. Hitunglah ggl rata-rata yang diinduksikan ?

Jawab :

Arus gaya yang dikurung oleh kumparan :

$$\Phi = B \times q = 4000 \times (16 \times 10) = 640.000 \quad \text{maxwel}$$

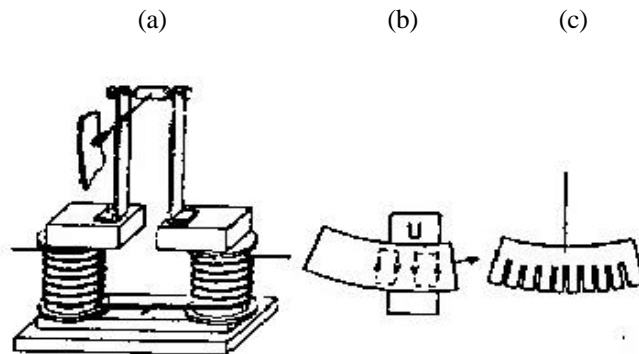
Kalau kumparan keluar dari medan, arus gaya yang dikurung menjadi nol. Jadi perubahan arus gaya : 6400.000 maxwel, maka ggl yang diinduksikan menjadi :

$$E = N \times \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 90 \times \frac{640.000}{0,15} \cdot 10^{18} = 3,84 \quad \text{volt}$$

### 8.3 Arus Eddy

Arus induksi (imbas) dapat terjadi di dalam benda logam yang pejal (massive), apabila di dalam benda tersebut terjadi perubahan arus gaya. Arus imbas atau induksi semacam itu pada umumnya mempunyai arah berlingkar-lingkar dan tidak teratur, maka sering disebut dengan istilah *arus pusar* atau *arus Foucault* (yang menemukan

pertama-tama Foucault). Arus pusaran ini menimbulkan kerugian berupa panas, yang dapat dijelaskan dengan percobaan seperti gambar 8.7.



Gambar 8.7 Percobaan arus pusar atau arus eddy

Sebuah batang ayun yang mempunyai lempeng tembaga pada ujungnya (gambar a), digantung diantara dua kutub sebuah magnet listrik. Apabila kumparan magnet tidak dialiri arus listrik, kutub-kutubnya tidak bersifat magnet (karena kemagnetan sisanya amat kecil), maka jika batang diayunkan sehingga batang tembaga berayun-ayun di antara kedua kutub tadi, batang dengan pelat tembaga akan berayun-ayun beberapa saat sebelum berhenti. Tetapi apabila kumparan magnet dialiri arus sehingga kutub-kutub bersifat magnet yang kuat, maka batang ayun dengan lempeng tembaga itu akan cepat berhenti berayunnya. Ketika lempeng tembaga berayun di muka kutub magnet yang kuat, lempeng memotong garis gaya sehingga diimbaskan arus-arus pusar di dalam lempeng tembaga yang pejal itu. Arahnya menurut peraturan tangan kiri seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.7(b). Arah ayunan ke kanan dan dipandang dari muka kutub selatan, arus pusar bergerak di dalam medan magnet sehingga menerima gaya tolak yang melawan arah gerakan (menurut hukum Lenz). Jadi gerakannya direm. Karena lempeng pejal mempunyai tahanan kecil sehingga arus pusar besar yang menyebabkan gaya pengereman kuat.

Apabila kita mempunyai benda logam yang selalu bergerak di dalam medan magnet dan ingin dikurangi gaya pengeremannya atau memperkecil kerugian, maka kita perbesar tahanan benda logam itu supaya arus pusarnya menjadi kecil. Untuk memperbesar tahanan lempeng tembaga yang berayun tadi dengan menggunakan gergaji alur-alur pada lempeng itu seperti pada gambar 8.7 (c).

Inti jangkar motor atau generator yang selalu berputar di dalam medan magnet, dapat diperbesar tahanannya dengan cara menyusun dari lempeng-lempeng tipis yang

sering disebut *lamel*, yang disekat dengan lak sekat antara satu dengan yang lain. Begitu juga inti magnet listrik dan inti transformator, disusun dari lamel-lamel untuk memperbesar tahanan terhadap arus pusar, karena dalam inti ini terjadi perubahan arus-gaya magnet.

Di bidang lain arus pusar ini diambil manfaatnya, seperti dalam dapur frekuensi tinggi untuk melelehkan logam. Arus AC yang mengalir di dalam lilitan kawat yang melingkari sebuah cawan besar yang berisi logam yang akan dilelehkan, mengimbaskan arus pusar dalam logam di dalam cawan. Arus bolak-balik merupakan arus yang selalu berubah-ubah sehingga arus gaya yang dibangkitkan juga berubah-ubah. Arus gaya yang berubah-ubah ini menembus logam-logam di dalam cawan yang dilingkari lilitan, sehingga diimbaskan arus-arus pusar yang amat besar dalam logam itu yang akhirnya dapat menghasilkan panas yang amat tinggi untuk melelehkan logam tersebut.

Pada sebuah pengukur kWh arus pusar dapat dipergunakan untuk pengereman. Pengukur kWh mengukur tenaga listrik dengan putaran, maka apabila arus listrik berhenti pengukur kWh harus seketika berhenti. Jika tidak, pengukur akan mengukur tenaga yang lebih besar daripada tenaga yang dipakai. Untuk pengereman ini dipasang sebuah lempeng aluminium pada bagian pengukur yang berputar. Lempeng aluminium ini berputar di antara kutub-kutub sebuah magnet tetap yang kuat. Pada aluminium yang berputar didalam medan magnet itu diimbaskan arus-pusaran. Arus pusar yang berada di dalam medan magnet ini menerima gaya pengereman, sehingga apabila gaya yang memutarakan lempeng hilang, tenaga listrik berhenti, lempeng aluminium itu cepat berhenti dan pengukur kWh cepat berhenti pula.

**c. Rangkuman 2 :**

Elektromagnetik merupakan istilah yang banyak digunakan dalam bidang tenaga listrik. Maksud dari istilah elektromagnet adalah suatu alat yang terbuat dari bahan magnet yang akan berfungsi sebagai magnet, apabila pada bahan tersebut dialiri arus listrik (elektron). Beberapa hal yang berkaitan dengan elektromagnet antara lain : medan magnet dan muatan listrik, garis gaya magnet dan fluksi magnet, medan magnet dari penghantar lurus, dan medan magnet dari elemen arus.

Kemagnetan adalah suatu proses pembentukan dari suatu bahan untuk dijadikan sebagai magnet. Beberapa hal yang berkaitan dengan kuantitas kemagnetan suatu bahan meliputi : sistem sudut magnet, hukum ampere dan hukum ohm sirkit magnet, kurva karakteristik kemagnetan bahan, kejenuhan dan histeresis, perhiungan dan rangkaian kemagnetan

Erat kaitannya dengan elektromagnet dan kemagnetan listrik suatu bahan adalah induktansi. Induktansi sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jumlah lilitan, banyaknya garis-garis gaya magnet atau fluksi yang terjadi (?), dan besarnya arus yang mengalir pada kumparan tersebut. Dalam induktansi sendiri dikenal istilah induksi sendiri dan induksi bersama, rangkaian induktansi dan resistansi, rangkaian kapasitansi dan resistansi, dan energi pada R, L, dan C.

Sedangkan hal-hal yang erat hubungannya dengan induksi elektromagnet diantaranya adalah ggl dan hukum faraday, induksi dalam kumparan berputar dan hukum Lenz, arus eddy. Induksi elektromagnet atau sering disebut juga dengan istilah induksi elektromagnetik adalah merupakan medium konversi energi listrik baik dari energi mekanik menjadi energi listrik (seperti pada generator), energi listrik menjadi energi mekanik (seperti pada motor), energi listrik menjadi energi cahaya (seperti pada lampu), , maupun energi listrik menjadi energi listrik kembali (seperti transformator). Sehingga induksi elektromagnetik ini sangat penting peranannya dalam bidang tenik listrik.

**d. Tugas 2 :**

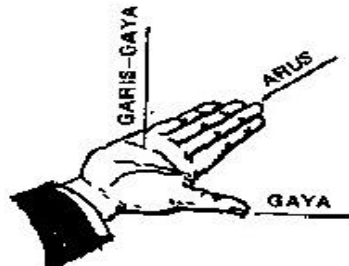
1. Buatlah percobaan untuk membuktikan adanya medan elektromagnetik pada sebidang kertas yang ditembus oleh sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah (dc). Gambarkan arah medan elektromagnet tersebut ?
2. Buatlah percobaan untuk menentukan kutub magnet utara (U) dan kutub magnet selatan (S) dari sebuah kumparan yang dialiri arus listrik ?
3. Buatlah percobaan untuk membuat kurva kemagnetan dari suatu bahan (grafik hubungan antara B dan H). Jelaskan apa yang dimaksud dengan kurva histeresis (loop histeresis) ?
4. Buatlah percobaan untuk membuktikan proses terjadinya gaya gerak listrik (ggl), dengan sebuah magnet yang digerakkan di dalam kumparan ?

**e. Tes Formatif 2 :**

1. Sebutkan macam-macam bentuk magnet yang saudara ketahui dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari ?
2. Apa yang dimaksud dengan elektromagnetik ?
3. Apakah satuan dari garis-garis gaya magnet yang timbul dari sebuah magnet ?
4. Suatu penghantar dialiri arus listrik sebesar 2 A. Apabila pada jarak sejauh 4 cm diletakan sebuah titik A, hitunglah besarnya kuat medan pada titik A tersebut ?
5. Sebuah kumparan 100 lilit mempunyai panjang 10 cm. Besarnya arus yang mengalir pada kumparan tersebut 2 ampere. Berapakan besarnya kuat medan di dalam kumparan tersebut ?
6. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap nilai dari induktansi suatu kumparan ?
7. Suatu kumparan berbentuk cincin dengan luas  $4 \text{ cm}^2$  mempunyai 500 lilit, dimana pada kumparan tersebut dialiri arus listrik sebesar 1 ampere dan panjang jalan garis-gaya rata-rata 20 cm. Hitung arus yang dibangkitkan dan koefisien induksi sendiri dari kumparan tersebut, apabila kebocoran diabaikan ?
8. Suatu rangkaian listrik mempunyai hambatan murni sebesar 8 ohm dan hambatan induktif sebesar 6 ohm. Hitung besar impedansi dalam rangkaian tersebut ?
9. Gambarkan hubungan antara ggm, arus, dan ggl yang dihasilkan dari satu generator berdasarkan kaidah tangan kanan ?
10. Sebuah penghantar mempunyai panjang 40 cm digerakkan tegak lurus pada garis-garis gaya dengan kecepatan 20 m/detik di dalam medan magnet homogen yang mempunyai kerapatan 1000 oersted. Hitunglah besarnya ggl yang diinduksikan di dalam penghantar tersebut ?

**f. Kunci Jawaban Formatif 2 :**

1. Magnet jarum, magnet batang, magnet tapal kuda, magnet sentral, dan lain-lain.
2. Medan elektromagnet adalah magnet yang timbul pada suatu penghantar lurus atau kumparan pada waktu dialiri arus listrik.
3. Fluks
4.  $H_A = (0,2 \times 2)/4 = 0,1$  oersted
5.  $H_K = (0,4 \times 3,14 \times 100 \times 2)/10 = 25,12$  oersted
6. (a) jumlah lilitan, (b) banyaknya ggm atau fluks magnet yang terjadi, (c) besar arus listrik yang mengalir pada kumparan tersebut.
7.  $\Phi = 125,6$  maxwell, dan  $L = 6,28 \times 10^{-4} \text{ H} = 0,628 \text{ mH}$ .
8.  $Z = 8 + j 6 = 10 \angle 36,87^\circ \text{ ohm}$ .
- 9.



10.  $E = H l v = 1000 \times 40 \times 20 \cdot 100 \times 10^{-8} = 0,8 \text{ volt}$

**g. Lembar Kerja 2 :**

6. **Alat** : galvano balistik, obeng, tang, cutter, isolasi, solder, alat tulis menulis, dan lain-lain
7. **Bahan** : Baterai atau aki, kertas, kawat penghantar atau kabel, serbuk besi, magnet permanen bentuk batang (kutub U dan S), kumparan udara (tanpa inti besi), besi atau bahan magnet lainnya, kumparan cincin dengan diameter lebih dari 5 cm, Ampermeter, voltmeter, beban listrik (lampu, dan lain-lain), sakelar, dan lain-lain
8. **Keselamatan kerja** : jas lab, sarung tangan, kerjakan sesuai instruction manual, patuhi prosedur kerja yang telah ditentukan, patuhi peraturan yang tercantum di lab atau tempat praktik.
9. **Langkah kerja** : tentukan peralatan-peralatan dan komponen-komponen yang akan dibutuhkan, buat rancangan diagram pengawatan yang akan dilakukan, pasang peralatan pengukur yang akan digunakan sesuai dengan diagram rencana, rangkai peralatan yang telah dipasang, periksa dan uji rangkaian atau peralatan yang telah dipasang, perbaiki apabila masih terdapat kesalahan atau komponen yang belum berfungsi dengan benar, uji sesuai dengan prosedur dan instruction manual yang berlaku, buat berita acara laporan pengujian atau percobaan
10. **Laporan** : Jawab pertanyaan-pertanyaan dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan tugas yang diberikan

## 9. Kegiatan Belajar 9

### ARUS BOLAK-BALIK FASE SATU

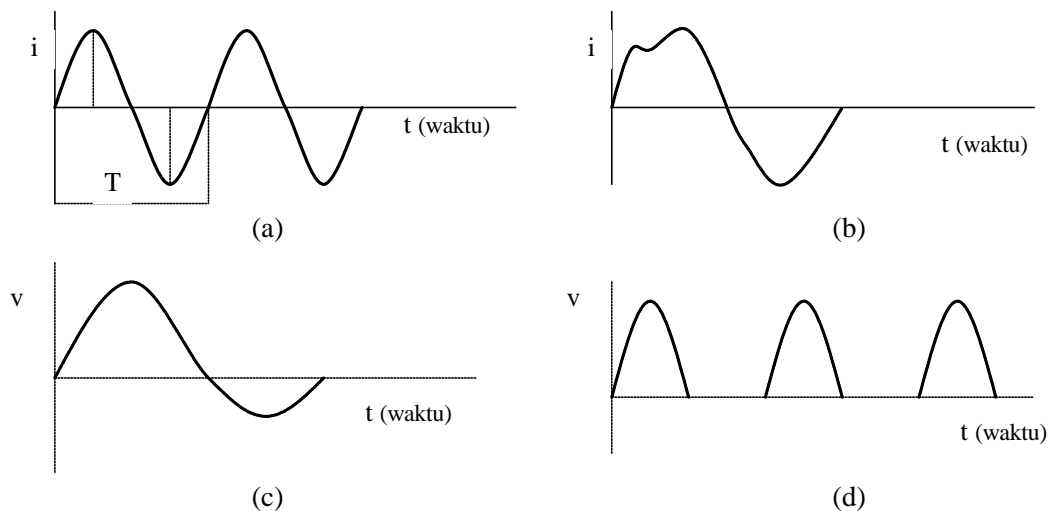
#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 9 :

- Siswa memahami konsep arus bolak-balik dan mampu menggunakannya pada rangkaian listrik

#### b. Uraian Materi 9:

##### 9.1 Membangkitkan Arus Bolak-Balik Fase Satu

Yang dimaksud dengan arus bolak-balik (ac) adalah arus yang arahnya berubah-ubah secara periodik, begitu pula dengan tegangan bolak-balik adalah tegangan yang nilainya berubah-ubah secara periodik. Perhatikan contoh-contoh pada gambar 9.1.



Gambar 9.1 Contoh arus dan tegangan bolak-balik

Pada gambar 9.1 terlihat arus atau tegangan setiap saat berubah. Nilai tertinggi dinyatakan dengan tanda maksimum atau “maks” atau “m”, dan harga sesaat dari arus atau tegangan diberi simbol “S” ditulis “Is” atau “Es”.

Satu perubahan dari arus atau tegangan mulai dari 0, +, 0, -, kembali ke 0 disebut *satu periode*. Waktu yang dibutuhkan satu periode diberi tanda “T” dalam satuan waktu

(detik). Misal arus bolak-balik satu periode berubah sebanyak 50 periode, maka waktu yang dibutuhkan untuk satu periode (T) adalah  $1/50$  detik = 0,02 detik.

Jumlah aperiode yang terjadi selama satu detik sering disebut dengan *frekuensi*, yang disingkat dengan “f” dalam satuan Hertz atau “Hz”. Jadi untuk waktu periode T = 0,02 detik, mempunyai frekuensi (f) =  $1/0,02 = 50$  Hz. Sehingga hubungan antara periode dengan frekuensi dapat dituliskan dengan persamaan :

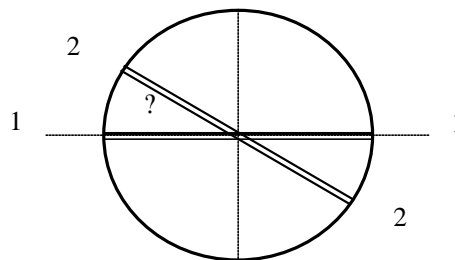
$$f = \frac{1}{T} \quad \text{atau} \quad T = \frac{1}{f}$$

Berdasarkan gambar 9.1.(a) berbentuk sinusoide (sinus), sehingga arus atau tegangan yang akan dibahas adalah berbentuk sinusoida. Perubahan arus bolak-balik selama satu periode adalah sebesar  $2\pi$  radian dengan sudut fase sebesar  $360^\circ$  listrik. Kecepatan sudut listrik biasanya dinyatakan dengan  $\omega$ , sedangkan tiap detiknya terjadi sebanyak f periode. Jadi :

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad \text{atau} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

### 9.2 Geseran Fase dan Besar Sinusoida

Apabila sebuah jangkar terdapat 2 buah kumparan (gambar 9.2), dimana sudut antara kedua kumparan tersebut dinyatakan dengan  $\theta$ , jika jangkar berputar dalam medan magnet maka pada kedua kumparan tersebut akan terbentuk ggl yang berbentuk sinus.



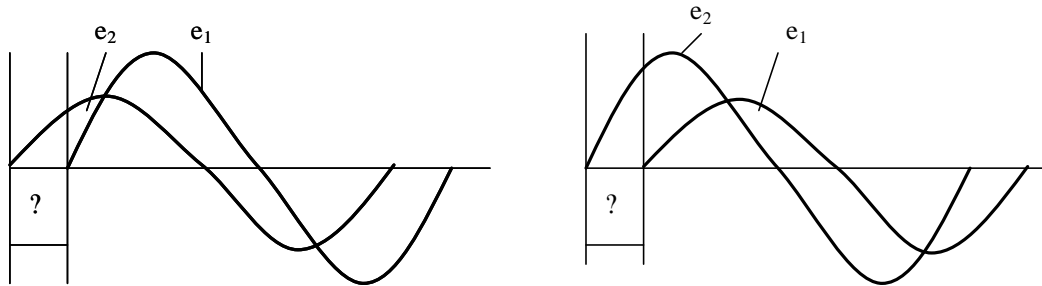
Gambar 9.2 Kumparan pada jangkar

Ggl yang terjadi pada kumparan 1 disebut  $e_1$  dan ggl yang terbentuk pada kumparan 2 disebut  $e_2$ .  $e_1$  dan  $e_2$  mempunyai frekuensi yang sama karena terdapat dalam satu jangkar.

Pada saat posisi kumparan berada di garis netral  $e_1 = 0$ ,  $e_2$  harganya tidak sama dengan nol, begitu pula pada kedudukan  $e_1$  mencapai harga maksimum,  $e_2$  belum mencapai harga maksimum. Sehingga dapat disimpulkan bahwa :

- ≠  $e_1$  dan  $e_2$  tidak sefasa
- ≠  $e_1$  dan  $e_2$  terdapat geseran fasa atau
- ≠  $e_1$  dan  $e_2$  ada selisih fasa

Dengan arah putaran tertentu  $e_2$  akan mencapai harga tertinggi (maks) dan mencapai harga nol, begitu pula  $e_1$ , hanya saja  $e_2$  mencapai harga tersebut setelah  $e_1$ . Maka dapat dikatakan bahwa :  $e_2$  mengikuti  $e_1$  atau  $e_1$  mendahului  $e_2$ , seperti gambar 9.3.



Gambar 9.3 Pergeseran fasa

Untuk menentukan geseran fasa menggunakan trigonometri, sehingga :

$$e_1 = E_m \sin \theta t \quad \text{dan} \quad e_2 = E_m \sin (\theta t - \phi)$$

Karena antara  $e_1$  dan  $e_2$  dalam satu jangkak dengan kecepatan dan frekuensi yang sama.

### 9.3 Harga Efektif dan Harga Rata-Rata

#### a. Harga efektif

Dalam arus bolak-balik nilai arus selalu berubah-ubah. Jika arus bolak-balik mempunyai amplitudo sebesar 6 ampere, maka arus bolak-balik selama satu periode mempunyai 2 putaran nilai tersebut.

Misal : 2 buah tahanan yang sama masing-masing sebesar 10 ohm. Pada tahanan satu mengalir arus searah (dc) sebesar 10 A selama 5 detik, sedangkan pada tahanan yang satunya lagi mengalir arus bolak-balik (ac) sebesar 10 A.

$$\begin{aligned} \text{Panas yang ditimbulkan oleh arus searah (dc)} &= 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t = 0,24 \times 100 \times 10 \times 5 \\ &= 1200 \text{ kalori} \end{aligned}$$

Panas yang ditimbulkan oleh arus bolak-balik pada saat yang sama melalui tahanan yang sama besar akan lebih kecil daripada panas yang ditimbulkan oleh arus searah, karena nilai arusnya lebih kecil untuk waktu yang sama (5 detik). Harga arus searah ini sering dinamakan dengan harga efektif dari arus bolak-balik.

Hubungan antara harga efektif ( $I_{ef}$ ) dengan harga maksimum ( $I_m$ ) secara ilmu pasti dapat dijelaskan, namun secara umum dapat dituliskan dengan persamaan :

Untuk arus :  $I_{ef} = 0,707 \cdot I_m = 0,707 I_m$

Untuk tegangan :  $V_{ef} = 0,707 \cdot V_m = 0,707 V_m$

Harga-harga penunjukkan dari hasil pengukuran voltmeter atau ampermeter selalu menunjukkan harga efektif.

**Contoh 9.1**

Sebuah alat listrik dengan tahanan 40 ohm dipasang pada sumber tegangan 220 volt. Hitunglah harga-harga efektif dan maksimum dari tegangan dan arus ?

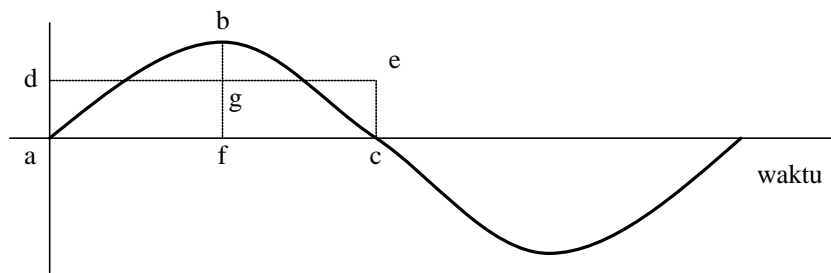
Jawab :

$V_{ef} = 220 \text{ volt} ; V_m = V_{ef}/0,707 = 220/0,707 = 311,174 \text{ volt, dan}$

$I_{ef} = V_{ef}/R = 220/40 = 5,5 \text{ A sehingga } I_m = I_{ef}/0,707 = 5,5/0,707 = 7,8 \text{ A}$

**b. Harga Rata-rata**

Untuk mencapai harga rata-rata dalam arus dan tegangan listrik bolak-balik, dengan cara diambil arus listrik setengah gelombang (0 -  $\pi$  dengan derajat 0 – 180<sup>0</sup>). Pada gambar 9.4 terlihat garis yang ditarik satu periode melukiskan arus bolak-balik, sedangkan garis yang terputus-putus adalah arus searah (dc).



Gambar 9.4 Hubungan harga maksimum dengan harga rata-rata

$f - g$  adalah harga rata-rata arus bolak-balik dengan amplitudo  $f - b$ . Hubungan antara harga rata-rata dengan harga maksimum dapat dijelaskan secara ilmu pasti, namun secara umum dapat dirumuskan :

untuk arus :  $I_{rt} = 0,637 I_m$

untuk tegangan :  $V_{rt} = 0,637 V_m$

**Contoh 9.2**

Hitunglah harga rata-rata untuk arus dan tegangan dari soal contoh 9.1 ?

Jawab :  $I_{rt} = 0,637 I_m = 0,637 \times 7,8 = 4,969 \text{ A}$

$V_{rt} = 0,637 V_m = 0,637 \times 311,174 = 198,219 \text{ volt.}$

Sedangkan ada 2 macam faktor lain yang sangat penting berkaitan dengan teknik listrik ini yaitu faktor bentuk dan faktor puncak.

**Faktor bentuk** yang sering disingkat dengan  $f_b$  adalah merupakan perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata arus bolak-balik, dirumuskan :

$$f_b = \frac{I_{ef}}{I_{rt}} = \frac{0,707}{0,637} = 1,11$$

Faktor bentuk ini sangat berguna untuk pembangkitan tegangan arus bolak-balik karena perubahan yang dihasilkan harus diartikan rata-rata. Maka tegangan efektif yang dibangkitkan oleh generator sama dengan ggl generator dikalikan faktor bentuk :

$$V_{ef} = f_b \times \text{ggl}$$

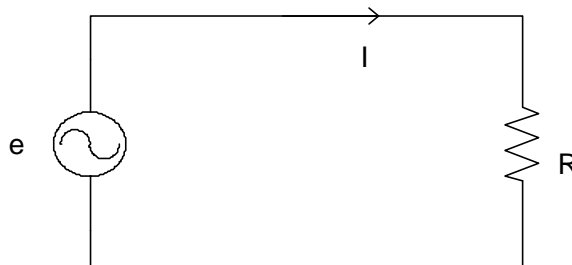
**Faktor puncak** adalah merupakan perbandingan antara harga maksimum dengan harga efektif, dirumuskan :  $f_p = \frac{I_m}{I_{ef}}$

**9.4 Rangkaian R, L, dan C**

**a. Tahanan (Resistor)**

Jika sebuah tahanan R dihubungkan dengan tegangan bolak-balik V, maka akan mengalir arus pada suatu saat tertentu sebesar :  $i = e/R$ . Apabila ategangan sumber dinyatakan dengan  $e = E_m \sin \omega t$ , maka arus dapat ditulis dengan persamaan :

$$i = \frac{E_m \sin \omega t}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$



Gambar 9.5 Rangkaian tahanan R

Berdasarkan persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada tahanan (R) arus sefasa dengan tegangannya.

**b. Kumparan (Induktor)**

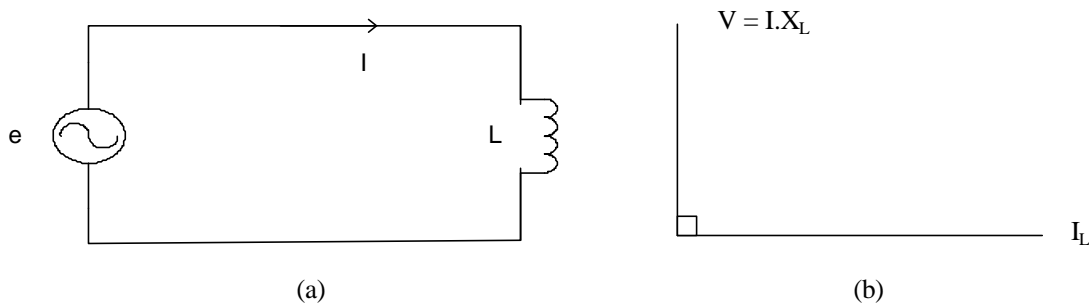
Sebuah induktor yang mempunyai induktansi L dihubungkan pada tegangan bolak-balik V, maka akan mengalir arus dalam induktor tersebut sebesar :  $i = I_m \sin \omega t$ .

Berdasarkan gambar 9.6.(b) ggl induksi mengikuti arus dengan geseran fase sebesar  $90^\circ$ . Sesuai dengan hukum ohm, tahanan pada L disebut tahanan induktif dengan simbol  $X_L$  dalam satuan ohm sedangkan satuan induktansi pada L adalah Henry.

Jadi dapat dituliskan :

$$X_L = \omega L \quad \text{atau karena } \omega = 2\pi f, \text{ maka } X_L = 2\pi f L$$

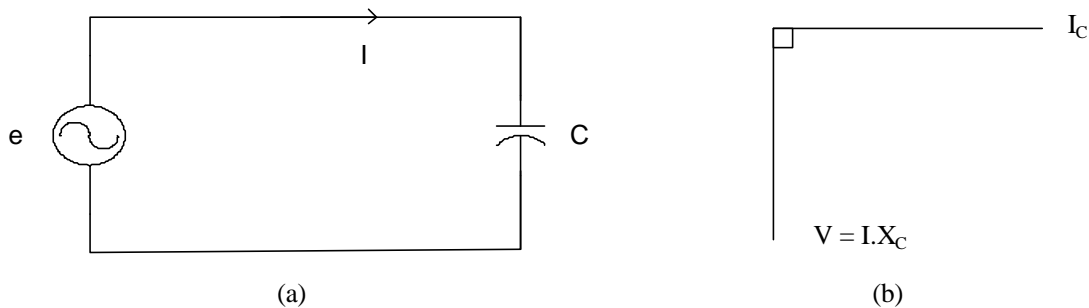
Dengan  $X_L$  : hambatan induktif (ohm),  $\omega$  : frekuensi sudut (rad/detik), f : frekuensi (Hz), dan L : induktansi diri (H).



Gambar 9.6 Rangkaian induktor L

**c. Kondensator**

Sebuah kondensator C dihubungkan dengan sumber tegangan  $e = E_m \sin \omega t$ , maka akan mengalir arus pada kondensator tersebut mendahului tegangan dengan geseran fasa sebesar  $90^\circ$ . Dijelaskan dalam gambar 9.7.



Gambar 9.7 Rangkaian kondensator C

Untuk harga efektif :  $E = I \cdot \frac{1}{\omega C}$  , karena  $\frac{1}{\omega C}$  disebut tahanan kapasitif dengan simbol  $X_C$  dalam satuan ohm. jadi  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  atau  $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$

Dimana  $X_C$  : hambatan kapasitif (ohm),  $C$  : kapasitansi dari kondensator (farad), dan  $f$  : frekuensi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa makin besar frekuensinya, maka pada kondensator makin kecil tahananannya.

**Contoh 9.3**

Sebuah induktor 0,1 Henry dipasang pada rangkaian arus bolak-balik 220 volt, 50 Hz. Hitunglah hambatan induktif dari induktor, dan arus yang melewati induktor ?

Jawab :

- Hambatan induktif ( $X_L$ ) =  $2\pi \cdot f \cdot L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,1 = 31,4$  ohm
- Kuat arus yang melewati induktor (i) =  $\frac{V_L}{X_L} = \frac{220}{31,4} = 6,9$  A

**Contoh 9.4**

Sebuah kondensator sebesar 250  $\mu$ F dihubungkan pada tegangan 12 volt, dengan frekuensi 110 Hz. Hitunglah hambatan kapasitif dari kondensator, dan arus yang melewati kondensator tersebut ?

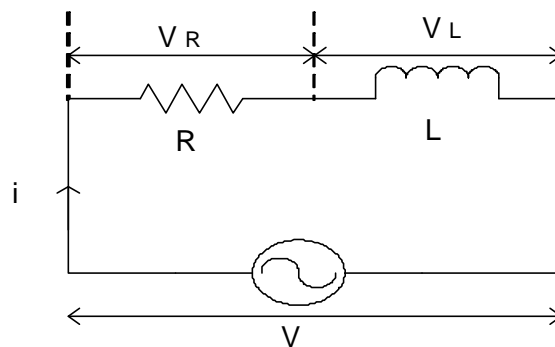
Jawab :

- Hambatan kapasitif ( $X_C$ ) =  $1 / (2\pi \cdot f \cdot C) = 1 / (2 \times 3,14 \times 110 \times 250 \cdot 10^{-6})$   
 $= 10^6 / 172.700 = 5,79$  ohm
- Kuat arus yang melewati kapasitor (i) =  $\frac{V_C}{X_C} = \frac{12}{5,79} = 2,073$  A

**9.5 Rangkaian Impedansi dan Segitiga Tegangan**

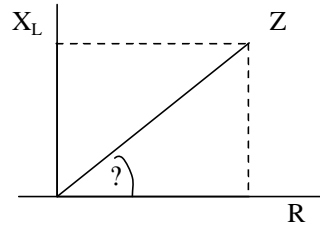
**a. Pengertian impedansi**

Perhatikan rangkaian seri antara R dan L pada gambar 9.8.



Gambar 9.8 Rangkaian R dan L seri

Impedansi suatu rangkaian diberi simbol “Z” dapat diartikan sebagai hambatan total jika induktor L dirangkai seri dengan hambatan R seperti gambar di atas. Besarnya impedansi ini dapat dinyatakan dengan rumus :  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  dan dalam bentuk segitiga vektor impedansi :

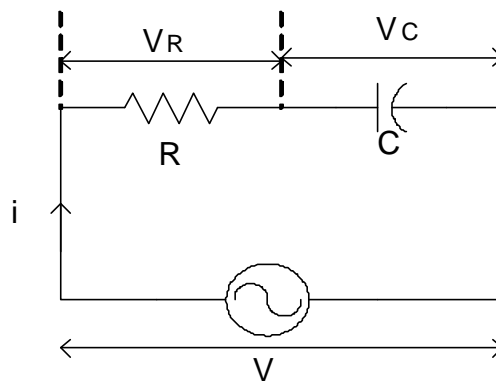


Gambar 9.9 Segitiga impedansi

Sudut fase impedansi (?) dapat dihitung dengan persamaan :  $\tan \theta = \frac{X_L}{R}$ , dengan  $X_L$  : hambatan induktif, dan R : hambatan murni.

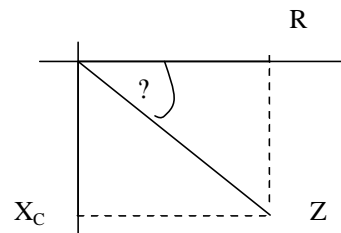
Berdasarkan gambar di atas jika  $V_R$  adalah harga tegangan pada ujung-ujung hambatan R,  $V_L$  harga tegangan pada ujung-ujung induktor L, dan V adalah harga tegangan sumber, maka berlaku persamaan :  $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$  dan  $\tan \theta = \frac{X_L}{R} = \frac{V_L}{V_R}$

Begitu pula untuk rangkaian R dan C yang terhubung secara seri, seperti gambar 9.10.



Gambar 9.10 Rangkaian R dan C seri

Besarnya impedansi rangkaian seri R dengan C dapat ditentukan dengan persamaan:  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$  sedangkan diagram dalam bentuk segitiga vektor impedansi :



Gambar 9.11 Segitiga impedansi

Sudut fase impedansi ( $\phi$ ) dapat dihitung dengan persamaan :  $\tan \phi = \frac{X_C}{R}$  , dengan

$X_L$  : hambatan induktif, dan  $R$  : hambatan murni.

Berdasarkan gambar di atas jika  $V_R$  adalah harga tegangan pada ujung-ujung hambatan  $R$ ,  $V_C$  harga tegangan pada ujung-ujung kondensator  $C$ , dan  $V$  adalah harga tegangan

sumber, maka berlaku persamaan :  $V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$  dan  $\tan \phi = \frac{X_C}{R} = \frac{V_C}{V_R}$

Dimana  $V_R = i.R$  ,  $V_C = i.X_C$ , dan  $V = i.Z$ .

### Contoh 9.6.

Sebuah hambatan murni 5 ohm dirangkai seri dengan induktor yang mempunyai hambatan 20 ohm, dan rangkaian tersebut dipasang pada tegangan bolak-balik 100 volt. Hitunglah kuat arus pada rangkaian serta beda potensial pada  $R$  dan  $L$  ?

Jawab :

Diketahui :  $R = 15$  ohm,  $X_L = 20$  ohm,  $V = 100$  volt.

Untuk menentukan arus ( $i$ ), tentukan dahulu impedansi rangkaian :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25 \text{ ohm}; \text{ selanjutnya : } i = \frac{V}{Z} = \frac{100}{25} = 4 \text{ A}$$

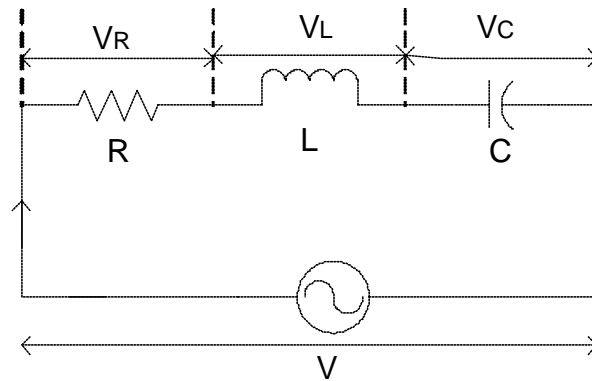
$$\text{sudut fasenya } (\phi) = \tan^{-1} \left( \frac{20}{15} \right) = 53,13^\circ$$

Tegangan pada ujung-ujung  $R$  dihitung :  $V_R = i.R = 4 \times 15 = 60$  volt

Tegangan pada ujung-ujung  $L$  dihitung :  $V_L = i.X_L = 4 \times 20 = 80$  volt

## 9.6 Rangkaian Seri-Paralel $R$ , $L$ , $C$ dan Vektor Arus dan Tegangan

Rangkaian  $R$ ,  $L$ , dan  $C$  yang terhubung secara seri dapat dijelaskan pada gambar 9.12 sebagai berikut.

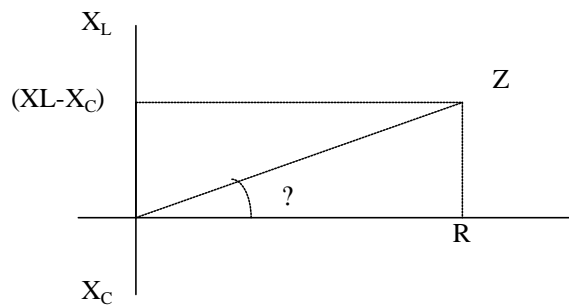


Gambar 9.12 Rangkaian R, L, dan C seri

Impedansi rangkaian dapat ditentukan dengan persamaan :  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Dimana R : hambatan murni,  $X_L$  : hambatan/reaktansi induktif, dan  $X_C$  : hambatan/reaktansi kapasitif.

Diagram vektor untuk rangkaian seri RLC diperlihatkan pada gambar 9.13.



Gambar 9.13 Diagram vektor rangkaian RLC seri

Sudut fase rangkaian dapat ditentukan dengan rumus :  $\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$  , dan

hubungan tegangan total dengan tegangan masing-masing komponen dinyatakan dengan persamaan :  $V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$  , dengan V : tegangan sumber,  $V_R$ ,  $V_L$ ,

dan  $V_C$  : tegangan pada ujung-ujung R, L, dan C. jadi :  $\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{V_L - V_C}{V_R}$

**Contoh 9.7.**

Pada suatu rangkaian seri RLC diketahui  $R = 600 \text{ ohm}$ ,  $L = 2 \text{ H}$ , dan  $C = 10 \text{ } \mu\text{F}$ . Tegangan maksimum sumber  $100\sqrt{2}$  volt dan frekuensi sudut sumber  $100 \text{ rad/det}$ .

- Tentukan :
- a. Impedansi rangkaian seri RLC
  - b. Sudut fase rangkaian seri RLC
  - c. Arus efek sumber

d. Tegangan pada masing-masing komponen

Penyelesaian :

Diketahui :  $R = 600 \text{ ohm}$ ,  $L = 2\text{H}$ ,  $C = 10^{-5} \text{ F}$ ,  $V_m = 100\sqrt{2} \text{ volt}$ ,  $\omega = 100 \text{ rad/det}$ .

a. Untuk menentukan impedansi, dihitung dulu  $X_L$  dan  $X_C$ :

$$X_L = \omega L = 100 \cdot 2 = 200 \text{ ohm}, \text{ dan } X_C = 1/\omega C = 1/(100 \times 10^{-5}) = 1000 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2} = \sqrt{600^2 + 200^2 + 1000^2} = 1000$$

b. Sudut fasenya :  $\phi = \tan^{-1} \frac{X_L + X_C}{R} = \tan^{-1} \frac{200 + 1000}{600} = \tan^{-1} \frac{800}{600} = 53,13^\circ$

c.  $V_{ef} = V_m/\sqrt{2} = 100\sqrt{2}/\sqrt{2} = 100 \text{ volt}$ , dan  $I_{ef} = V_{ef}/Z = 100/1000 = 0,1 \text{ ampere}$

d. Tegangan pada masing-masing komponen :

$$V_R = i.R = 0,1 \times 600 = 60 \text{ volt}$$

$$V_L = i.X_L = 0,1 \times 200 = 20 \text{ volt}$$

$$V_C = i.X_C = 0,1 \times 1000 = 100 \text{ volt}$$

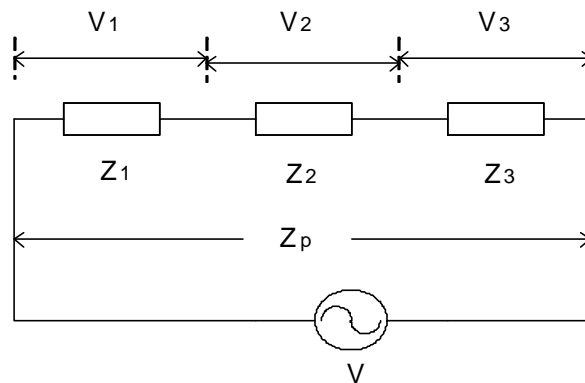
## 9.7 Rangkaian Impedansi

### a. Hubungan Seri

Misal diketahui 3 buah impedansi masing-masing :  $Z_1 = R_1 + j X_1$ ,  $Z_2 = R_2 + j X_2$ , dan  $Z_3 = R_3 - j X_3$  dihubungkan dengan tegangan  $V$ , seperti gambar 9.14, maka besarnya impedansi pengganti :  $Z_p = Z_1 + Z_2 + Z_3$ , atau secara vektoris dengan bilangan kompleks :  $Z_p = (R_1 + R_2 + R_3) + j (X_1 + X_2 + X_3)$

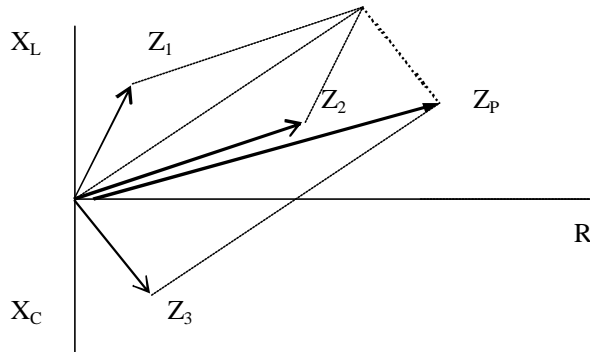
Jadi arus yang mengalir pada tiap-tiap impedansi :  $I = V/Z_p$  atau  $Z_p = R_p + j X_p$

Tegangan tiap-tiap impedansi :  $V_1 = I.Z_1$ ,  $V_2 = I.Z_2$ , dan  $V_3 = I.Z_3$ , maka tegangan total  $V = V_1 + V_2 + V_3$  (secara vektoris).

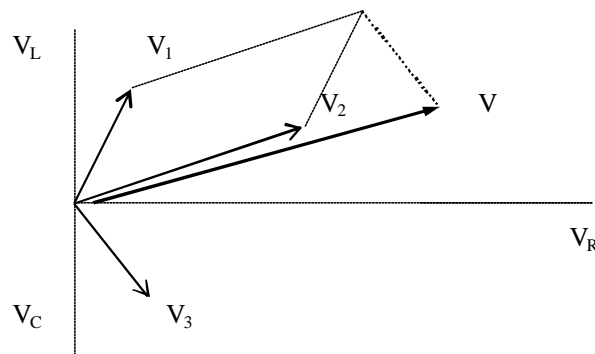


Gambar 9.14 Beberapa impedansi terhubung secara seri

Apabila dilukiskan vektor impedansi dan vektor seperti tegangan gambar 9.15.



(a) Penjumlahan Impedansi secara vektor

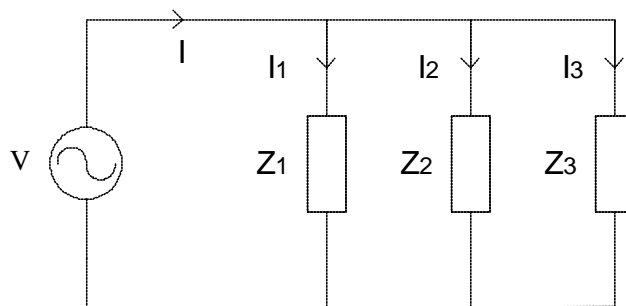


(b) Penjumlahan tegangan secara vektor

Gambar 9.15. cara penjumlahan secara vektoris

### b. Hubungan Paralel

Untuk rangkaian paralel berlaku hukum Kirchoff pertama, yaitu :  $I = I_1 + I_2 + I_3$



Gambar 9.16 Beberapa impedansi terhubung paralel

Besar arus tiap-tiap cabang :  $I_1 = V/Z_1$ ,  $I_2 = V/Z_2$ , dan  $I_3 = V/Z_3$ , karena tegangan tiap-tiap cabang sama besar yaitu V. Jadi untuk rangkaian paralel berlaku :

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \quad \text{dan} \quad Y_p = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

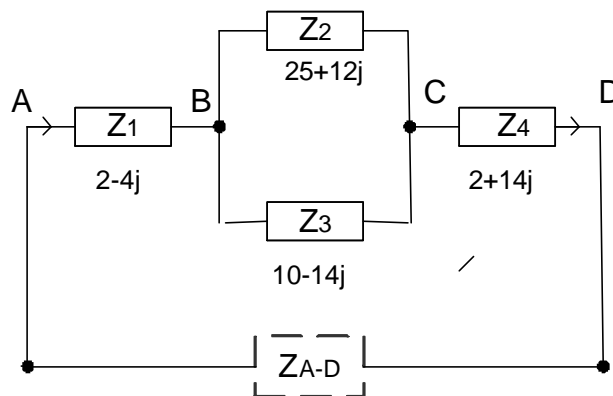
Y adalah admitansi = kebalikan impedansi

**c. Hubungan Campuran (Seri dan paralel)**

Dalam hubungan campuran untuk beberapa impedansi tidak ada rumus tertentu untuk menyelesaikannya. Untuk mencari besar impedansi dari aliran tersebut dapat dihitung dengan menggunakan pedoman-pedoman yang berlaku untuk hubungan seri maupun paralel.

**Contoh 9.8**

Diketahui rangkaian seperti pada gambar 9.17.



Gambar 9.17 Impedansi dalam hubungan campuran (seri dan paralel)

Z<sub>1</sub> : beban kapasitif dengan R<sub>1</sub> = 2 ohm dan X<sub>1</sub> = 4 ohm

Z<sub>2</sub> : beban induktif dengan R<sub>2</sub> = 25 ohm dan X<sub>2</sub> = 12 ohm

Z<sub>3</sub> : beban kapasitif dengan R<sub>3</sub> = 10 ohm dan X<sub>3</sub> = 14 ohm

Z<sub>4</sub> : beban induktif dengan R<sub>4</sub> = 2 ohm dan X<sub>4</sub> = 14 ohm

Jawab :

$$\text{Hitung dahulu : } Z_{BC} \text{ (paralel)} = (Z_2 \times Z_3) / (Z_2 + Z_3) = [(25+12j)(10-14j)] / [(25+12j)+(10-14j)]$$

$$= 12,27 - 5,87 j$$

$$Z_{AD} = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CD} = (2 - 4 j) + (12,27 - 5,87 j) + (2 + 14 j)$$

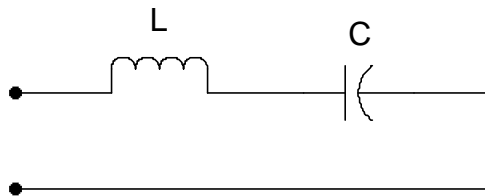
$$= (2 + 12,27 + 2) + (-4 - 5,87 + 14) j$$

$$= 14,27 + 4,13 j = \sqrt{14,27^2 + 4,13^2} = 14,86 \text{ ohm}$$

## 9.8 Resonansi dalam rangkaian R, L, C

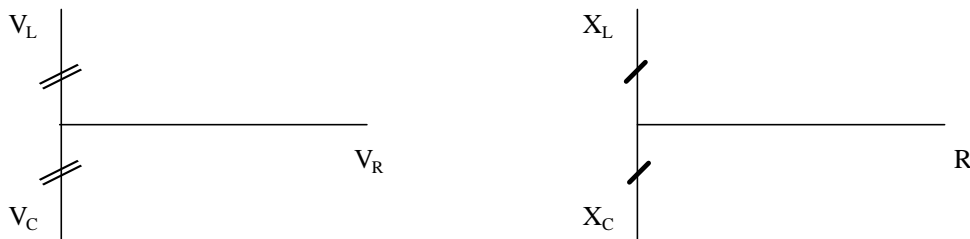
### a. Resonan Seri

Resonansi seri atau resonansi tegangan terjadi di dalam aliran rangkaian terhubung seri, karena terjadi apabila tegangan pada induktor sama dengan tegangan pada kondensator, seperti dijelaskan pada gambar 9.18. Disebabkan karena arus induktor sama dengan arus kondensator, maka akan didapatkan tahanan pada induktor akan sama dengan tahanan pada kondensator. Jadi :  $X_L = X_C$ , sehingga  $Z = R$ .



Gambar 9.18 Rangkaian resonansi seri

Secara vektoris dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 9.19 Vektor keadaan resonansi dari tegangan dan tahanan

Arus yang mengalir  $I = V/R$  paling besar, karena  $X_L = X_C$ , dan apabila diturunkan :

$$X_L = X_C \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{dan diperoleh : } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Frekuensi di atas sering disebut *frekuensi resonansi* ( $f_r$ ). Jadi :  $f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$

Dimana  $f_r$  : frekuensi resonan (Hz), L : induktor (Henry), dan C : kondensator (Farrad). Karena dalam keadaan resonansi  $V_L = V_C$ , dimana  $V_L = I \times X_L$  dan  $V_C = I \times X_C$ , sehingga apabila I diganti dengan  $V/R$ , maka diperoleh :

$$V_L = \frac{V}{R} \cdot X_L = \frac{X_L}{R} \cdot V \quad \text{dan} \quad V_C = \frac{V}{R} \cdot X_C = \frac{X_C}{R} \cdot V$$

Perbandingan reaktansi dengan tahanan murni disebut *faktor kualitas* (Q), yang dapat ditulis rumus :

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{X}{R}$$

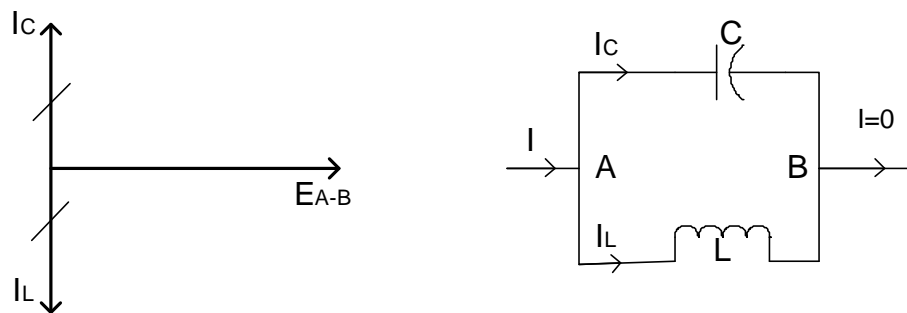
**b. Resonan Paralel**

Yang dimaksud dengan resonansi paralel adalah untuk mendapatkan arus yang sekecil mungkin pada frekuensi yang diperlukan. Maka untuk resonansi paralel ini harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Induktor murni (bebas tahanan) dan kondensator murni
- 2) Induktor mempunyai tahanan dan kondensator murni
- 3) Induktor dan kondensator tidak bebas dari tahanan

*(1) Resonansi paralel induktor dan kondensator bebas tahanan*

Untuk mendapatkan resonansi paralel, maka arus induktor dan arus kapasitor harus sama. Dijelaskan pada gambar 9.20.



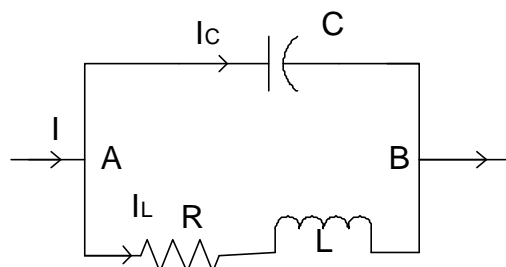
Gambar 9.20 Rangkaian dalam kondisi resonansi paralel

Maka didapat bahwa :  $I_L = I_C$ , dan karena  $I_L = V/X_L$  dan  $I_C = V/X_C$ . Dalam hubungan paralel, tegangan induktor = tegangan kondensator. Jadi  $X_L = X_C$ . Dalam keadaan di atas frekuensinya adalah frekuensi resonansi yang dirumuskan :

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Jadi rumus frekuensi resonansi paralel = frekuensi resonan seri.

*(2) Resonansi paralel induktor mempunyai tahanan dan kondensator bebas tahanan*



Gambar 9.21 Resonansi paralel RL dengan C

Tahanan akan berpengaruh terhadap frekuensi rendah, jadi harus diperhitungkan, sedangkan pada frekuensi tinggi karena pengaruh dari R terhadap  $X_L$  kecil maka dapat diabaikan. Pada keadaan resonansi  $I_C = I_L \sin \phi$ . Jadi dapat ditulis :

$I_C = V \omega C$ ; karena  $I = V/Z$  dan  $\sin \phi = X_L/Z$ , maka diperoleh frekuensi

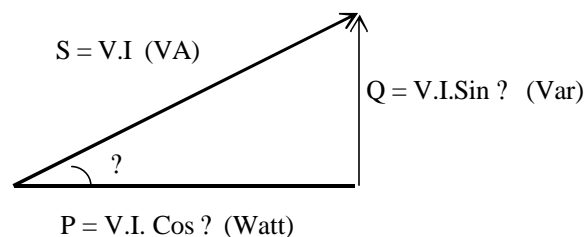
$$\text{resonansi : } f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Apabila akan mencari besar impedansi dalam hubungan paralel seperti di atas, maka harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Reaktansi kapasitif besarnya harus sama dengan reaktansi induktif
- 2) Arus yang mengalir dari jala-jala harus minimum
- 3) Faktor daya harus sama dengan nol

### 9.9 Segitiga Daya dan Faktor Daya

Dalam sistem arus bolak-balik dikenal ada 3 macam daya, yaitu : daya rata-rata/ nyata (P) dengan satuan watt (W), daya reaktif (Q) dengan satuan Var , dan daya semu (S) dengan satuan VA. Hubungan ketiga daya tersebut dapat dijelaskan dengan sistem segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 9.22 Hubungan segitiga daya

Masing-masing daya tersebut dapat dijelaskan :

- 1) Daya semu (S) = V.I (VA), yaitu daya kompleks yang terdiri dari daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) dan tergantung pada jenis bebannya apakah beban resistif, induktif atau kapasitif.
- 2) Daya Nyata (P) = V.I Cos  $\phi$  (Watt), yaitu daya yang terdapat pada beban resistif yang diperoleh dari bagian real daya semu

3) Daya reaktif ( $Q$ ) =  $V.I. \sin \phi$  (Var), yaitu daya yang terdapat pada beban reaktansi yang diperoleh dari bagian imajiner daya semu. Ada 2 jenis daya reaktif ini dan tergantung dari jenis bebannya. Jika beban induktif maka nilai  $Q$  adalah positif, sedangkan jika beban kapasitif nilai  $Q$  adalah negatif.

Daya yang biasa digunakan sehari-hari umumnya adalah daya nyata dalam satuan watt, sedangkan daya yang disediakan oleh PLN adalah dalam bentuk daya semu dalam satuan VA. Perbandingan antara daya nyata dengan daya semu sering disebut dengan istilah *faktor daya* atau *power factor (pf)* yang dirumuskan dengan persamaan :

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V.I \cos \phi}{V.I} = \cos \phi$$

Jadi faktor daya suatu beban adalah :  $Pf = \cos \phi$  ; sesuai alat pengukurnya yaitu  $\cos \phi$  -meter.

## 10. Arus Bolak-Balik Fase Tige

### ARUS BOLAK-BALIK FASE TIGA

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 10 :

- Siswa memahami arus bolak-balik sistem tiga fase dan mampu menggunakannya pada rangkaian listrik

#### b. Uraian Materi 10 :

Tegangan dan arus bolak-balik sistem tiga fase, banyak dijumpai pada pembangkit dan transmisi tenaga listrik dengan kapasitas daya yang besar, sehingga akan lebih efisien apabila menggunakan sistem fasa banyak (polyphase) yang menggunakan dua, tiga atau lebih tegangan sinusoida. Disamping itu rangkaian dan mesin fasa banyak mempunyai beberapa keunggulan, seperti : daya dalam rangkaian fasa tiga adalah konstan dan tidak berombak-ombak seperti halnya pada rangkaian fasa tunggal, dan motor fasa tiga lebih mudah digunakan dibandingkan dengan motor fasa tunggal.

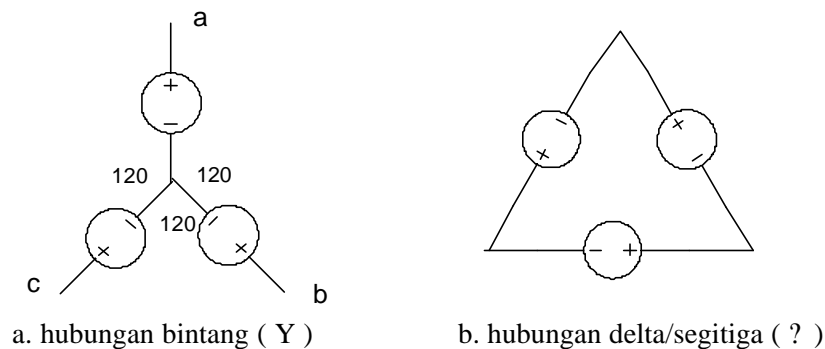
Hampir semua tenaga listrik yang dibangkitkan di dunia ini merupakan fasa jamak dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Frekuensi baku yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz. Pada umumnya sistem fasa banyak menggunakan sistem tiga tegangan seimbang yang sama besarnya dengan berbeda fasa antara tegangan fasa yang satu dengan fasa yang lain sebesar  $120^\circ$ . Dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

Fasa a :  $e_a = E_m \sin \omega t$  volt

Fasa b :  $e_b = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$  volt atau  $e_b = E_m \sin (\omega t + 240^\circ)$  volt

Fasa c :  $e_c = E_m \sin (\omega t - 240^\circ)$  volt atau  $e_c = E_m \sin (\omega t + 120^\circ)$  volt

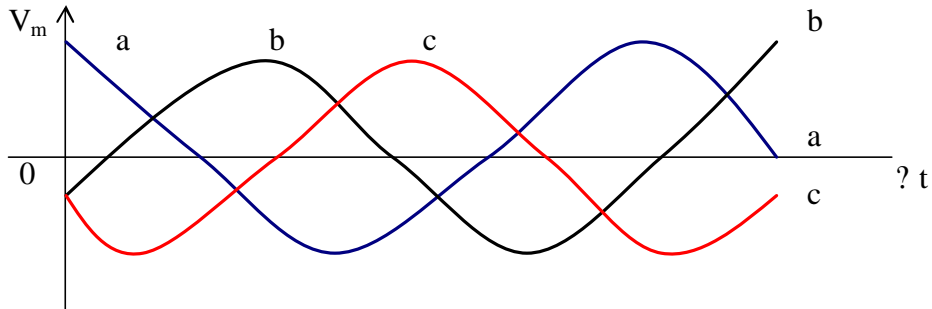
Skema untuk sistem fasa tiga seimbang adalah dijelaskan pada gambar 6.5.



Gambar 10.1 Hubungan sistem tiga fasa

Ketiga tegangan fasa tunggal itu dibangkitkan oleh sebuah medan fluks berputar yang dimiliki bersama dalam tiga kumparan identik yang terpisah  $120^{\circ}$  antara yang satu dengan yang lain dalam suatu generator listrik sistem fasa tiga.

Pada saat fasor-fasor berputar dengan kecepatan sudut  $\omega$  terhadap suatu garis acuan dengan arah yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam (arah positif), maka diperoleh diagram fungsi waktu sebagai berikut :



Gambar 10..2 Hubungan  $V_m$  dengan kecepatan sudut ( $\omega$ )

Sesuai dengan diagram fasor, mula-mula nilai maksimum untuk fasa a yang muncul, kemudian nilai maksimum fasa b dan fasa c. dengan alasan tersebut tegangan fasa tiga dikatakan mempunyai urutan fasa abc. Urutan ini penting artinya dalam beberapa pemakaian tertentu, misalnya dalam motor induksi fasa tiga, urutan fasa ini yang menentukan apakah motor berputar searah (ke kanan) atau berlawanan (ke kiri) dengan arah putaran jarum jam.

**c. Rangkuman 3 :**

Arus bolak-balik satu fasa adalah arus listrik dihasilkan oleh suatu generator atau PLN yang banyak digunakan dan dijumpai dalam kehidupan sehari-hari di masyarakat. Pada awalnya arus yang dihasilkan oleh suatu generator adalah arus bolak-balik atau sering disebut dengan arus AC. Tetapi untuk kebutuhan-kebutuhan tertentu, maka arus AC kemudian diubah menjadi arus searah atau sering disebut dengan arus DC, seperti untuk radio, tape, video, komputer, dan lain-lain. Beberapa prinsip dasar yang harus diketahui sehubungan dengan arus bolak-balik diantaranya : prinsip membangkitkan arus bolak-balik satu fase, geseran fase dan besaran sinusoida, harga efektif dan harga rata-rata, rangkaian R, L, dan C; rangkaian impedansi dan segitiga tegangan, rangkaian seri-paralel R, L, C dan vektor arus dan tegangan, rangkaian impedansi, resonansi dalam rangkaian RLC, segitiga daya dan faktor daya.

Selain sistem satu fasa, untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan tertentu di masyarakat, khususnya di industri-industri, gedung-gedung bertingkat, perkantoran-perkantoran, rumah sakit, dan lain-lain maka sering menggunakan peralatan-peralatan listrik yang membutuhkan daya yang besar, sehingga suatu perusahaan listrik (PLN) menyediakan tenaga listrik dengan menggunakan sistem fasa banyak (fasa tiga). Pada prinsip pembangkitannya sistem fasa tiga ini sama dengan sistem fasa satu, hanya ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Beban yang digunakan untuk sistem fasa tiga sebagian besar menggunakan hubungan segitiga atau delta (?) atau hubungan bintang atau wye (Y).

**d. Tugas 3 :**

1. Buatlah suatu percobaan untuk mengamati sinyal keluaran dari suatu generator arus bolak-balik (AC) sistem satu fasa , dan amatilah sinyal keluaran tersebut dengan suatu alat ukur voltmeter, ampermeter, dan osciloscop. Amatilah dan gambarkan sinyal hasil keluaran dari generator tersebut untuk suatu harga tertentu !
2. Buatlah suatu percobaan untuk mengamati karakteristik beban dari sebuah motor listrik satu fasa (seperti pompa air atau motor ac lainnya). Dalam pengamatan tersebut ukur dan amatilah parameter-parameter motor seperti tegangan, arus, dan daya input. Buat sistem segitiga daya yang terjadi pada motor tersebut, hitung faktor daya (pf atau  $\cos \phi$ ), dan analisis bagaimana untuk memperbaiki faktor daya tersebut, kemudian lakukan percobaan !
3. Carilah beberapa mesin listrik sistem fasa tiga di laboratorium listrik saudara, amati dan gambarkan jenis hubungan yang mungkin dapat terjadi pada beban listrik sistem tiga fasa tersebut !

**e. Tes Formatif 3 :**

1. Apa yang dimaksud dengan periode dalam sistem tenaga listrik ?
2. Dalam satu detik dari suatu rotor terjadi 100 periode. Berapa lama satu periode dari rotor tersebut ? besarnya frekuensi dari rotor tersebut ?
3. Suatu rotor berputar dengan frekuensi 50 Hz. Berapa besarnya rpm putaran dari rotor tersebut ?
4. Dua buah tegangan mempunyai nilai yaitu  $e_1 = 200 \sin (1000 t )$  volt dan  $e_2 = \sin (1000t + 30^\circ)$  volt. Apa maksud dari nilai 2 buah tegangan tersebut ?
5. Sebuah tahanan besarnya 20 ohm dihubungkan dengan sumber tegangan arus searah selama  $\frac{1}{2}$  jam. Pada tahanan tersebut mengalir arus listrik sebesar 4 ampere. Berapa kalor panas yang terjadi pada tahanan tersebut ?
6. Sebuah lampu listrik mempunyai tahanan sebesar 100 ohm dipasang pada sumber tegangan 220 volt. Hitung besarnya arus efektif dan arus maksimum yang mengalir pada lampu tersebut ?
7. Hitung nilai rata-rata dari kasus soal nomor 6 di atas ?
8. Apa yang dimaksud dengan faktor bentuk dalam sistem tegangan dan arus bolak balik ?
9. Apa yang dimaksud dengan faktor puncak dalam sistem tegangan dan arus bolak balik ?
10. Sebuah induktor mempunyai induktansi sebesar 0,5 henry, dipasang pada sumber arus bolak-balik sebesar 200 volt, 50 hertz. Hitunglah hambatan induktif dan besarnya arus yang mengalir pada induktor tersebut ?
11. Sebuah kondensator memiliki kapasitas 500  $\mu$ F dihubungkan dengan sumber tegangan 20 volt, 100 Hz. Berapakah besarnya hambatan kapasitif dan arus yang mengalir pada kondensator tersebut ?
12. Suatu rangkaian RLC seri dengan  $R = 800$  ohm,  $L = 2$  H, dan  $C = 10 \mu$ F. Tegangan maksimum sumber 100 $\sqrt{2}$  volt dan frekuensi sudut sumber 100 rad/det.  
Tentukan : a. Impedansi rangkaian seri RLC  
b. Sudut fase rangkaian seri RLC  
c. Arus efek sumber  
d. Tegangan pada masing-masing komponen
13. Sebuah lampu TL besarnya 40 watt, mempunyai  $\cos \phi$  sebesar 0,5 langging. Jika lampu tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan 200 volt, 50 Hz, hitunglah

besarnya : daya semu, daya reaktif, arus yang mengalir pada lampu tersebut, dan besar impedansinya ?

14. Salah satu fasa tegangan pada listrik sistem 3 fasa besarnya :  $e_1 = 220 \sin(\omega t + 30^\circ)$  volt. Tentukan besarnya tegangan untuk dua fasa yang lainnya ?
15. Sebutkan macam-macam hubungan dari sumber tegangan listrik sistem tiga fasa yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari ?

**f. Kunci Jawaban Formatif 3 :**

1. Periode adalah perubahan dari arus/tegangan dalam sistem ac dari posisi 0, +, 0, -, dan kembali ke posisi 0 lagi.
2.  $T = 1/100 = 0,01$  detik,  $f = 1/T = 1/0,01 = 100$  Hz.
3.  $f = 50$  Hz, berarti 1 detik = 50 putaran, maka rpm =  $50 \times 60 = 3000$  rpm.
4. Artinya antara tegangan  $e_1$  dan  $e_2$  mempunyai beda atau selisih fasa sebesar  $30^\circ$ .
5.  $W = 0,24 \times I^2 \times R \cdot t = 0,24 \times 4^2 \times 20 \times \frac{1}{2} \times 60 = 2304$  kalori.
6.  $I_{ef} = 220/100 = 2,2$  ampere, dan  $I_{mak} = I_{ef} \times \sqrt{2} = 2,2 \times 1,4142 = 3,11$  ampere.
7.  $I_{rt} = 0,637 \times I_{mak} = 0,637 \times 3,11 = 1,981$  ampere.
8.  $F_b$  adalah perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata dari suatu tegangan atau arus bolak-balik.
9.  $F_p$  adalah perbandingan antara harga maksimum dengan harga efektif dari suatu tegangan atau arus bolak-balik.
10.  $X_L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,5 = 57,85$  ohm, dan  $i_L = 200 / 57,85 = 3,457$  ampere
11.  $X_C = 1/(2 \times 3,14 \times 100 \times 500 \times 10^{-6}) = 3,185$  ohm,  $i_C = 20 / 3,185 = 6,28$  ampere
12. a. Untuk menentukan impedansi, dihitung dulu  $X_L$  dan  $X_C$ :  
 $X_L = \omega L = 100 \cdot 2 = 200$  ohm, dan  $X_C = 1/\omega C = 1/(100 \times 10^{-5}) = 1000$  ohm  
 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2} = \sqrt{800^2 + 200^2 + 1000^2} = 1131,37$
- b. Sudut fasenya :  $\theta = \tan^{-1} \frac{X_L + X_C}{R} = \frac{200 + 1000}{800} = \frac{1200}{800} = 45^\circ$
- c.  $V_{ef} = V_m/\sqrt{2} = 100/\sqrt{2} = 70,71$  volt, dan  $I_{ef} = V_{ef}/Z = 70,71/1131,37 = 0,0625$  A
- d. Tegangan pada masing-masing komponen :  
 $V_R = i \cdot R = 0,0625 \times 800 = 50$  volt  
 $V_L = i \cdot X_L = 0,0625 \times 200 = 12,5$  volt  
 $V_C = i \cdot X_C = 0,0625 \times 1000 = 62,5$  volt
13.  $S = 40/0,5 = 80$  VA,  $Q = \sqrt{80^2 - 40^2} = 69,28$  Var,  $I = S/V = 80/200 = 0,4$  A, dan  $Z = V/I = 200/0,4 = 500$  ohm.
14.  $e_2 = 220 \sin(\omega t + 150^\circ)$  volt atau  $e_2 = 220 \sin(\omega t - 210^\circ)$  volt, dan  $e_3 = 220 \sin(\omega t + 270^\circ)$  volt atau  $e_3 = 220 \sin(\omega t - 90^\circ)$  volt.
15. (a) hubungan delta atau segitiga, (b) hubungan bintang tanpa pentanahan (3 kawat), dan hubungan bitang dengan pentanahan (4 kawat)

**g. Lembar Kerja 3 :**

1. **Alat dan bahan** : obeng, tang, cutter, isolasi, solder, alat tulis menulis, osciloscop, macam-macam kabel, generator AC satu fasa, mesin listrik sistem fasa tiga, Ampermeter, voltmeter, wattmeter, VARmeter, beban listrik (pompa air, atau motor listrik ac lainnya), macam-macam sakelar, dan lain-lain
2. **Keselamatan kerja** : jas lab, sarung tangan, kerjakan sesuai instruction manual, patuhi prosedur kerja yang telah ditentukan, patuhi peraturan yang tercantum di lab atau tempat praktik.
3. **Langkah kerja** : tentukan peralatan-peralatan dan komponen-komponen yang akan dibutuhkan, buat rancangan diagram pengawatan yang akan dilakukan, pasang peralatan pengukur yang akan digunakan sesuai dengan diagram rencana, rangkai peralatan yang telah dipasang, periksa dan uji rangkaian atau peralatan yang telah dipasang, perbaiki apabila masih terdapat kesalahan atau komponen yang belum berfungsi dengan benar, uji sesuai dengan prosedur dan instruction manual yang berlaku, buat berita acara laporan pengujian atau percobaan
4. **Laporan** : Jawab pertanyaan-pertanyaan dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan tugas yang diberikan

### III. EVALUASI

#### A. PERTANYAAN :

1. Apa yang dimaksud dengan elektron dalam sistem ketenagalistrikan ?
2. Bagaimana reaksi gaya antara dua buah muatan listrik sejenis apabila didekatkan ?
3. Berapakah muatan listrik yang akan pindah dari sebuah baterai yang mengeluarkan arus sebesar 3 ampere selama 40 detik ?
4. Apa yang dimaksud dengan induksi timbal-balik (bersama) apabila ada dua buah kumparan yang dipasang sejajar, dan salah satu kumparan dialiri arus listrik ?
5. Berapa mikro farad suatu kondensator yang memiliki kapasitas 0,005 F ?
6. Suatu kapasitor keping sejajar mempunyai luas penampang 2 cm<sup>2</sup> dan jarak antar keping 1 mm. Bila di antara kedua keping berisi udara, berapakah kapasitas dari kondensator tersebut ?
7. Sebutkan 3 fungsi dari kondensator ?
8. Suatu lampu pijar dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar 200 volt. Arus yang mengalir pada lampu tersebut 0,8 ampere. Berapakah besarnya tahanan yang terdapat pada lampu tersebut ?
9. Suatu kawat penghantar dialiri arus listrik sebesar 5 ampere. Besarnya kerapatan arus pada kawat tersebut sebesar 2 A/mm<sup>2</sup>. Berapakan luas penampang kawat penghantar tersebut ?
10. Seorang pembantu rumah tangga menggunakan setrika listrik setiap dua hari sekali, dengan lama rata-rata 5 jam. Besar daya setrika tersebut 400 watt. Berapa kWh energi yang digunakan untuk setrika tersebut setiap bulan (dengan asumsi 1 bulan = 30 hari) ?
11. Bagaimana cara melihat kemagnetan suatu logam ?
12. Apakah satuan dari gaya gerak listrik yang timbul dari sebuah penghantar yang bergerak di dalam medan magnet ?

13. Suatu penghantar dialiri arus listrik sebesar 2 A, sedangkan jari-jari kumparan 4 cm. Berapakan besarnya kuat medan pada pusat lingkaran ?
14. Sebuah kumparan mempunyai 200 lilit dengan panjang 60 mm dan luas penampang nya  $2 \text{ cm}^2$ . Di dalam kumparan tersebut aliri arus listrik sebesar 2,5 ampere. Hitunglah :
  - a. Kuat medan di dalam kumparan ?
  - b. Arus gaya dalam kumparan ?
  - c. besar amper-lilit kumparan tersebut ?
15. Apa yang dimaksud dengan koefisien induksi sendiri pada sebuah kumparan ?
16. Suatu rangkaian listrik mempunyai hambatan murni sebesar 8 ohm dan hambatan kapasitif sebesar 6 ohm. Hitung besar impedansi dalam rangkaian tersebut ?
17. Sebuah kumparan segiempat dengan panjang 10 cm dan lebar 6 cm, mempunyai 100 lilit. Kumparan tersebut tegak lurus pada ggm yang mempunyai kekuatan 4000 gauss. Jika kumparan ditarik keluar dari medan magnet dalam waktu 0,2 detik, hitunglah ggl rata-rata yang diinduksikan di dalam kumparan tersebut ?
18. Waktu yang dibutuhkan untuk satu periode putaran sebuah rotor adalah 0,02 detik. Berapakah jumlah putaran yang dihasilkan selaman satu detik ? Hitung besarnya frekuensi dari rotor tersebut ?
19. Suatu rotor berputar dengan kecepatan 1800 rpm. Berapa besarnya frekuensi dan waktu periode dari rotor tersebut ?
20. Dua buah tahanan masing-masing besarnya 20 ohm dihubungkan paralel dengan sumber tegangan arus searah selama  $\frac{1}{2}$  jam. Pada kedua tahanan tersebut mengalir arus listrik sebesar 4 ampere. Berapa kalor panas yang terjadi pada setiap tahanan tersebut ?
21. Sebuah lampu listrik mempunyai tahanan sebesar 40 ohm dipasang pada sumber tegangan 200 volt. Hitung besarnya harga efektif dan maksimum dari tegangan dan arus pada lampu tersebut ?
22. Hitung nilai rata-rata dari kasus soal nomor 21 di atas ?
23. Berapakan besarnya nilai dari suatu faktor bentuk dalam sistem tegangan dan arus bolak-balik ?
24. Sebuah induktor mempunyai induktansi sebesar 80 milihenry, dipasang pada sumber arus bolak-balik sebesar 220 volt, 50 hertz. Hitunglah hambatan induktif dan besarnya arus yang mengalir pada induktor tersebut ?

25. Sebuah hambatan murni 80 ohm dirangkai seri dengan induktor yang mempunyai hambatan 60 ohm, dan rangkaian tersebut dipasang pada tegangan bolak-balik 100 volt. Hitunglah kuat arus pada rangkaian serta beda potensial pada R dan L ?
26. Sebuah lampu TL besarnya 75 watt, mempunyai  $\cos \phi$  sebesar 0,35 langging. Jika lampu tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan 220 volt, 50 Hz, hitunglah besarnya : daya semu, daya reaktif, arus yang mengalir pada lampu tersebut, dan besar impedansinya ?
27. Salah satu fasa tegangan pada listrik sistem 3 fasa besarnya :  $e_a = 220 \cos(\omega t - 30^\circ)$  volt. Tentukan besarnya tegangan untuk dua fasa yang lainnya ?
28. Sebutkan macam-macam hubungan dari beban listrik sistem tiga fasa yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari ?

**B. KUNCI JAWABAN :**

1. Elektron adalah ion yang bermuatan negatif
2. Akan saling tolak-menolak
3.  $Q = 3 \times 40 = 120$  coulomb
4. dengan adanya arus mengalir pada kumparan 1 menyebabkan terjadinya ggm pada kumparan satu. Ggm kumparan 1 ini memotong pada kumparan kedua, sehingga akibat perpotongan ggm1 dgn kumparan 2 ini dapat terjadi ggl pada kumparan 2. Peristiwa terjadinya ggl pada kumparan 2 akibat ggm kumparan 1 ini disebut ggl bersama.
5.  $0,005 \times 1000000 = 5000$  ?F
6. 1,77 pF
7. (a) sebagai penghubung, (b) sebagai perata (filter), (c) sebagai penentu frekuensi
8. 250 ohm
9.  $2,5 \text{ mm}^2$
10. 30 kWh
11. Dengan meletakkan sebuah magnet di bawah sehelai karton, kemudian di atasnya ditaburi serbuk besi. Jika diketok-ketok maka terlihat serbuk besi mengatur diri pada pola tertentu.
12. Volt
13.  $H = (0,2 \times 3,14 \times 2) / 4 = 0,314$  oersted.
14. (a).  $H = (0,4 \times 3,14 \times 200 \times 2,5) / 6 = 104,67$  oersted, (b)  $\phi = 104,67 \times 2 = 209,34$  maxwell, (c)  $I \times N = 2,5 \times 200 = 500$  amper-lilit
15. besarnya induksi sendiri dari kumparan yang bersangkutan apabila dialiri arus listrik.
16.  $Z = 8 - j 6 = 10 \angle -36,87^\circ$  ohm.
17.  $\phi = B \times q = 4000 \times (10 \times 6) = 240.000$  maxwell,  $E = N \times (d\phi/dt) \times 10^{-8} = 100 \times (240.000/0,2) \times 10^{-8} = 1,2$  volt.
18. 1 detik =  $1/0,02 = 50$  putaran,  $f = 1/T = 1/0,02 = 50$  Hz.
19. Rpm = 1800,  $\omega$  dalam 1 detik =  $1800/60 = 30$  putaran. Berarti  $f = 30$  Hz, dan  $T = 1/f = 1/30 = 0,033$  detik.
20.  $W = 0,24 \times I^2 \times R \cdot t = 0,24 \times 2^2 \times 20 \times \frac{1}{2} \times 60 = 1152$  kalori.

21.  $V_{ef} = 200$  volt dan  $V_{mak} = 200 \times 1,4142 = 282,84$  volt. Sedangkan  $I_{ef} = 200/40 = 5$  ampere dan  $I_{mak} = 5 \times 1,4142 = 7,071$  ampere.
22.  $V_{rt} = 0,637 \times V_{mak} = 0,637 \times 282,84 = 180,169$  V, dan  $I_{rt} = 0,637 \times 7,071 = 4,50$  A.
23.  $F_b = 1,11$
24.  $X_L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 80 \times 10^{-3} = 25,12$  ohm,  $i = 220/25,12 = 8,758$  ampere.
25.  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100$  ohm; selanjutnya :  $i = \frac{V}{Z} = \frac{100}{100} = 1$  A
- sudut fasenya (?) =  $\tan^{-1} \frac{60}{80} = 36,87^\circ$
- Tegangan pada ujung-ujung R dihitung :  $V_R = i.R = 1 \times 80 = 80$  volt
- Tegangan pada ujung-ujung L dihitung :  $V_L = i.X_L = 1 \times 60 = 60$  volt
26.  $S = 75/0,35 = 214,3$  VA,  $Q = \sqrt{(214,3^2 - 75^2)} = 200,75$  Var,  $i = 214,3/220 = 0,974$  A, dan  $Z = V/I = 220/0,974 = 225,9$  ohm.
27.  $e_b = 220 \cos(\omega t + 90^\circ)$  volt atau  $e_b = 220 \cos(\omega t - 270^\circ)$  volt, dan  $e_c = 220 \cos(\omega t + 210^\circ)$  volt atau  $e_b = 220 \cos(\omega t - 90^\circ)$  volt.
28. (a) hubungan delta atau segitiga, (b) hubungan bintang tanpa pentanahan (3 kawat), dan hubungan bintang dengan pentanahan (4 kawat)

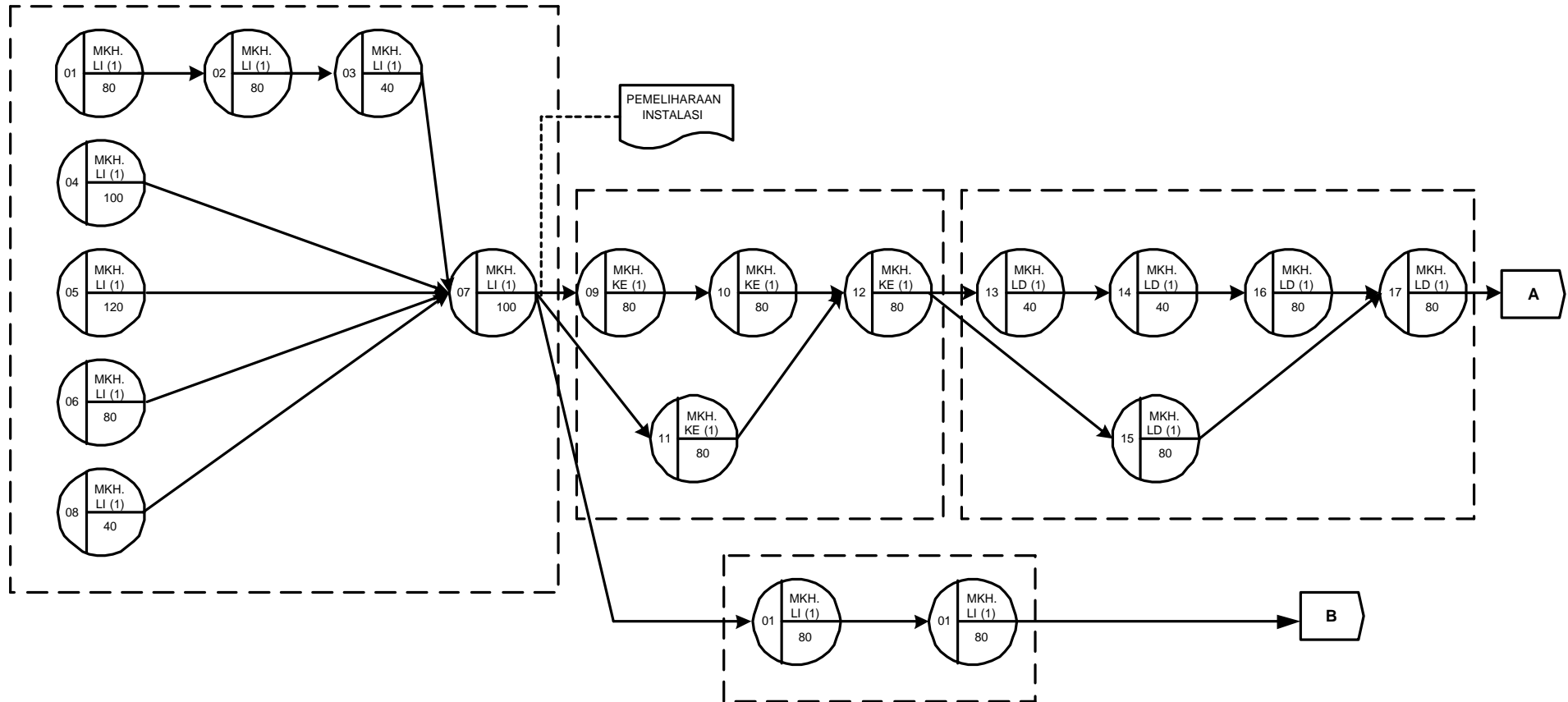
## **IV. PENUTUP**

Materi pembelajaran pada modul ini merupakan materi dasar yang harus dimiliki oleh setiap siswa yang mengambil keahlian di bidang teknik listrik, sehingga apabila akan meneruskan ke materi pembelajaran bidang keahlian lanjutan, maka harus sudah menempuh materi pembelajaran atau modul Teknik Listrik dan telah lulus dengan mendapat skor minimal 60 (skala 100). Apabila belum menempuh dan belum lulus, maka siswa yang bersangkutan harus melalui her terlebih dahulu atau mengulang lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung Murdhana dan Djadjat Sudrajat, 1993, *Teknik Listrik STM*, Armico, Bandung.
- B.L. Theraja dan A.K. Theraja, 1993, *A Text-Book of Electrical Technology*, vol I, Basic Electrical engineering, New Delhi.
- Budiono Mismail, 1995, *Rangkaian Listrik*, jilid pertama, ITB, Bandung
- David E Johnson, dkk., 1995, *Basic Electric Circuit Analysis*, Fifth edition, Prentice Hall International editions, USA
- Johny BR, 1992, *Keterampilan Teknik Listrik Praktis*, Yrama Widya Dharma, Bandung
- Joseph A. Edminister, 1988, *Rangkaian Listrik*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- M. Afandi dan Agus Ponidjo, 1977, *Pengetahuan Dasar Teknik Listrik 1*, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen P dan K, Jakarta.
- Widowati S., 1995, *Diktat Rangkaian Listrik 1*, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI, Bandung
- William H. Hayt, Jr. dan Jack E. Kemmerly, 1991, *Rangkaian Listrik 1*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.

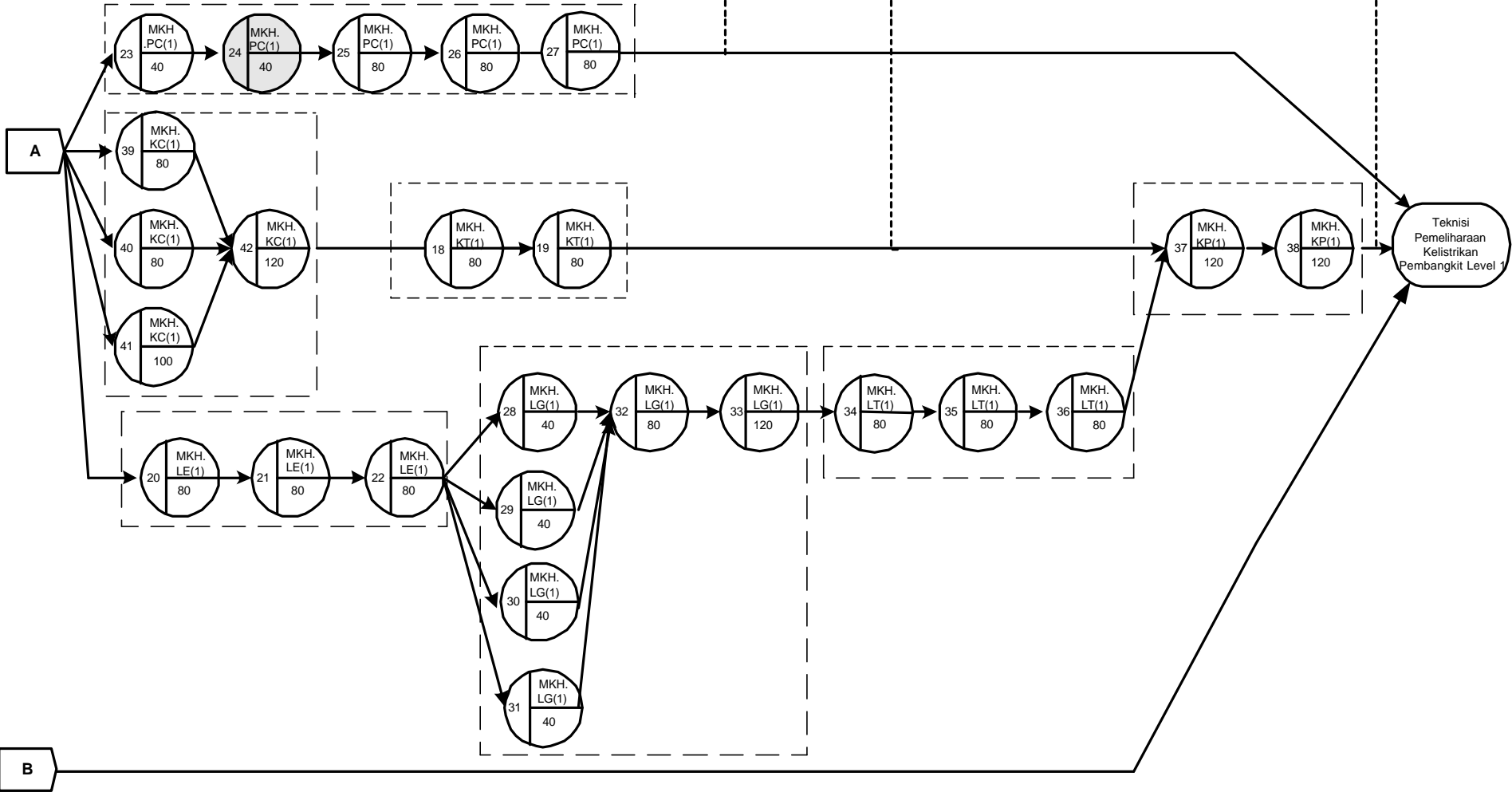
# PETA POSISI MODUL KOMPETENSI SMK PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK



PEMELIHARAAN SARANA PENUNJANG

PEMELIHARAAN INSTRUMEN KONTROL

PEMELIHARAAN KELISTRIKAN



## PERISTILAHAN

Arus foucault	: arus pusar yang dapat menimbulkan panas
dielektrikum	: medium pemisah dua penghantar pada kondensator
elektromagnetik	: magnet yang timbul pada penghantar akibat dialiri arus listrik
elektron	: ion yang bermuatan negatif
faktor bentuk	: perbandingan harga efektif dan harga rata-rata
faktor puncak	: perbandingan harga maksimum dengan harga efektif
fluksi	: garis-garis gaya magnet (ggm)
frekuensi	: jumlah periode dalam satu detik
gaya koersif	: besarnya nilai yang diberikan dari suatu pemagnet
ggl	: gaya gerak listrik
komponen aktif	: sumber energi / daya listrik
komponen pasif	: pemakai energi / daya listrik
konduktansi	: daya antar arus suatu bahan listrik
kurva histeresis	: edaran/loop histeresis akibat adanya induksi kemagnetan
lamel	: lempeng-lempeng tipis yang tersusun pada jangkar motor atau generator
magnetisasi	: proses pembuatan magnet dengan magnet permanen
? ( $\mu$ )	: permeabilitas suatu bahan magnet
neutron	: ion yang tidak bermuatan
? ( $\omega$ )	: kecepatan sudut
periode	: perubahan arus/tegangan dari +, -, kembali ke + lagi
proton	: ion yang bermuatan positif
resonansi	: proses terjadinya tegangan pada induktor sama dengan tegangan pada kondensator

# STORYBOARD

Judul Modul Pembelajaran : TEKNIK LISTRIK

Bidang Keahlian : KETENAGALISTRIKAN

Program Keahlian :  Teknik Pembangkitan

Teknik Transmisi

Teknik Distribusi Listrik

Teknik Pendingin dan Tata Udara

Teknik Pemanfaatan Energi

NO	URUTAN PEMBELAJARAN	N A R A S I	SIMULASI PEMBELAJARAN SESUAI URUTAN TOPIK								KETERANGAN SIMULASI
			Animasi	Gambar	Video	Audio	Simulasi Praktik	Latihan	Evaluasi	Skor	
1.	DESKRIPSI MATERI	Lingkup materi modul ini meliputi : elektro statis, elektro dinamis, hukum arus searah, rangkaian listrik arus searah, elektromagnetik, kuantitas kemagnetan, induktansi, induksi elektromagnet, arus bolak-balik satu fasa, dan arus bolak-balik fase tiga.	X	X	X						
2.	PRASYARAT	<b>Pendidikan Formal :</b> Telah menyelesaikan pendidikan setara Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) atau sederajat <b>Kaitan dengan modul/kemampuan lain :</b> Tidak ada, karena merupakan mata ajar konsep dasar						X		X	
3.	PETA KEDUDUKAN MODUL	Modul ini termasuk ke dalam bidang keahlian <b>Ketenagalistrikan</b> pada program keahlian <b>Teknik Distribusi Listrik</b>		X							
4.	PERISTILAHAN	Arus foucault, dielektrikum, elektromagnetik, elektron, faktor bentuk, faktor puncak, fluksi, frekuensi, gaya koersif, ggl, komponen aktif,	X		X	X					

		komponen pasif, konduktansi, kurva histeresis, lamel, magnetisasi, $\mu$ (miu), neutron, $\omega$ (omega), periode, proton, resonansi.									
5.	PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL	<p><b>Petunjuk bagi siswa:</b> Baca petunjuk kegiatan belajar pada setiap modul kegiatan belajar, baca tujuan dari setiap modul kegiatan belajar, pelajari setiap materi yang diuraikan/ dijelaskan pada setiap modul kegiatan, pelajari rangkuman yang terdapat pada setiap akhir modul kegiatan belajar, baca dan kerjakan setiap tugas yang harus dikerjakan pada setiap modul kegiatan belajar, kerjakan dan jawablah dengan singkat dan jelas setiap ada ujian akhir modul kegiatan belajar (test formatif)</p> <p><b>Peran guru :</b> menjelaskan petunjuk-petunjuk kepada siswa yang masih belum mengerti, mengawasi dan memandu siswa apabila ada yang masih kurang jelas, menjelaskan materi-materi pembelajaran yang ditanyakan oleh siswa yang masih kurang dimengerti, membuat pertanyaan dan memberikan penilaian kepada setiap siswa</p>	X		X	X					
6.	KEGIATAN BELAJAR 1 6.1. Penjelasan Umum	Modul ini merupakan modul dasar yang harus dipahami oleh setiap siswa pada tingkat pertama, karena banyak dasar-dasar teknik listrik yang akan digunakan untuk pembelajaran pada mata ajaran lainnya baik untuk pengembangan maupun aplikasi-aplikasi praktis bidang ketenagalistrikan.		X	X	X					
	6.2. Uraian Sub Materi	Elektro statis Elektro dinamis Hukum arus searah Rangkaian listrik arus searah Elektromagnetik Kuantitas kemagnetan Induktansi Induksi elektromagnet Arus bolak-balik satu fasa		X	X	X	X				

		Arus bolak-balik fase tiga.										
	Evaluasi	Evaluasi dilakukan pada setiap akhir kegiatan belajar, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/derajat kemampuan atau daya serap siswa terhadap materi pembelajaran yang telah disampaikan							X	X	X	
7.	PEMBELAJARAN 1 7.1. Penjelasan Umum	Setelah mengikuti pembelajaran ini diharapkan siswa dapat : memahami tentang dasar-dasar elektro statis yang akan digunakan dalam teknik listrik, memiliki pengetahuan dan pemahaman pengertian dari elektro dinamis yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, memiliki pengetahuan tentang dasar-dasar hukum arus searah yang digunakan dalam teknik listrik, mampu menyelesaikan persoalan-persoalan rangkaian listrik arus searah yang banyak digunakan dalam teknik listrik, memahami konsep dasar elektromagnetik dan mengetahui aplikasinya dalam bidang teknik listrik, menganalisis perhitungan-perhitungan tentang kuantitas kemagnetan yang banyak digunakan dalam bidang teknik listrik, memahami konsep dasar induktansi dan kapasitansi serta perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan komponen-komponen tersebut, memahami konsep-konsep dasar induksi elektromagnet dan aplikasinya dalam bidang teknik ketenagalistrikan, memiliki pengetahuan dasar arus listrik bolak-balik satu fasa, proses pembangkitannya, serta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari, dan mengetahui dan memahami tentang arus listrik bolak-balik sistem fase tiga dan aplikasinya di masyarakat.	X	X	X	X						
	7.2. Penjelasan Materi Materi 1 :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektro statis</li> <li>- Elektro dinamis</li> <li>- Hukum arus searah</li> <li>- Rangkaian listrik arus searah</li> </ul>	X	X	X	X	X					

	Evaluasi 1	Evaluasi dilakukan setelah selesai materi pembelajaran satu yang mencakup empat unit materi dengan : a. Tugas/latihan : sebanyak 4 soal b. Test formatif : 10 soal pertanyaan dalam bentuk essay							X	X	X	
	Materi 2 :	- Elektromagnetik - Kuantitas kemagnetan - Induktansi - Induksi elektromagnet	X	X	X	X	X					
	Evaluasi 2	Evaluasi dilakukan setelah selesai materi pembelajaran dua yang mencakup tiga unit materi dengan : a. Tugas/latihan : sebanyak 4 soal b. Test formatif : 10 soal pertanyaan dalam bentuk essay							X	X	X	
	Materi 3 :	- Arus bolak-balik satu fasa - Arus bolak-balik fase tiga.	X	X	X	X	X					
	Evaluasi 3	Evaluasi dilakukan setelah selesai materi pembelajaran dua yang mencakup tiga unit materi dengan : a. Tugas/latihan : sebanyak 3 soal b. Test formatif : 15 soal pertanyaan dalam bentuk essay							X	X	X	
8.	POT TEST/EVALUASI AKHIR	Evaluasi akhir dilakukan setelah selesai seluruh materi pembelajaran yang mencakup tujuh unit materi dengan : a. Test akhir : 28 soal pertanyaan dalam bentuk essay								X	X	