

MODUL GURU PEMBELAJAR

**MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)**

KELOMPOK KOMPETENSI G

**PEDAGOGI:
PENGEMBANGAN INSTRUMEN
PENILAIAN**

Penulis:

Soni Sukendar, S.Pd., M.Si., M.T.

**PROFESIONAL:
INDUKSI ELEKTOMAGNETIK,
RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK,
DAN CAHAYA**

Penulis:

Drs. Kandi, MA



Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

**MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)**

KELOMPOK KOMPETENSI G

PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENILAIAN

Penulis:

Soni Sukendar, S.Pd., M.Si., M.T.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN FISIKA

SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI G

PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENILAIAN UNTUK GURU FISIKA SMA

Penulis:

Soni Sukendar, S.Pd., M.Si., M.T.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN FISIKA SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI G

PENILAIAN PROSES DAN HASIL BELAJAR

Penanggung Jawab

Dr. Sediono Abdullah

Penyusun

Soni Sukendar, S.Pd., M.Si., M.T. 022-4231191 sonicigiringsing@gmail.com

Penyunting

Drs. Dadan Muslih, M.T.

Penelaah

Prof. Triyanta

Penata Letak

Nurul Atma Vita, S.Pd.

Copyright © 2016

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA),

*Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui program Guru Pembelajar merupakan upaya peningkatan kompetensi untuk semua guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui uji kompetensi guru (UKG) untuk kompetensi pedagogi dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG melalui program Guru Pembelajar. Tujuannya untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Guru Pembelajar dilaksanakan melalui pola tatap muka, dalam jaringan atau daring (*online*), dan campuran (*blended*) tatap muka dengan online.

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan dan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK), dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut



adalah modul untuk program Guru Pembelajar tatap muka dan Guru Pembelajar online untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Guru Pembelajar memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru.

Mari kita sukseskan program Guru Pembelajar ini untuk mewujudkan “Guru Mulia Karena Karya.”

Jakarta, Februari 2016

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D.

NIP. 195908011985032001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Guru Pembelajar Mata Pelajaran IPA SMP, Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif.

Modul Guru Pembelajar disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru paska UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Guru Pembelajar untuk masing-masing mata pelajaran dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar, dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.



Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau ke: p4tkipa@yahoo.com.

Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara, Staf PPPPTK IPA, Dosen, Guru, dan Kepala Sekolah serta Pengawas Sekolah yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan kompetensi guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2016
Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.
NIP. 195909021983031002



DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	1
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	2
E. Saran Cara Penggunaan Modul	2
KEGIATAN PEMBELAJARAN	5
PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENILAIAN	5
A. Tujuan	5
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	5
C. Uraian Materi	6
D. Aktivitas Pembelajaran	40
E. Latihan/Kasus/Tugas	40
F. Rangkuman	45
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	46
KUNCI JAWABAN	47
EVALUASI	49
PENUTUP	53
DAFTAR PUSTAKA	53
GLOSARIUM	56



DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 1.1	Contoh penyebaran butir soal untuk penilaian akhir semester ganjil	10
Tabel 1.2	Kisi-kisi penulisan soal	11
Tabel 1.3	Kartu soal	16
Tabel 1.4	Contoh Skala Thurstone: Minat terhadap pelajaran Fisika	28
Tabel 1.5	Contoh skala Likert: Sikap terhadap pelajaran Fisika	28
Tabel 1.6	Kategorisasi sikap atau minat peserta didik untuk 10 butir pernyataan, dengan rentang skor 10 –40.	33
Tabel 1.7	Kategorisasi sikap atau minat kelas	34

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Guru wajib melaksanakan kegiatan guru pembelajar agar dapat melaksanakan tugas profesionalnya. Modul Guru Pembelajar pada intinya merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang menuntut peserta pelatihan untuk belajar lebih mandiri dan aktif. Modul ini disusun untuk membantu guru meningkatkan kompetensinya, terutama kompetensi profesional dan kompetensi pedagogik. Modul G digunakan pada kegiatan guru pembelajar kelompok kompetensi G baik yang dilakukan melalui pembelajaran tatap muka maupun melalui pembelajaran jarak jauh. Modul *kelompok kompetensi G* bagi guru Fisika berisi beberapa materi bahasan yang telah ditetapkan didalam pemetaan Standar Kompetensi Guru Fisika. Setiap materi pembelajaran ini dikemas dalam suatu kegiatan pembelajaran yang meliputi: Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut serta Kunci Jawaban. Di dalam modul G ini diawali dengan uraian pendahuluan, beberapa kegiatan pembelajaran dan diakhiri dengan evaluasi yang dilengkapi kunci jawabannya agar guru peserta melakukan *self assesment* sebagai tolak ukur untuk mengetahui keberhasilan diri sendiri.

B. Tujuan

Setelah guru peserta kegiatan guru pembelajar kelompok kompetensi G belajar dengan modul ini diharapkan memahami materi kompetensi pedagogik berkaitan dengan pengembangan instrumen penilaian.



C. Peta Kompetensi

Peta kompetensi yang menjadi acuan dalam belajar modul ini adalah sebagai berikut.

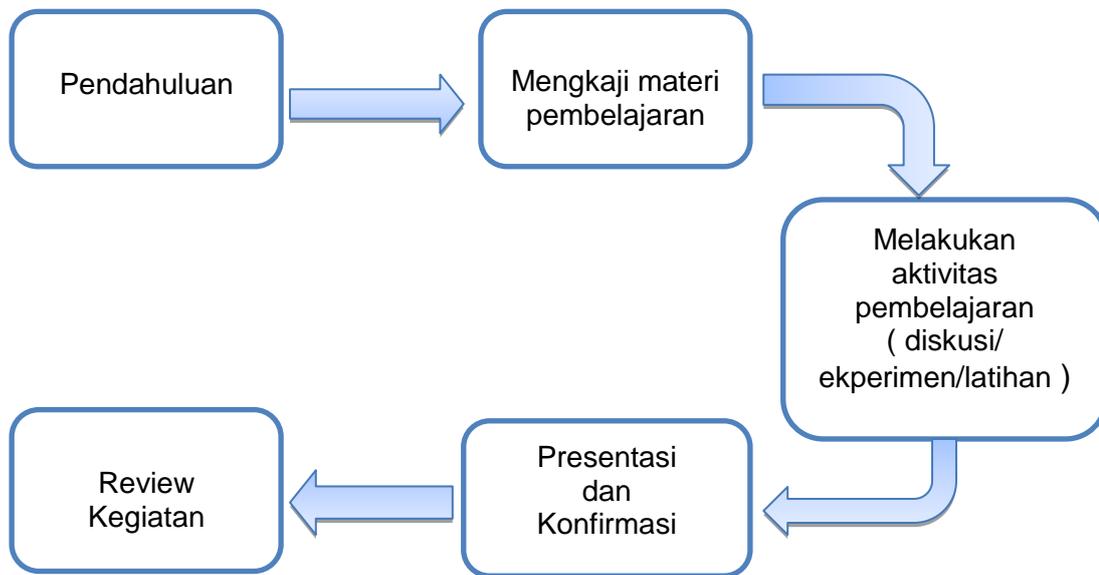
Kompetensi Inti	Kompetensi Guru Mapel	Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)
8. Menyeleng garakan penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar	8.4 Mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar.	8.4.1 Menyusun butir soal ranah pengetahuan mata pelajaran Fisika 8.4.2 Melakukan validasi butir soal ranah pengetahuan mata pelajaran Fisika 8.4.3 Menyusun instrumen penilaian ranah sikap 8.4.4 Melakukan validasi instrumen penilaian ranah sikap 8.4.5 Menyusun instrumen penilaian ranah keterampilan 8.4.5 Melakukan validasi instrumen penilaian ranah keterampilan 8.4.6 Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar FIKIBI

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pembelajaran dalam modul kelompok kompetensi G ini terdiri atas: kegiatan pembelajaran 1 Pengembangan Instrumen Penilaian.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Cara penggunaan modul pada setiap Kegiatan Pembelajaran secara umum sesuai dengan skenario setiap penyajian mata pembelajaran. Langkah-langkah belajar secara umum adalah sbb.



1. Pendahuluan

Pada kegiatan pendahuluan fasilitator memberi kesempatan kepada peserta untuk mempelajari:

- latar belakang yang memuat gambaran materi pembelajaran
- tujuan penyusunan modul mencakup tujuan semua kegiatan pembelajaran setiap materi pembelajaran
- kompetensi atau indikator yang akan dicapai atau ditingkatkan melalui modul.
- ruang lingkup berisi materi kegiatan pembelajaran 1, kegiatan pembelajaran 2 dan seterusnya.
- langkah-langkah penggunaan modul

2. Mengkaji materi pembelajaran

Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada peserta untuk mempelajari materi yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Peserta dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok



3. Melakukan aktivitas pembelajaran

Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/intruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, melakukan eksperimen, latihan dsb.

Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan data dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan

4. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi dibahas bersama

5. Review Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji mereview materi

KEGIATAN PEMBELAJARAN: PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENILAIAN

Penilaian merupakan bagian integral dari pembelajaran Fisika, sehingga perlu diperhatikan dalam melaksanakan proses pembelajaran. Guru harus merencanakan penilaian yang akan digunakan sebagai bagian dari pelaksanaan pembelajaran. Seperti diketahui bahwa penilaian sebagai suatu proses yang sistematis dan mencakup kegiatan mengumpulkan, menganalisis, serta menginterpretasikan informasi untuk menentukan seberapa jauh seorang siswa atau sekelompok siswa mencapai tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan, baik aspek pengetahuan, sikap maupun keterampilan.

Peran guru dalam penilaian merupakan unsur penting sebagai penyusun instrumen, penganalisis, dan pelaku evaluasi serta sekaligus sebagai pelaksanaannya. Oleh karena itu guru harus menguasai banyak kompetensi yang berkaitan dengan penilaian.

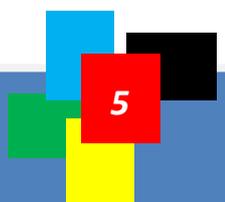
A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini, peserta dapat mengembangkan instrumen penilaian proses dan hasil belajar.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi setelah mempelajari modul ini, sebagai berikut.

1. Menyusun butir soal ranah pengetahuan mata pelajaran Fisika
2. Melakukan validasi butir soal ranah pengetahuan mata pelajaran Fisika
3. Menyusun instrumen penilaian ranah sikap
4. Melakukan validasi instrumen penilaian ranah sikap
5. Menyusun instrumen penilaian ranah keterampilan
6. Melakukan validasi instrumen penilaian ranah keterampilan





C. Uraian Materi

1. Pengembangan Instrumen Penilaian Ranah Pengetahuan

Agar soal yang dikembangkan oleh setiap guru menghasilkan bahan ulangan/ujian yang sah dan handal, maka harus dilakukan langkah-langkah berikut, yaitu: (1) menentukan tujuan tes, (2) menentukan kompetensi yang akan diujikan, (3) menentukan materi yang diujikan, (4) menetapkan penyebaran butir soal berdasarkan kompetensi, materi, dan bentuk penilaiannya (tes tertulis: bentuk pilihan ganda, uraian; dan tes praktik), (5) menyusun kisi-kisinya, (6) menulis butir soal, (7) memvalidasi butir soal atau menelaah secara kualitatif, (8) merakit soal menjadi perangkat tes, (9) menyusun pedoman penskorannya (10) uji coba butir soal, (11) analisis butir soal secara kuantitatif dari data empirik hasil uji coba, dan (12) perbaikan soal berdasarkan hasil analisis. Dalam mengembangkan kisi-kisi ada beberapa hal yang perlu dikuasai guru diantaranya:

a. Mengetahui jenis perilaku yang dapat diukur

Ketika merumuskan indikator soal dalam mengembangkan kisi-kisi butir soal, kita perlu menentukan perilaku yang tepat sesuai dengan ranah dan tingkat kompetensinya. Dalam menentukan perilaku yang akan diukur, penulis soal dapat mengambil atau memperhatikan jenis perilaku yang telah dikembangkan oleh para ahli pendidikan. Jenis perilaku untuk ranah kognitif yang dikembangkan Benjamin S. Bloom adalah:

- (1) Ingatan di antaranya seperti: menyebutkan, menentukan, menunjukkan, mengingat kembali, mendefinisikan;
- (2) Pemahaman di antaranya seperti: membedakan, mengubah, memberi contoh, memperkirakan, mengambil kesimpulan;
- (3) Penerapan di antaranya seperti: menggunakan, menerapkan;
- (4) Analisis di antaranya seperti: membandingkan, mengklasifikasikan, mengkategorikan, menganalisis;
- (5) Sintesis antaranya seperti: menghubungkan, mengembangkan, mengorganisasikan, menyusun;
- (6) Evaluasi di antaranya seperti: menafsirkan, menilai, memutuskan.



Jenis perilaku yang dikembangkan Quellmalz adalah:

- (1) ingatan,
- (2) analisis,
- (3) perbandingan,
- (4) penyimpulan,
- (5) evaluasi.

Jenis perilaku yang dikembangkan R. J. Marzano dkk. adalah:

- (1) keterampilan memusat (*focusing skills*), seperti: mendefinisikan, merumuskan tujuan,
- (2) keterampilan mengumpulkan informasi, seperti: mengamati, merumuskan pertanyaan,
- (3) keterampilan mengingat, seperti: merekam, mengingat,
- (4) keterampilan mengorganisasi, seperti: membandingkan, mengelompokkan, menata/mengurutkan, menyajikan;
- (5) keterampilan menganalisis, seperti mengenali: sifat dari komponen, hubungan dan pola, ide pokok, kesalahan;
- (6) keterampilan menghasilkan keterampilan baru, seperti: menyimpulkan, memprediksi, mengupas atau mengurai;
- (7) keterampilan memadu (*integreting skills*), seperti: meringkas, menyusun kembali;
- (8) keterampilan menilai, seperti: menetapkan kriteria, membenarkan pembuktian.

Jenis perilaku yang dikembangkan Robert M. Gagne adalah:

- (1) kemampuan intelektual: diskriminasi, identifikasi/konsep yang nyata, klasifikasi, demonstrasi, generalisasi/menghasilkan sesuatu;
- (2) strategi kognitif: menghasilkan suatu pemecahan;
- (3) informasi verbal: menyatakan sesuatu secara oral;
- (4) keterampilan motorist melaksanakan/menjalankan sesuatu;
- (5) sikap: kemampuan untuk memilih sesuatu.



Domain afektif yang dikembangkan David Krathwohl adalah:

- (1) menerima,
- (2) menjawab,
- (3) menilai.

Domain psikomotor yang dikembangkan Norman E. Gronlund dan R.W. de Maclay adalah:

- (1) persepsi,
- (2) kesiapan,
- (3) respon terpinpin,
- (4) mekanisme;
- (5) respon yang kompleks,
- (6) organisasi,
- (7) karakterisasi dari nilai.

Keterampilan berpikir yang dikembangkan Linn dan Gronlund adalah seperti berikut.

- (1) Membandingkan
 - Apa persamaan dan perbedaan antara ... dan...
 - Bandingkan dua cara berikut tentang
- (2) Hubungan sebab-akibat
 - Apa penyebab utama ...
 - Apa akibat ...
- (3) Memberi alasan (justifying)
 - Manakah pilihan berikut yang kamu pilih, mengapa?
 - Jelaskan mengapa kamu setuju/tidak setuju dengan pernyataan tentang
- (4) Meringkas
 - Tuliskan pernyataan penting yang termasuk ...
 - Ringkaslah dengan tepat isi ...
- (5) Menyimpulkan
 - Susunlah beberapa kesimpulan yang berasal dari data
 - Tulislah sebuah pernyataan yang dapat menjelaskan peristiwa berikut



- (6) Berpendapat (*inferring*)
 - Berdasarkan ..., apa yang akan terjadi bila
 - Apa reaksi A terhadap ...
- (7) Mengelompokkan
 - Kelompokkan hal berikut berdasarkan
 - Apakah hal berikut memiliki ...
- (8) Menciptakan
 - Tuliskan beberapa cara sesuai dengan ide Anda tentang
 - Lengkapilah cerita ... tentang apa yang akan terjadi bila
- (9) Menerapkan
 - Selesaikan hal berikut dengan menggunakan kaidah
 - Tuliskan ... dengan menggunakan pedoman....
- (10) Analisis
 - Manakah penulisan yang salah pada paragraf
 - Daftar dan beri alasan singkat tentang ciri utama
- (11) Sintesis
 - Tuliskan satu rencana untuk pembuktian ...
 - Tuliskan sebuah laporan ...
- (12) Evaluasi
 - Apakah kelebihan dan kelemahan
 - Berdasarkan kriteria ..., tuliskanlah evaluasi tentang...

b. Penentuan Perilaku yang Akan Diukur

Semakin tinggi kemampuan/perilaku yang diukur sesuai dengan target kompetensi, maka semakin sulit soal dan semakin sulit pula menyusunnya. Dalam Standar Isi, perilaku yang akan diukur dapat dilihat pada "perilaku yang terdapat pada rumusan kompetensi dasar atau pada standar kompetensi". Bila ingin mengukur perilaku yang lebih tinggi, guru dapat mendaftar terlebih dahulu semua perilaku yang dapat diukur, mulai dari perilaku yang sangat sederhana/mudah sampai dengan perilaku yang paling sulit/tinggi, berdasarkan rumusan kompetensinya (baik standar kompetensi maupun kompetensi dasar). Dari susunan perilaku itu, dipilih satu perilaku yang tepat diujikan kepada peserta didik, yaitu perilaku yang sesuai dengan



kemampuan peserta didik di kelas.

c. Penentuan dan Penyebaran Soal

Sebelum menyusun kisi-kisi dan butir soal perlu ditentukan jumlah soal setiap kompetensi dasar dan penyebaran soalnya. Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh penilaian akhir semester berikut ini.

Tabel 1.1 Contoh penyebaran butir soal untuk penilaian akhir semester ganjil

No	Kompetensi Dasar	Materi	Jumlah soal tes tulis		Jumlah soal Praktik
			PG	Uraian	
1	1.1 .....	.....	6	--	--
2	1.2 .....	.....	3	1	--
3	1.3 .....	.....	4	--	1
4	2.1 .....	.....	5	1	--
5	2.2 .....	.....	8	1	--
6	3.1 .....	.....	6	--	1
7	3.2 .....	.....	--	2	--
8	3.3 .....	.....	8	--	--
Jumlah soal			40	5	2

d. Penyusunan Kisi-kisi

Kisi-kisi (*test blue-print* atau *table of specification*) merupakan deskripsi kompetensi dan materi yang akan diujikan. Tujuan penyusunan kisi-kisi adalah untuk menentukan ruang lingkup dan sebagai petunjuk dalam menulis soal. Kisi-kisi dapat berbentuk format atau matriks seperti contoh berikut ini.

FORMAT KISI-KISI PENULISAN SOAL

Jenis sekolah :

Jumlah soal :

Mata pelajaran :

Bentuk soal/tes :

Kurikulum :

Penyusun :

Alokasi waktu :



Tabel 1.2 Kisi-kisi penulisan soal

No.	Kompetensi Inti	Kompetensi Dasar	Kls/smt	Materi pokok	Indikator soal	Nomor soal
1	2	3	4	5	6	7

Keterangan:

Isi pada kolom 2, 3, 4, dan 5 adalah harus sesuai dengan pernyataan yang ada di dalam silabus/kurikulum. Penulis kisi-kisi tidak diperkenankan mengarang sendiri, kecuali pada kolom 6.

Kisi-kisi yang baik harus memenuhi persyaratan berikut ini.

1. Kisi-kisi harus dapat mewakili isi silabus/kurikulum atau materi yang telah diajarkan secara tepat dan proporsional.
2. Komponen-komponennya diuraikan secara jelas dan mudah dipahami.
3. Materi yang hendak ditanyakan dapat dibuatkan soalnya.

e. Perumusan Indikator Soal

Indikator dalam kisi-kisi merupakan pedoman dalam merumuskan soal yang dikehendaki. Kegiatan perumusan indikator soal merupakan bagian dari kegiatan penyusunan kisi-kisi. Untuk merumuskan indikator dengan tepat, guru harus memperhatikan materi yang akan diujikan, indikator pembelajaran, kompetensi dasar, dan standar kompetensi. Indikator yang baik dirumuskan secara singkat dan jelas. Syarat indikator yang baik:

1. menggunakan kata kerja operasional (perilaku khusus) yang tepat,
2. menggunakan satu kata kerja operasional untuk soal objektif, dan satu atau lebih kata kerja operasional untuk soal uraian/tes perbuatan,
3. dapat dibuatkan soal atau pengecohnya (untuk soal pilihan ganda).
4. Penulisan indikator yang lengkap mencakup A = *audience* (peserta didik), B = *behaviour* (perilaku yang harus ditampilkan), C = *condition* (kondisi yang diberikan), dan D = *degree* (tingkatan yang diharapkan). Ada dua model penulisan indikator. Model pertama adalah menempatkan kondisinya di awal



kalimat. Model pertama ini digunakan untuk soal yang disertai dengan dasar pernyataan (stimulus), misalnya berupa sebuah kalimat, paragraf, gambar, denah, grafik, kasus, atau lainnya, sedangkan model yang kedua adalah menempatkan peserta didik dan perilaku yang harus ditampilkan di awal kalimat. Model yang kedua ini digunakan untuk soal yang tidak disertai dengan dasar pertanyaan (stimulus).

(1) Contoh model pertama untuk topik "Konduktor dan isolator listrik".

Indikator: Disajikan tabel hasil percobaan uji larutan, peserta didik dapat menentukan dengan tepat jenis larutan yang termasuk konduktor dan isolator listrik.

Soal:

Sekelompok siswa melakukan percobaan daya hantar listrik larutan.

Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

LARUTAN	PENGAMATAN	
	NYALA LAMPU	GELEMBUNG GAS
P	Tidak menyala	Ada
Q	Tidak menyala	Tidak ada
R	Menyala	Ada
S	Tidak menyala	Tidak ada
T	Menyala	Ada

Pasangan larutan yang termasuk konduktor listrik yang baik adalah....

- A. P dan Q
- B. R dan S
- C. R dan T
- D. Q dan R
- E. T dan S

Kunci: C

(2) Contoh model kedua

Indikator: Siswa dapat menjelaskan dengan tepat perbedaan alat ukur neraca pegas dan neraca ohaus.

Soal:

Perbedaan neraca pegas dan neraca ohaus adalah

- A. neraca pegas digunakan untuk mengukur massa sedangkan neraca ohaus digunakan untuk mengukur berat



- B. neraca pegas digunakan untuk mengukur berat sedangkan neraca ohaus digunakan untuk mengukur massa
- C. neraca pegas digunakan untuk mengukur massa dengan beban yang kecil sedangkan neraca ohaus digunakan untuk mengukur massa dengan beban yang besar
- D. neraca pegas digunakan untuk mengukur berat dengan beban yang kecil sedangkan neraca ohaus digunakan untuk mengukur berat dengan beban yang besar
- E. neraca pegas digunakan untuk mengukur berat dengan beban yang kecil sedangkan neraca ohaus digunakan untuk mengukur massa dengan beban yang besar

Kunci: B

f. Penyusunan Butir Soal Tes Tertulis

Penulisan butir soal tes tertulis merupakan suatu kegiatan yang sangat penting dalam penyiapan bahan ulangan/ujian. Setiap butir soal yang ditulis harus berdasarkan rumusan indikator soal yang sudah disusun dalam kisi-kisi dan berdasarkan kaidah penulisan soal bentuk obyektif dan kaidah penulisan soal uraian.

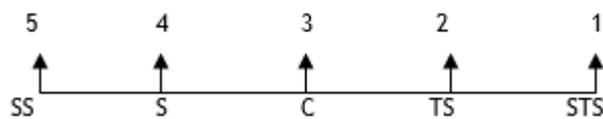
Penggunaan bentuk soal yang tepat dalam tes tertulis, sangat tergantung pada perilaku/kompetensi yang akan diukur. Ada kompetensi yang lebih tepat diukur/ditanyakan dengan menggunakan tes tertulis dengan bentuk soal uraian, ada pula kompetensi yang lebih tepat diukur dengan menggunakan tes tertulis dengan bentuk soal objektif. Bentuk tes tertulis pilihan ganda maupun uraian memiliki kelebihan dan kelemahan satu sama lain.

Keunggulan soal bentuk pilihan ganda, di antaranya dapat mengukur kemampuan/perilaku secara objektif, sedangkan untuk soal uraian adalah dapat mengukur kemampuan mengorganisasikan gagasan dan menyatakan jawabannya menurut kata-kata atau kalimat sendiri. Kelemahan soal bentuk pilihan ganda di antaranya adalah sulit menyusun pengecohnya, sedangkan untuk soal uraian di antaranya adalah sulit menyusun pedoman penskorannya.



Kriteria	Skor
Sesuai	3
Cukup/sedang	2
Tidak sesuai	1
Kosong	0

Atau skala seperti berikut:



Kesesuaian isi dengan tuntutan pertanyaan 0 - 5 Skor

Kriteria	Skor
Sangat Sesuai	5
Sesuai	4
Cukup/sedang	3
Tidak sesuai	2
Sangat tidak sesuai	1
Kosong	0

Agar soal yang disusun bermutu baik, maka penulis soal harus memperhatikan kaidah penulisannya. Untuk memudahkan pengelolaan, perbaikan, dan pengembangan soal, maka soal ditulis di dalam format kartu soal. Setiap satu soal dan pedoman penskorannya ditulis di dalam satu format. Contoh format soal bentuk uraian dan format penskorannya adalah seperti berikut ini.

Bentuk soalnya terdiri dari: (1) dasar pertanyaan/stimulus bila ada/diperlukan, (2) pertanyaan, dan (3) pedoman penskoran.

Kaidah penulisan soal uraian seperti berikut.

1. Materi
 - a. Soal harus sesuai dengan indikator.
 - b. Setiap pertanyaan harus diberikan batasan jawaban yang diharapkan.
 - c. Materi yang ditanyakan harus sesuai dengan tujuan pengukuran.
 - d. Materi yang ditanyakan harus sesuai dengan jenjang jenis sekolah atau tingkat kelas.



2. Konstruksi

- Menggunakan kata tanya/perintah yang menuntut jawaban terurai.
- Ada petunjuk yang jelas tentang cara mengerjakan soal.
- Setiap soal harus ada pedoman penskorannya.
- Tabel, gambar, grafik, peta, atau yang sejenisnya disajikan dengan jelas, terbaca, dan berfungsi.

Tabel 1.3 Kartu soal

KARTU SOAL												
Jenis Sekolah :			Penyusun : 1.									
Mata Pelajaran :			2.									
Bahan Kls/Smt :												
Bentuk Soal :			Tahun Ajaran :									
Aspek yang diukur :												
KOMPETENSI DASAR		BUKU SUMBER:										
		RUMUSAN BUTIR SOAL										
MATERI		NO SOAL:										
INDIKATOR SOAL												
KETERANGAN SOAL												
NO	DIGUNAKAN UNTUK	TANGGAL	JUMLAH SISWA	TK	DP	PROPORSI PEMILIH ASPEK						KET.
						A	B	C	D	E	OMT	



FORMAT PEDOMAN PENSKORAN

NO SOAL	KUNCI/KRITERIA JAWABAN	SKOR

3. Bahasa

- a. Rumusan kalimat soal harus komunikatif.
- b. Menggunakan bahasa Indonesia yang baik dan benar (baku).
- c. Tidak menimbulkan penafsiran ganda.
- d. Tidak menggunakan bahasa yang berlaku setempat/tabu.
- e. Tidak mengandung kata/ungkapan yang menyinggung perasaan peserta didik.

Menulis soal bentuk pilihan ganda sangat diperlukan keterampilan dan ketelitian. Hal yang paling sulit dilakukan dalam menulis soal bentuk pilihan ganda adalah menuliskan pengecohnya. Pengecoh yang baik adalah pengecoh yang tingkat kerumitan atau tingkat kesederhanaan, serta panjang-pendeknya relatif sama dengan kunci jawaban. Oleh karena itu, untuk memudahkan dalam penulisan soal bentuk pilihan ganda, maka dalam penulisannya perlu mengikuti langkah-langkah berikut, langkah pertama adalah menuliskan pokok soalnya, langkah kedua menuliskan kunci jawabannya, langkah ketiga menuliskan pengecohnya.

Untuk memudahkan pengelolaan, perbaikan, dan perkembangan soal, maka soal ditulis di dalam format kartu soal. Setiap satu soal ditulis di dalam satu format. Adapun formatnya seperti berikut ini.



KARTU SOAL												
Jenis Sekolah		:			Penyusun : 1.							
Mata Pelajaran		:			2.							
Bahan Kls/Smt		:			3.							
Bentuk Soal		:										
Tahun Ajaran		:										
Aspek yang diukur		:										
KOMPETENSI DASAR		BUKU SUMBER										
		RUMUSAN BUTIR SOAL										
MATERI ;		NO SOAL:										
		KUNCI :										
INDIKATOR SOAL												
KETERANGAN SOAL												
NO	DIGUNAKAN UNTUK	TANGGAL	JUMLAH SISWA	TK	DP	PROPORSI PEMILIH					KET.	
						A	B	C	D	E	OMT	

Soal bentuk pilihan ganda merupakan soal yang telah disediakan pilihan jawabannya. Peserta didik yang mengerjakan soal hanya memilih satu jawaban yang benar dari pilihan jawaban yang disediakan. Soalnya mencakup: (1) dasar pertanyaan/stimulus (bila ada), (2) pokok soal (stem), (3) pilihan jawaban yang terdiri atas: kunci jawaban dan pengecoh.

Perhatikan contoh berikut!



Soal:

Sekelompok siswa melakukan percobaan daya hantar listrik larutan.
Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

LARUTAN	PENGAMATAN	
	NYALA LAMPU	GELEMBUNG GAS
P	Tidak menyala	Ada
Q	Tidak menyala	Tidak ada
R	Menyala	Ada
S	Tidak menyala	Tidak ada
T	Menyala	Ada

Dasar pertanyaan / stimulus

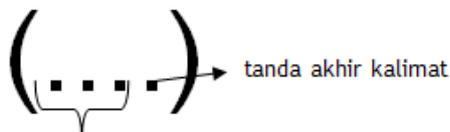
Pasangan larutan yang termasuk konduktor listrik yang baik adalah....

- A. P dan Q
- B. R dan S
- C. R dan T
- D. Q dan R
- E. T dan S

Pengecoh / distractor

Kunci jawaban

Pilihan / option



tanda akhir kalimat

tanda ellipsis (pernyataan yang sengaja dihilangkan)

Kaidah penulisan soal pilihan ganda adalah seperti berikut ini.

1. Materi

- a. Soal harus sesuai dengan indikator. Artinya soal harus menanyakan perilaku dan materi yang hendak diukur sesuai dengan rumusan indikator dalam kisi-kisi.
- b. Pengecoh harus bertungsi
- c. Setiap soal harus mempunyai satu jawaban yang benar. Artinya, satu soal hanya mempunyai satu kunci jawaban.

2. Konstruksi

- a. Pokok soal harus dirumuskan secara jelas dan tegas. Artinya, kemampuan/ materi yang hendak diukur/ditanyakan harus jelas, tidak menimbulkan pengertian atau penafsiran yang berbeda dari yang dimaksudkan penulis. Setiap butir soal hanya mengandung satu persoalan/gagasan



- b. Rumusan pokok soal dan pilihan jawaban harus merupakan pernyataan yang diperlukan saja. Artinya apabila terdapat rumusan atau pernyataan yang sebetulnya tidak diperlukan, maka rumusan atau pernyataan itu dihilangkan saja.
- c. Pokok soal jangan memberi petunjuk ke arah jawaban yang benar. Artinya, pada pokok soal jangan sampai terdapat kata, kelompok kata, atau ungkapan yang dapat memberikan petunjuk ke arah jawaban yang benar.
- d. Pokok soal jangan mengandung pernyataan yang bersifat negatif ganda. Artinya, pada pokok soal jangan sampai terdapat dua kata atau lebih yang mengandung arti negatif. Hal ini untuk mencegah terjadinya kesalahan penafsiran peserta didik terhadap arti pernyataan yang dimaksud. Untuk keterampilan bahasa, penggunaan negatif ganda diperbolehkan bila aspek yang akan diukur justru pengertian tentang negatif ganda itu sendiri.
- e. Pilihan jawaban harus homogen dan logis ditinjau dari segi materi. Artinya, semua pilihan jawaban harus berasal dari materi yang sama seperti yang ditanyakan oleh pokok soal, penulisannya harus setara, dan semua pilihan jawaban harus berfungsi.
- f. Panjang rumusan pilihan jawaban harus relatif sama. Kaidah ini diperlukan karena adanya kecenderungan peserta didik memilih jawaban yang paling panjang karena seringkali jawaban yang lebih panjang itu lebih lengkap dan merupakan kunci jawaban.
- g. Pilihan jawaban jangan mengandung pernyataan "Semua pilihan jawaban di atas salah" atau "Semua pilihan jawaban di atas benar". Artinya dengan adanya pilihan jawaban seperti ini, maka secara materi pilihan jawaban berkurang satu karena pernyataan itu bukan merupakan materi yang ditanyakan dan pernyataan itu menjadi tidak homogen.
- h. Pilihan jawaban yang berbentuk angka atau waktu harus disusun berdasarkan urutan besar kecilnya nilai angka atau kronologis. Artinya pilihan jawaban yang berbentuk angka harus disusun dari nilai angka paling kecil berurutan sampai nilai angka yang paling besar, dan sebaliknya. Demikian juga pilihan jawaban yang menunjukkan waktu harus disusun secara kronologis. Penyusunan secara unit dimaksudkan



untuk memudahkan peserta didik melihat pilihan jawaban.

- i. Gambar, grafik, tabel, diagram, wacana, dan sejenisnya yang terdapat pada soal harus jelas dan berfungsi. Artinya, apa saja yang menyertai suatu soal yang ditanyakan harus jelas, terbaca, dapat dimengerti oleh peserta didik. Apabila soal bisa dijawab tanpa melihat gambar, grafik, tabel atau sejenisnya yang terdapat pada soal, berarti gambar, grafik, atau tabel itu tidak berfungsi.
 - j. Rumusan pokok soal tidak menggunakan ungkapan atau kata yang bermakna tidak pasti seperti: sebaiknya, umumnya, kadang-kadang.
 - k. Butir soal jangan bergantung pada jawaban soal sebelumnya. Ketergantungan pada soal sebelumnya menyebabkan peserta didik yang tidak dapat menjawab benar soal pertama tidak akan dapat menjawab benar soal berikutnya.
3. Bahasa/budaya
- a. Setiap soal harus menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia. Kaidah bahasa Indonesia dalam penulisan soal di antaranya meliputi: a) pemakaian kalimat: (1) unsur subyek, (2) unsur predikat, (3) anak kalimat; b) pemakaian kata: (1) pilihan kata, (2) penulisan kata, dan c) pemakaian ejaan: (1) penulisan huruf, (2) penggunaan tanda baca.
 - b. Bahasa yang digunakan harus komunikatif, sehingga pernyataannya mudah dimengerti warga belajar/peserta didik.
 - c. Pilihan jawaban jangan yang mengulang kata/frase yang bukan merupakan satu kesatuan pengertian. Letakkan kata/frase pada pokok soal.

2. Pengembangan Instrumen Penilaian Ranah Sikap

Instrumen penilaian afektif meliputi lembar pengamatan sikap, minat, konsep diri, nilai, dan moral. Ada 11 (sebelas) langkah dalam mengembangkan instrumen penilaian afektif, yaitu:

1. menentukan spesifikasi instrumen
2. menulis instrumen
3. menentukan skala instrumen



4. menentukan pedoman penskoran
5. menelaah instrumen
6. merakit instrumen
7. melakukan ujicoba
8. menganalisis hasil ujicoba
9. memperbaiki instrumen
10. melaksanakan pengukuran
11. menafsirkan hasil pengukuran

1. Spesifikasi instrumen

Ditinjau dari tujuannya ada lima macam instrumen pengukuran ranah afektif, yaitu instrumen: (a) sikap, (b) minat, (c) konsep diri, (d) nilai, dan (e) moral.

a. Instrumen sikap

Instrumen sikap bertujuan untuk mengetahui sikap peserta didik terhadap suatu objek, misalnya terhadap kegiatan sekolah, mata pelajaran, pendidik, dan sebagainya. Sikap terhadap mata pelajaran bisa positif bisa negatif. Hasil pengukuran sikap berguna untuk menentukan strategi pembelajaran yang tepat.

b. Instrumen minat

Instrumen minat bertujuan untuk memperoleh informasi tentang minat peserta didik terhadap mata pelajaran, yang selanjutnya digunakan untuk meningkatkan minat peserta didik terhadap mata pelajaran.

c. Instrumen konsep diri

Instrumen konsep diri bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kelemahan diri sendiri. Peserta didik melakukan evaluasi secara objektif terhadap potensi yang ada dalam dirinya. Karakteristik potensi peserta didik sangat penting untuk menentukan jenjang karirnya. Informasi kekuatan dan kelemahan peserta didik digunakan untuk menentukan program yang sebaiknya ditempuh.



d. Instrumen nilai

Instrumen nilai bertujuan untuk mengungkap nilai dan keyakinan peserta didik. Informasi yang diperoleh berupa nilai dan keyakinan yang positif dan yang negatif. Hal-hal yang bersifat positif diperkuat sedangkan yang bersifat negatif dikurangi dan akhirnya dihilangkan.

e. Instrumen moral

Instrumen moral bertujuan untuk mengungkap moral. Informasi moral seseorang diperoleh melalui pengamatan terhadap perbuatan yang ditampilkan dan laporan diri melalui pengisian kuesioner. Hasil pengamatan dan hasil kuesioner menjadi informasi tentang moral seseorang. Dalam menyusun spesifikasi instrumen perlu memperhatikan empat hal yaitu: (1) tujuan pengukuran, (2) kisi-kisi instrumen, (3) bentuk dan format instrumen, dan (4) panjang instrumen.

Setelah menetapkan tujuan pengukuran afektif, kegiatan berikutnya adalah menyusun kisi-kisi instrumen. Kisi-kisi (blue-print), merupakan matrik yang berisi spesifikasi instrumen yang akan ditulis. Langkah pertama dalam menentukan kisi-kisi adalah menentukan definisi konseptual yang berasal dari teori-teori yang diambil dari buku teks. Selanjutnya mengembangkan definisi operasional berdasarkan kompetensi dasar, yaitu kompetensi yang dapat diukur. Definisi operasional ini kemudian dijabarkan menjadi sejumlah indikator. Indikator merupakan pedoman dalam menulis instrumen. Tiap indikator bisa dikembangkan dua atau lebih instrumen.

2. Penulisan instrumen

Penilaian ranah afektif peserta didik dilakukan dengan menggunakan instrumen penilaian afektif sebagai berikut.

a. Instrumen sikap

Definisi konseptual: Sikap merupakan kecenderungan merespon secara konsisten baik menyukai atau tidak menyukai suatu objek. Instrumen sikap bertujuan untuk mengetahui sikap peserta didik terhadap suatu objek, misalnya kegiatan sekolah. Sikap bisa positif bisa negatif. Definisi operasional: sikap adalah perasaan positif atau negatif terhadap suatu objek. Objek bisa berupa kegiatan atau mata pelajaran. Cara yang mudah untuk



mengetahui sikap peserta didik adalah melalui kuesioner. Pertanyaan tentang sikap meminta responden menunjukkan perasaan yang positif atau negatif terhadap suatu objek, atau suatu kebijakan. Kata-kata yang sering digunakan pada pertanyaan sikap menyatakan arah perasaan seseorang; menerima-menolak, menyenangkan-tidak menyenangkan, baik-buruk, diinginkan-tidak diinginkan.

Contoh indikator sikap	Contoh pernyataan untuk kuesioner:
<ul style="list-style-type: none">• Membaca buku Fisika• Mempelajari Fisika• Melakukan interaksi dengan guru Fisika• Mengerjakan tugas Fisika• Melakukan diskusi tentang Fisika• Memiliki buku Fisika	<ul style="list-style-type: none">• Saya senang membaca buku Fisika• Tidak semua orang harus belajar Fisika• Saya jarang bertanya pada guru tentang pelajaran Fisika• Saya tidak senang pada tugas pelajaran Fisika• Saya berusaha mengerjakan soal-soal Fisika sebaik-baiknya• Memiliki buku Fisika penting untuk semua peserta didik

b. Instrumen minat

Instrumen minat bertujuan untuk memperoleh informasi tentang minat peserta didik terhadap suatu mata pelajaran yang selanjutnya digunakan untuk meningkatkan minat peserta didik terhadap mata pelajaran tersebut. Definisi konseptual: Minat adalah keinginan yang tersusun melalui pengalaman yang mendorong individu mencari objek, aktivitas, konsep, dan keterampilan untuk tujuan mendapatkan perhatian atau penguasaan. Definisi operasional: Minat adalah keingintahuan seseorang tentang keadaan suatu objek.

Contoh indikator Minat	Contoh pernyataan untuk kuesioner:
<ul style="list-style-type: none">• Memiliki catatan pelajaran Fisika.• Berusaha memahami Fisika• Memiliki buku Fisika• Mengikuti pelajaran Fisika	<ul style="list-style-type: none">• Catatan pelajaran Fisika saya lengkap• Catatan pelajaran Fisika saya terdapat coretan-coretan tentang hal-hal yang penting• Saya selalu menyiapkan pertanyaan



	sebelum mengikuti pelajaran Fisika <ul style="list-style-type: none"> • Saya berusaha memahami mata pelajaran Fisika • Saya senang mengerjakan soal Fisika. • Saya berusaha selalu hadir pada pelajaran Fisika
--	---

c. Instrumen konsep diri

Instrumen konsep diri bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kelemahan diri sendiri. Informasi kekuatan dan kelemahan peserta didik digunakan untuk menentukan program yang sebaiknya ditempuh oleh peserta didik. Definisi konsep: konsep diri merupakan persepsi seseorang terhadap dirinya sendiri yang menyangkut keunggulan dan kelemahannya. Definisi operasional konsep diri adalah pernyataan tentang kemampuan diri sendiri yang menyangkut mata pelajaran.

Contoh indikator Konsep Diri	Contoh pernyataan untuk kuesioner:
<ul style="list-style-type: none"> • Memilih mata pelajaran yang mudah dipahami • Memiliki kecepatan memahami mata pelajaran • Menunjukkan mata pelajaran yang dirasa sulit • Mengukur kekuatan dan kelemahan fisik 	<ul style="list-style-type: none"> • Saya sulit mengikuti pelajaran Fisika • Saya mudah memahami bahasa Inggris • Saya mudah menghafal suatu konsep. • Saya mampu membuat karangan yang baik • Saya merasa sulit mengikuti pelajaran Fisika • Saya bisa bermain sepak bola dengan baik • Saya mampu membuat karya seni yang baik • Saya perlu waktu yang lama untuk memahami pelajaran Fisika.

d. Instrumen nilai

Nilai merupakan konsep penting dalam pembentukan kompetensi peserta didik. Kegiatan yang disenangi peserta didik di sekolah dipengaruhi oleh nilai



(value) peserta didik terhadap kegiatan tersebut. Misalnya, ada peserta didik yang menyukai pelajaran keterampilan dan ada yang tidak, ada yang menyukai pelajaran seni tari dan ada yang tidak. Semua ini dipengaruhi oleh nilai peserta didik, yaitu yang berkaitan dengan penilaian baik dan buruk.

Nilai seseorang pada dasarnya terungkap melalui bagaimana ia berbuat atau keinginan berbuat. Nilai berkaitan dengan keyakinan, sikap dan aktivitas atau tindakan seseorang. Tindakan seseorang terhadap sesuatu merupakan refleksi dari nilai yang dianutnya. Definisi konseptual: Nilai adalah keyakinan terhadap suatu pendapat, kegiatan, atau objek. Definisi operasional nilai adalah keyakinan seseorang tentang keadaan suatu objek atau kegiatan. Misalnya keyakinan akan kemampuan peserta didik dan kinerja guru. Kemungkinan ada yang berkeyakinan bahwa prestasi peserta didik sulit ditingkatkan atau ada yang berkeyakinan bahwa guru sulit melakukan perubahan.

Instrumen nilai bertujuan untuk mengungkap nilai dan keyakinan individu. Informasi yang diperoleh berupa nilai dan keyakinan yang positif dan yang negatif. Hal-hal yang positif ditingkatkan sedang yang negatif dikurangi dan akhirnya dihilangkan.

Contoh indikator Nilai	Contoh pernyataan untuk kuesioner:
<ul style="list-style-type: none">• Memiliki keyakinan akan peran sekolah• Menyakini keberhasilan peserta didik• Menunjukkan keyakinan atas kemampuan guru.• Mempertahankan keyakinan akan harapan masyarakat	<ul style="list-style-type: none">• Saya berkeyakinan bahwa prestasi belajar peserta didik sulit untuk ditingkatkan.• Saya berkeyakinan bahwa kinerja pendidik sudah maksimal.• Saya berkeyakinan bahwa peserta didik yang ikut bimbingan tes cenderung akan diterima di perguruan tinggi.• Saya berkeyakinan sekolah tidak akan mampu mengubah tingkat kesejahteraan masyarakat.• Saya berkeyakinan bahwa perubahan selalu membawa masalah.• Saya berkeyakinan bahwa hasil yang dicapai peserta didik adalah atas usahanya.



Selain melalui kuesioner ranah afektif peserta didik, sikap, minat, konsep diri, dan nilai dapat digali melalui pengamatan. Pengamatan karakteristik afektif peserta didik dilakukan di tempat dilaksanakannya kegiatan pembelajaran. Untuk mengetahui keadaan ranah afektif peserta didik, perlu ditentukan dulu indikator substansi yang akan diukur, dan pendidik harus mencatat setiap perilaku yang muncul dari peserta didik yang berkaitan dengan indikator tersebut.

e. Instrumen Moral

Instrumen ini bertujuan untuk mengetahui moral peserta didik.

Contoh indikator Moral	Contoh pernyataan untuk instrumen moral
<ul style="list-style-type: none"> • Memegang janji • Memiliki kepedulian terhadap orang lain • Menunjukkan komitmen terhadap tugas-tugas • Memiliki Kejujuran 	<ul style="list-style-type: none"> • Bila saya berjanji pada teman, tidak harus menepati. • Bila berjanji kepada orang yang lebih tua, saya berusaha menepatinya. • Bila berjanji pada anak kecil, saya tidak harus menepatinya. • Bila menghadapi kesulitan, saya selalu meminta bantuan orang lain. • Bila ada orang lain yang menghadapi kesulitan, saya berusaha membantu. • Kesulitan orang lain merupakan tanggung jawabnya sendiri. • Bila bertemu teman, saya selalu menyapanya walau ia tidak melihat saya. • Bila bertemu guru, saya selalu memberikan salam, walau ia tidak melihat saya. • Saya selalu bercerita hal yang menyenangkan teman, walau tidak seluruhnya benar. • Bila ada orang yang bercerita, saya tidak selalu mempercayainya.

Contoh indikator moral sesuai dengan definisi tersebut adalah:

Contoh pernyataan untuk



3. Skala Instrumen Penilaian Afektif

Skala yang sering digunakan dalam instrumen penilaian afektif adalah Skala Thurstone, Skala Likert, dan Skala Beda Semantik.

Tabel 1.4 Contoh Skala Thurstone: Minat terhadap pelajaran Fisika

No	Pernyataan	7	6	5	4	3	2	1
1.	Saya senang belajar Fisika							
2.	Pelajaran Fisika bermanfaat							
3.	Saya berusaha hadir tiap ada jam pelajaran Fisika							
4.	Saya berusaha memiliki buku pelajaran Fisika							
5.	Pelajaran Fisika membosankan							
6.	Dst.							

Tabel 1.5 Contoh skala Likert: Sikap terhadap pelajaran Fisika

No	Pernyataan	SS	S	TS	STS
1.	Pelajaran Fisika bermanfaat				
2.	Pelajaran Fisika sulit				
3.	Tidak semua harus belajar Fisika				
4.	Pelajaran Fisika harus dibuat mudah				
5.	Sekolah saya menyenangkan				
6.	Dst.				

Keterangan:

SS : Sangat setuju

S : Setuju

TS : Tidak setuju

STS: Sangat tidak setuju

Contoh skala beda Semantik:



Pelajaran Fisika

Kriteria	a	b	c	d	e	f	g	h	Kriteria
Menyenangkan									Membosankan
Sulit									Mudah
Bermanfaat									Sia-sia
Menantang									Menjemukan
Banyak									Sedikit
Dst.									Dst

4. Sistem penskoran

Sistem penskoran yang digunakan tergantung pada skala pengukuran. Apabila digunakan skala Thurstone, maka skor tertinggi untuk tiap butir 7 dan skor terendah 1. Demikian pula untuk instrumen dengan skala beda semantik, tertinggi 7 terendah 1. Untuk skala Likert, pada awalnya skor tertinggi tiap butir 5 dan terendah 1. Dalam pengukuran sering terjadi kecenderungan responden memilih jawaban pada kategori tiga 3 (tiga) untuk skala Likert. Untuk menghindari hal tersebut skala Likert dimodifikasi dengan hanya menggunakan 4 (empat) pilihan, agar jelas sikap atau minat responden. Skor perolehan perlu dianalisis untuk tingkat peserta didik dan tingkat kelas, yaitu dengan mencari rerata (mean) dan simpangan baku skor. Selanjutnya ditafsirkan hasilnya untuk mengetahui minat masing-masing peserta didik dan minat kelas terhadap suatu mata pelajaran.

5. Telaah instrumen

Kegiatan pada telaah instrumen adalah menelaah apakah: a) butir pertanyaan/ Pernyataan sesuai dengan indikator, b) bahasa yang digunakan komunikatif dan menggunakan tata bahasa yang benar, c) butir pernyataan/ pernyataan tidak bias, d) format instrumen menarik untuk dibaca, e) pedoman menjawab atau mengisi instrumen jelas, dan f) jumlah butir dan/atau panjang kalimat pertanyaan/ pernyataan sudah tepat sehingga tidak menjemukan untuk dibaca/dijawab.

Telaah dilakukan oleh pakar dalam bidang yang diukur dan akan lebih baik bila ada pakar penilaian. Telaah bisa juga dilakukan oleh teman sejawat bila yang



diinginkan adalah masukan tentang bahasa dan format instrumen. Bahasa yang digunakan adalah yang sesuai dengan tingkat pendidikan responden. Hasil telaah selanjutnya digunakan untuk memperbaiki instrumen. Panjang instrumen berhubungan dengan masalah kebosanan, yaitu tingkat kejemuhan dalam mengisi instrumen. Lama pengisian instrumen sebaiknya tidak lebih dari 30 menit. Langkah pertama dalam menulis suatu pertanyaan/ Pernyataan adalah informasi apa yang ingin diperoleh, struktur pertanyaan, dan pemilihan kata-kata. Pertanyaan yang diajukan jangan sampai bias, yaitu mengarahkan jawaban responden pada arah tertentu, positif atau negatif.

Contoh pertanyaan yang bias:

Sebagian besar pendidik setuju semua peserta didik yang menempuh ujian akhir lulus. Apakah saudara setuju bila semua peserta didik yang mengikuti ujian lulus semua?

Contoh pertanyaan yang tidak bias:

Sebagian pendidik setuju bahwa tidak semua peserta didik harus lulus, namun sebagian lain tidak setuju. Apakah saudara setuju bila semua peserta didik yang menempuh ujian akhir lulus semua?

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menggunakan kata-kata untuk suatu kuesioner, yaitu:

- Gunakan kata-kata yang sederhana sesuai dengan tingkat pendidikan responden
- Pertanyaannya jangan samar-samar
- Hindari pertanyaan yang bias.
- Hindari pertanyaan hipotetikal atau pengandaian.

Hasil telaah instrumen digunakan untuk memperbaiki instrumen. Perbaikan dilakukan terhadap konstruksi instrumen, yaitu kalimat yang digunakan, waktu yang diperlukan untuk mengisi instrumen, cara pengisian atau cara menjawab instrumen, dan pengetikan.



6. Merakit instrumen

Setelah instrumen diperbaiki selanjutnya instrumen dirakit, yaitu menentukan format tata letak instrumen dan urutan pertanyaan/ pernyataan. Format instrumen harus dibuat menarik dan tidak terlalu panjang, sehingga responden tertarik untuk membaca dan mengisinya. Setiap sepuluh pertanyaan sebaiknya dipisahkan dengan cara memberi spasi yang lebih, atau diberi batasan garis empat persegi panjang. Urutkan pertanyaan/pernyataan sesuai dengan tingkat kemudahan dalam menjawab atau mengisinya.

7. Ujicoba instrumen

Setelah dirakit instrumen diujicobakan kepada responden, sesuai dengan tujuan penilaian apakah kepada peserta didik, kepada guru atau orang tua peserta didik. Untuk itu dipilih sampel yang karakteristiknya mewakili populasi yang ingin dinilai. Bila yang ingin dinilai adalah peserta didik SMA, maka sampelnya juga peserta didik SMA. Sampel yang diperlukan minimal 30 peserta didik, bisa berasal dari satu sekolah atau lebih. Pada saat ujicoba yang perlu dicatat adalah saran-saran dari responden atas kejelasan pedoman pengisian instrumen, kejelasan kalimat yang digunakan, dan waktu yang diperlukan untuk mengisi instrumen. Waktu yang digunakan disarankan bukan waktu saat responden sudah lelah. Selain itu sebaiknya responden juga diberi minuman agar tidak lelah. Perlu diingat bahwa pengisian instrumen penilaian afektif bukan merupakan tes, sehingga walau ada batasan waktu namun tidak terlalu ketat. Agar responden mengisi instrumen dengan akurat sesuai harapan, maka sebaiknya instrumen dirancang sedemikian rupa sehingga waktu yang diperlukan mengisi instrumen tidak terlalu lama. Berdasarkan pengalaman, waktu yang diperlukan agar tidak jenuh adalah 30 menit atau kurang.

8. Analisis hasil ujicoba

Analisis hasil ujicoba meliputi variasi jawaban tiap butir pertanyaan/pernyataan. Jika menggunakan skala instrumen 1 sampai 7, dan jawaban responden bervariasi dari 1 sampai 7, maka butir pertanyaan/pernyataan pada instrumen ini dapat dikatakan baik. Namun apabila jawabannya hanya pada satu pilihan



jawaban saja, misalnya pada pilihan nomor 3, maka butir instrumen ini tergolong tidak baik. Indikator yang digunakan adalah besarnya daya beda. Bila daya beda butir instrumen lebih dari 0,30, butir instrumen tergolong baik.

Indikator lain yang diperhatikan adalah indeks keandalan yang dikenal dengan indeks reliabilitas. Batas indeks reliabilitas minimal 0,70. Bila indeks ini lebih kecil dari 0,70, kesalahan pengukuran akan melebihi batas. Oleh karena itu diusahakan agar indeks keandalan instrumen minimal 0,70.

9. Perbaikan instrumen

Perbaikan dilakukan terhadap butir-butir pertanyaan/pernyataan yang tidak baik, berdasarkan analisis hasil ujicoba. Bisa saja hasil telaah instrumen baik, namun hasil ujicoba empirik tidak baik. Untuk itu butir pertanyaan/pernyataan instrumen harus diperbaiki. Perbaikan termasuk mengakomodasi saran-saran dari responden ujicoba. Instrumen sebaiknya dilengkapi dengan pertanyaan terbuka.

10. Pelaksanaan pengukuran

Pelaksanaan pengukuran perlu memperhatikan waktu dan ruangan yang digunakan. Waktu pelaksanaan bukan pada waktu responden sudah lelah. Ruang untuk mengisi instrumen harus memiliki cahaya (penerangan) yang cukup dan sirkulasi udara yang baik. Tempat duduk juga diatur agar responden tidak terganggu satu sama lain. Diusahakan agar responden tidak saling bertanya pada responden yang lain agar jawaban kuesioner tidak sama atau homogen. Pengisian instrumen dimulai dengan penjelasan tentang tujuan pengisian, manfaat bagi responden, dan pedoman pengisian instrumen.

11. Penafsiran hasil pengukuran

Hasil pengukuran berupa skor atau angka. Untuk menafsirkan hasil pengukuran diperlukan suatu kriteria. Kriteria yang digunakan tergantung pada skala dan jumlah butir pertanyaan/pernyataan yang digunakan. Misalkan digunakan skala Likert yang berisi 10 butir pertanyaan/ pernyataan dengan 4 (empat) pilihan untuk mengukur sikap peserta didik. Skor untuk butir pertanyaan/pernyataan



yang sifatnya positif: Sangat setuju = 4; Setuju = 3; Tidak setuju = 2; Sangat tidak setuju = 1. Sebaliknya untuk pertanyaan/pernyataan yang bersifat negatif: Sangat setuju = 1; Setuju = 2; Tidak setuju = 3; Sangat tidak setuju = 4

Skor tertinggi untuk instrumen tersebut adalah $10 \text{ butir} \times 4 = 40$, dan skor terendah $10 \text{ butir} \times 1 = 10$. Skor ini dikualifikasikan misalnya menjadi empat kategori sikap atau minat, yaitu sangat tinggi (sangat baik), tinggi (baik), rendah (kurang), dan sangat rendah (sangat kurang). Berdasarkan kategori ini dapat ditentukan minat atau sikap peserta didik. Selanjutnya dapat dicari sikap dan minat kelas terhadap mata pelajaran tertentu. Penentuan kategori hasil pengukuran sikap atau minat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.6. Kategorisasi sikap atau minat peserta didik untuk 10 butir pernyataan, dengan rentang skor 10 –40.

No.	Skor Peserta Didik	Kategori Sikap/ Minat
1.	Lebih besar dari 35	Sangat tinggi/Sangat baik
2.	28 sampai 35	Tinggi/Baik
3.	20 sampai 27	Rendah/Kurang
4.	Kurang dari 20	Sangat rendah/Sangat kurang

Keterangan Tabel 1:

1. Skor batas bawah kategori sangat tinggi atau sangat baik adalah: $0,80 \times 40 = 36$, dan batas atasnya 40.
2. Skor batas bawah pada kategori tinggi atau baik adalah: $0,70 \times 40 = 28$, dan skor batas atasnya adalah 35.
3. Skor batas bawah pada kategori rendah atau kurang adalah: $0,50 \times 40 = 20$, dan skor batas atasnya adalah 27.
4. Skor yang tergolong pada kategori sangat rendah atau sangat kurang adalah kurang dari 20.



Tabel 1.7 Kategorisasi sikap atau minat kelas

No.	Skor Rata – Rata Kelas	Kategori Sikap/ Minat
1.	Lebih besar dari 35	Sangat tinggi/Sangat baik
2.	28 sampai 35	Tinggi/Baik
3.	28 sampai 35	Rendah/Kurang
4	Kurang dari 20	Sangat rendah/Sangat kurang

Keterangan:

1. Rata-rata skor kelas: jumlah skor semua peserta didik dibagi jumlah peserta didik di kelas ybs.
2. Skor batas bawah kategori sangat tinggi atau sangat baik adalah: $0,80 \times 40 = 36$, dan batas atasnya 40.
3. Skor batas bawah pada kategori tinggi atau baik adalah: $0,70 \times 40 = 28$, dan skor batas atasnya adalah 35.
4. Skor batas bawah pada kategori rendah atau kurang adalah: $0,50 \times 40 = 20$, dan skor batas atasnya adalah 27.
5. Skor yang tergolong pada kategori sangat rendah atau sangat kurang adalah kurang dari 20.

Pada Tabel 1 dapat diketahui minat atau sikap tiap peserta didik terhadap tiap mata pelajaran. Bila sikap peserta didik tergolong rendah, maka peserta didik harus berusaha meningkatkan sikap dan minatnya dengan bimbingan pendidik. Sedang bila sikap atau minat peserta didik tergolong tinggi, peserta didik harus berusaha mempertahankannya.

Tabel 2 menunjukkan minat atau sikap kelas terhadap suatu mata pelajaran. Dalam pengukuran sikap atau minat kelas diperlukan informasi tentang minat atau sikap setiap peserta didik terhadap suatu objek, seperti mata pelajaran. Hasil pengukuran minat kelas untuk semua mata pelajaran berguna untuk membuat profil minat kelas. Jadi satuan pendidikan akan memiliki peta minat kelas dan selanjutnya dikaitkan dengan profil prestasi belajar. Umumnya peserta



didik yang berminat pada mata pelajaran tertentu prestasi belajarnya untuk mata pelajaran tersebut baik.

C. Observasi

Penilaian ranah afektif peserta didik selain menggunakan kuesioner juga bisa dilakukan melalui observasi atau pengamatan. Prosedurnya sama, yaitu dimulai dengan penentuan definisi konseptual dan definisi operasional. Definisi konseptual kemudian diturunkan menjadi sejumlah indikator. Indikator ini menjadi isi pedoman observasi. Misalnya indikator peserta didik berminat pada mata pelajaran Fisika adalah kehadiran di kelas, kerajinan dalam mengerjakan tugas-tugas, banyaknya bertanya, kerapihan dan kelengkapan catatan. Hasil observasi akan melengkapi informasi dari hasil kuesioner. Dengan demikian informasi yang diperoleh akan lebih akurat, sehingga kebijakan yang ditempuh akan lebih tepat.

1. Pengembangan Instrumen Penilaian Ranah Keterampilan

Menurut Ebel (1972), ada kaitan erat antara tujuan yang akan dicapai, metode pembelajaran, dan evaluasi yang akan dilaksanakan. Oleh karena ada perbedaan titik berat tujuan pembelajaran psikomotor dan kognitif maka strategi pembelajarannya juga berbeda. Menurut Mills (1977), pembelajaran keterampilan akan efektif bila dilakukan dengan menggunakan prinsip belajar sambil mengerjakan (*learning by doing*). Leighbody (1968) menjelaskan bahwa keterampilan yang dilatih melalui praktik secara berulang-ulang akan menjadi kebiasaan atau otomatis dilakukan. Sementara itu Goetz (1981) dalam penelitiannya melaporkan bahwa latihan yang dilakukan berulang-ulang akan memberikan pengaruh yang sangat besar pada pemahiran keterampilan. Lebih lanjut dalam penelitian itu dilaporkan bahwa pengulangan saja tidak cukup menghasilkan prestasi belajar yang tinggi, namun diperlukan umpan balik yang relevan yang berfungsi untuk memantapkan kebiasaan. Sekali berkembang maka kebiasaan itu tidak pernah mati atau hilang.

Sementara itu, Gagne (1977) berpendapat bahwa kondisi yang dapat mengoptimalkan hasil belajar keterampilan ada dua macam, yaitu kondisi internal dan eksternal. Untuk kondisi internal dapat dilakukan dengan cara (a) mengingatkan kembali bagian dari keterampilan yang sudah dipelajari, dan (b)



mengingatkan prosedur atau langkah-langkah gerakan yang telah dikuasai. Sementara itu untuk kondisi eksternal dapat dilakukan dengan (a) instruksi verbal, (b) gambar, (c) demonstrasi, (d) praktik, dan (e) umpan balik.

Dalam melatih kemampuan psikomotor atau keterampilan gerak ada beberapa langkah yang harus dilakukan agar pembelajaran mampu membuahkan hasil yang optimal. Mills (1977) menjelaskan bahwa langkah-langkah dalam mengajar praktik adalah (a) menentukan tujuan dalam bentuk perbuatan, (b) menganalisis keterampilan secara rinci dan berutan, (c) mendemonstrasikan keterampilan disertai dengan penjelasan singkat dengan memberikan perhatian pada butir-butir kunci termasuk kompetensi kunci yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan dan bagian-bagian yang sukar, (d) memberi kesempatan kepada peserta didik untuk mencoba melakukan praktik dengan pengawasan dan bimbingan, (e) memberikan penilaian terhadap usaha peserta didik.

Edwardes (1981) menjelaskan bahwa proses pembelajaran praktik mencakup tiga tahap, yaitu (a) penyajian dari pendidik, (b) kegiatan praktik peserta didik, dan (c) penilaian hasil kerja peserta didik. Guru harus menjelaskan kepada peserta didik kompetensi kunci yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas tertentu. Kompetensi kunci adalah kemampuan utama yang harus dimiliki seseorang agar tugas atau pekerjaan dapat diselesaikan dengan cara benar dan hasilnya optimal. Sebagai contoh, dalam memukul bola, kompetensi kuncinya adalah kemampuan peserta didik menempatkan bola pada titik ayun. Dengan cara ini, tenaga yang dikeluarkan hanya sedikit namun hasilnya optimal. Contoh lain, dalam mengendorkan mur dari bautnya, kompetensi kuncinya adalah kemampuan peserta didik memegang kunci pas secara tepat yakni di ujung kunci. Dengan cara ini tenaga yang dikeluarkan untuk mengendorkan mur jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan pengendoran mur dengan cara memegang kunci pas yang tidak tepat.

Dalam proses pembelajaran keterampilan, keselamatan kerja tidak boleh dikesampingkan, baik bagi peserta didik, bahan, maupun alat. Leighbody (1968) menjelaskan bahwa keselamatan kerja tidak dapat dipisahkan dari proses pembelajaran psikomotor. Guru harus menjelaskan keselamatan kerja kepada peserta didik dengan sejelas-jelasnya. Oleh karena kompetensi kunci dan keselamatan kerja merupakan dua hal penting dalam pembelajaran



keterampilan, maka dalam penilaian kedua hal itu harus mendapatkan porsi yang tinggi.

Beberapa ahli yang menjelaskan cara menilai hasil belajar psikomotor. Ryan (1980) menjelaskan bahwa hasil belajar keterampilan dapat diukur melalui (1) pengamatan langsung dan penilaian tingkah laku peserta didik selama proses pembelajaran praktik berlangsung, (2) sesudah mengikuti pembelajaran, yaitu dengan jalan memberikan tes kepada peserta didik untuk mengukur pengetahuan, keterampilan, dan sikap, (3) beberapa waktu sesudah pembelajaran selesai dan kelak dalam lingkungan kerjanya. Sementara itu Leighbody (1968) berpendapat bahwa penilaian hasil belajar psikomotor mencakup: (1) kemampuan menggunakan alat dan sikap kerja, (2) kemampuan menganalisis suatu pekerjaan dan menyusun urutan pengerjaan, (3) kecepatan mengerjakan tugas, (4) kemampuan membaca gambar dan atau simbol, (5) keserasian bentuk dengan yang diharapkan dan atau ukuran yang telah ditentukan.

Dari penjelasan di atas dapat dirangkum bahwa dalam penilaian hasil belajar psikomotor atau keterampilan harus mencakup persiapan, proses, dan produk. Penilaian dapat dilakukan pada saat proses berlangsung yaitu pada waktu peserta didik melakukan praktik, atau sesudah proses berlangsung dengan cara mengetes peserta didik.

Tes untuk mengukur ranah psikomotorik adalah tes untuk mengukur penampilan atau kinerja (*performance*) yang telah dikuasai oleh peserta didik. Tes tersebut dapat berupa tes *paper and pencil*, tes identifikasi, tes simulasi, dan tes unjuk kerja.

1. Tes simulasi

Kegiatan psikomotorik yang dilakukan melalui tes ini, jika tidak ada alat yang sesungguhnya yang dapat dipakai untuk memperagakan penampilan peserta didik, sehingga peserta didik dapat dinilai tentang penguasaan keterampilan dengan bantuan peralatan tiruan atau berperaga seolah-olah menggunakan suatu alat yang sebenarnya.

2. Tes unjuk kerja (*work sample*)

Kegiatan psikomotorik yang dilakukan melalui tes ini, dilakukan dengan sesungguhnya dan tujuannya untuk mengetahui apakah peserta didik sudah



menguasai/terampil menggunakan alat tersebut. Misalnya dalam melakukan praktik pengaturan lalu lintas lalu lintas di lapangan yang sebenarnya

Tes simulasi dan tes unjuk kerja, semuanya dapat diperoleh dengan observasi langsung ketika peserta didik melakukan kegiatan pembelajaran. Lembar observasi dapat menggunakan daftar cek (*check-list*) ataupun skala penilaian (*rating scale*). Psikomotorik yang diukur dapat menggunakan alat ukur berupa skala penilaian terentang dari sangat baik, baik, kurang, kurang, dan tidak baik.

Secara teknis penilaian ranah psikomotor dapat dilakukan dengan pengamatan (perlu lembar pengamatan) dan tes perbuatan.

1. Dalam ranah psikomotorik yang diukur meliputi:
2. Gerak refleks,
3. Gerak dasar fundamen,
4. Keterampilan perseptual; diskriminasi kinestetik, diskriminasi visual, diskriminasi auditoris, diskriminasi taktis, keterampilan perseptual yang terkoordinasi,
5. Keterampilan fisik,
6. Gerakan terampil,
7. Komunikasi non diskusi (tanpa bahasa-melalui gerakan) meliputi: gerakan ekspresif, gerakan interpretatif.

Contoh Penilaian Psikomotor

Contoh Tes Praktik

KD : 4.1 Menyajikan hasil pengukuran besaran fisis dengan menggunakan peralatan dan teknik yang tepat untuk penyelidikan ilmiah

Indikator : 1. Siswa dapat melaporkan hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong.

2. Siswa dapat menggunakan peralatan eksperimen sesuai dgn fungsinya.

3. Siswa dapat menjaga keselamatan alat dan keselamatan jiwa.

4. Siswa dapat membereskan peralatan eksperimen.

5. Siswa dapat menjaga kebersihan lingkungan setelah bereksperimen.



Soal : Ukurlah diameter uang logam Rp 1.000,00 menggunakan jangka sorong

Lembar Pengamatan

No	Nama	Persiapan Percobaan	Pelaksanaan Percobaan	Kegiatan Akhir Percobaan	Jumlah Skor

Rubrik Penilaian

Kriteria	Skor
<ul style="list-style-type: none"> - Mengkalibrasi alat, - Menggunakan semua bagian-bagian jangka sorong dengan benar, - Tidak melakukan kesalahan paralak , - Menemukan cara-cara yang efektif dalam menggunakan jangka sorong, - Hasil pengukuran dalam rentang data yang diijinkan (sesuai data standar), - Laporan ditulis dengan menggunakan notasi ilmiah dan angka penting yang benar. 	4
<ul style="list-style-type: none"> - Mengkalibrasi alat, - Menggunakan semua bagian-bagian jangka sorong dengan benar, - Tidak melakukan kesalahan paralak , - Hasil pengukuran dalam rentang data yang diijinkan (sesuai data standar), 	3



- Laporan ditulis dengan menggunakan notasi ilmiah dan angka penting yang benar.	
- Mengkalibrasi alat, - Menggunakan semua bagian-bagian jangka sorong dengan benar, - Tidak melakukan kesalahan paralak , - Hasil pengukuran dalam rentang data yang diijinkan (sesuai data 1standar).	2
- Mengkalibrasi alat, - Menggunakan semua bagian-bagian jangka sorong dengan benar, - Tidak melakukan kesalahan paralak , - Hasil pengukuran di luar rentang data yang diijinkan (sesuai data standar).	1

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang disarankan dalam mempelajari modul ini adalah melalui diskusi kelompok dan latihan individu. beberapa panduan diskusi kelompok dan latihan individu, disajikan pada bagian E.

E. Latihan/Kasus/Tugas

Latihan mengembangkan instrumen penilaian pengetahuan, sikap, dan keterampilan

Perancangan Penilaian Dalam Pembelajaran Fisika

Tujuan Kegiatan: Melalui kegiatan ini diharapkan peserta mampu merancang instrumen penilaian sikap, pengetahuan dan keterampilan dalam pembelajaran Fisika.

Langkah Kegiatan :

1. Cermati contoh-contoh pengembangan instrumen penilaian kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan serta lembar kerja perancangan instrumen penilaian, diskusikan dalam kelompok!



2. Pilihlah satu subtopik/submateri/subtema untuk dari satu KD, sebaiknya dipilih sesuai dengan subtopik/submateri/subtema yang telah dibahas oleh kelompok Anda sebelumnya
3. Rancanglah contoh instrumen penilaian sikap, pengetahuan dan keterampilan pada format untuk masing-masing bentuk penilaian.
4. Presentasikan hasil kerja kelompok Anda
5. Perbaiki rancangan instrumen penilaian jika ada saran atau usulan perbaikan

1. Instrumen Penilaian Kompetensi Sikap

a. Penilaian Kompetensi Sikap Melalui Observasi

Penilaian Sikap Kegiatan Praktikum/Diskusi

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen:

b. Penilaian Sikap melalui Penilaian Diri

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen:



c. Penilaian Antar Peserta Didik

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____

Instrumen:

d. Penilaian Sikap melalui Jurnal

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____

Instrumen:

2. Instrumen Penilaian Kompetensi Pengetahuan

a. Tes Tulis

1) Soal Pilihan Ganda

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen



2) Soal Uraian

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen

b. Observasi Terhadap Diskusi/ Tanya Jawab

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen

c. Penugasan

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen



3. Instrumen Penilaian Kompetensi Keterampilan

a. Penilaian Praktik

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen

b. Penilaian Proyek

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen

c. Penilaian Produk

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____
Indikator Pencapaian Kompetensi	:	_____

Instrumen:



d. Penilaian Portofolio

Mata Pelajaran	:	_____
Kelas/Semester	:	_____
Kompetensi Dasar	:	_____
Topik/Subtopik	:	_____

Instrumen

F. Rangkuman

Langkah-langkah dalam mengembangkan instrumen : (1) menentukan tujuan tes, (2) menentukan kompetensi yang akan diujikan, (3) menentukan materi yang diujikan, (4) menetapkan penyebaran butir soal berdasarkan kompetensi, materi, dan bentuk penilaiannya, (5) menyusun kisi-kisinya, (6) menulis butir soal, (7) memvalidasi butir soal atau menelaah secara kualitatif, (8) merakit soal menjadi perangkat tes, (9) menyusun pedoman penskorannya (10) uji coba butir soal, (11) analisis butir soal secara kuantitatif dari data empirik hasil uji coba, dan (12) perbaikan soal berdasarkan hasil analisis.

Setiap butir soal yang ditulis harus berdasarkan rumusan indikator soal yang sudah disusun dalam kisi-kisi dan berdasarkan kaidah penulisan soal bentuk obyektif dan kaidah penulisan soal uraian.

Langkah dalam mengembangkan instrumen penilaian afektif, yaitu (1) menentukan spesifikasi instrumen; (2) menulis instrumen; (3) menentukan skala instrumen; (4) menentukan pedoman penskoran; (5) menelaah instrumen; (6) merakit instrumen; (7) melakukan ujicoba; (8) menganalisis hasil ujicoba; (9) memperbaiki instrumen; (10) melaksanakan pengukuran; (11) menafsirkan hasil pengukuran.

Hasil belajar keterampilan dapat diukur mencakup (1) kemampuan menggunakan alat dan sikap kerja; (2) kemampuan menganalisis suatu pekerjaan dan menyusun urutan pengerjaan; (3) kecepatan mengerjakan tugas; (4)



kemampuan membaca gambar dan atau simbol; (5) keserasian bentuk dengan yang diharapkan dan atau ukuran yang telah ditentukan.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah Anda mempelajari modul dan mengikuti kegiatan pembelajaran tentang penilaian grade 3, Anda dapat mengevaluasi diri dengan cara menganalisis kemampuan Anda dalam menyelesaikan soal latihan. Jika Anda dapat mengerjakan soal latihan dengan benar di atas 75%, maka Anda dapat melanjutkan ke materi berikutnya. Tetapi jika di bawah 75% silahkan Anda pelajari ulang materi ini dengan menambah referensi lain untuk pelajari dan berdiskusi untuk memperdalam materi.

KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS

Setelah Anda mencoba untuk mengerjakan soal latihan, silahkan Anda periksa apakah jawaban sudah sesuai dengan rubrik berikut.

Rubrik Perancangan Penilaian dalam Pembelajaran Fisika

Rubrik penilaian ini digunakan fasilitator untuk menilai hasil rancangan instrumen penilaian kompetensi sikap, kompetensi pengetahuan dan kompetensi keterampilan. Pada penilaian kompetensi sikap peserta ditugaskan dalam kelompoknya membuat instrumen observasi, penilaian sikap melalui penilaian diri, penilaian antar peserta didik dan penilaian sikap melalui jurnal. Pada penilaian pengetahuan peserta ditugaskan membuat instrumen tes tertulis (Pilihan Ganda dan Uraian), observasi diskusi, tanya jawab dan percakapan dan penugasan, sedangkan pada penilaian kompetensi keterampilan peserta ditugaskan membuat instrumen penilaian praktik, proyek dan produk dan portofolio.

Langkah-langkah penilaian

1. Cermati tugas yang diberikan kepada peserta pelatihan pada LK 3.3!
2. Berikan nilai pada hasil kerja peserta pelatihan sesuai dengan penilaian Anda terhadap produk tersebut menggunakan kriteria penilaian nilai sebagai berikut

Penilaian Kompetensi Sikap

PERINGKAT	NILAI	KRITERIA
Amat Baik (AB)	$90 < AB \leq 100$	1. Terdapat identitas instrumen : KD, topik, sub topik dengan lengkap 2. Terdapat indikator yang dirumuskan dengan benar 3. Terdapat empat bentuk instrumen penilaian kompetensi sikap 4. Seluruh instrumen penilaian dibuat sesuai kriteria



pengembangannya

Baik (B)	$80 < B \leq 90$	Ada 3 aspek sesuai dengan kriteria, 1 aspek kurang sesuai
Cukup (C)	$70 < C \leq 80$	Ada 2 aspek sesuai dengan kriteria, 2 aspek kurang sesuai
Kurang (K)	≤ 70	Ada 1 aspek sesuai dengan kriteria, 3 aspek kurang sesuai

Penilaian Kompetensi Pengetahuan

PERINGKAT	NILAI	KRITERIA
Amat Baik (AB)	$90 < AB \leq 100$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terdapat identitas instrumen : KD, topik, sub topik dengan lengkap 2. Terdapat indikator yang dirumuskan dengan benar 3. Terdapat tiga bentuk instrumen penilaian kompetensi pengetahuan 4. Seluruh instrumen penilaian dibuat sesuai kriteria pengembangannya
Baik (B)	$80 < B \leq 90$	Ada 3 aspek sesuai dengan kriteria, 1 aspek kurang sesuai
Cukup (C)	$70 < C \leq 80$	Ada 2 aspek sesuai dengan kriteria, 2 aspek kurang sesuai
Kurang (K)	≤ 70	Ada 1 aspek sesuai dengan kriteria, 3 aspek kurang sesuai

Penilaian Kompetensi Keterampilan

PERINGKAT	NILAI	KRITERIA
Amat Baik (AB)	$90 < AB \leq 100$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terdapat identitas instrumen : KD, topik, sub topik dengan lengkap 2. Terdapat indikator yang dirumuskan dengan benar 3. Terdapat empat bentuk instrumen penilaian kompetensi keterampilan 4. Seluruh instrumen penilaian dibuat sesuai kriteria pengembangannya
Baik (B)	$80 < B \leq 90$	Ada 3 aspek sesuai dengan kriteria, 1 aspek kurang sesuai
Cukup (C)	$70 < C \leq 80$	Ada 2 aspek sesuai dengan kriteria, 2 aspek kurang sesuai
Kurang (K)	≤ 70	Ada 1 aspek sesuai dengan kriteria, 3 aspek kurang sesuai

EVALUASI

1. Teknik penilaian yang meminta subyek yang ingin dinilai menilai dirinya sendiri berkaitan dengan status, proses, dan tingkat pencapaian kompetensi yang dipelajarinya dalam mata pelajaran tertentu, adalah
 - A. Penilaian tes
 - B. Penilaian non tes
 - C. Penilaian kinerja
 - D. Penilaian diri
2. Instrument penilaian ranah sikap yang diisi oleh guru selama pelaksanaan pembelajaran melalui aktivitas
 - A. observasi dan pengisian jurnal
 - B. observasi dan penilaian diri
 - C. penilaian teman sejawat dan jurnal
 - D. penilaian diri dan penilaian teman sejawat
3. Salah satu alat penilaian sikap adalah self assessment, kegiatan yang dilakukan adalah
 - A. meminta peserta didik untuk mengemukakan kelebihan dan kekurangan dirinya dalam konteks pencapaian kompetensi
 - B. penilaian dengan menggunakan indera, baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan format
 - C. meminta peserta didik untuk saling menilai terkait dengan sikap dan perilaku keseharian menggunakan lembar penilaian
 - D. mencatat hasil pengamatan tentang kekuatan dan kelemahan peserta didik tentang sikap dan perilaku baik di dalam maupun di luar kelas



4. Beri tanda cek (\surd) sesuai dengan kenyataan yang ada pada dirimu!

No	Pernyataan	Ya	Tidak
1	Saya dapat menyiapkan peralatan untuk percobaan membuat kincir air.		
2	Saya dapat menjelaskan lebih dari dua manfaat sumber energi air dalam kehidupan.		
3	Dst		

Format instrument tersebut adalah contoh format penilaian

- A. diri
 - B. proyek
 - C. produk
 - D. teman sejawat
5. Metode penilaian yang digunakan dalam menilai pencapaian hasil belajar siswa harus disesuaikan dengan aspek yang akan dinilai. Metode apakah yang cocok untuk menilai kemampuan siswa dalam menggunakan basicmeter untuk mengukur kuat arus dan tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik?
- A. Komunikasi internal.
 - B. Tes kinerja.
 - C. Portofolio.
 - D. Tes tertulis.
6. Teknik penilaian yang meminta subyek dinilai dengan cara menampilkan keahliannya berkaitan dengan proses, dan tingkat pencapaian kompetensi yang dipelajarinya dalam mata pelajaran tertentu, adalah
- A. Penilaian tes
 - B. Penilaian non tes
 - C. Penilaian kinerja
 - D. Penilaian diri
7. Instrument penilaian ranah sikap yang tidak diisi oleh guru selama pelaksanaan pembelajaran melalui aktivitas
- A. observasi dan pengisian jurnal
 - B. observasi dan penilaian diri



- C. penilaian teman sejawat dan jurnal
D. penilaian diri dan penilaian teman sejawat
8. Salah satu alat penilaian sikap adalah penilaian teman sejawat, kegiatan yang dilakukan adalah
- A. meminta peserta didik untuk mengemukakan kelebihan dan kekurangan dirinya dalam konteks pencapaian kompetensi
B. penilaian dengan menggunakan indera, baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan format
C. meminta peserta didik untuk saling menilai terkait dengan sikap dan perilaku keseharian menggunakan lembar penilaian
D. mencatat hasil pengamatan tentang kekuatan dan kelemahan peserta didik tentang sikap dan perilaku baik di dalam maupun di luar kelas
9. Beri tanda cek (√) sesuai dengan kenyataan yang ada pada teman satu kelompokmu!

Nama Siswa:

No	Pernyataan	Ya	Tidak
1	Dapat menyiapkan peralatan untuk percobaan membuat motor listrik.		
2	Dapat menjelaskan fungsi bagian-bagian motor listrik.		
3	Dst		

Format instrument tersebut adalah contoh format penilaian

- A. diri
B. proyek
C. produk
D. teman sejawat
10. Metode penilaian yang digunakan dalam menilai pencapaian hasil belajar siswa harus disesuaikan dengan aspek yang akan dinilai. Metode apakah yang cocok untuk menilai kemampuan siswa dalam menganalisis jenis gerak lurus berdasarkan grafik?
- A. Komunikasi internal.
B. Tes kinerja.
C. Portofolio.
D. Tes tertulis.



PENUTUP

Modul G disiapkan untuk kegiatan Guru Pembelajar Kelompok Kompetensi G. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi profesional dan pedagogi yang harus dicapai guru. Anda dapat belajar dan melakukan kegiatan Guru Pembelajar sesuai dengan rambu-rambu/ instruksi yang tertera pada modul berupa: kajian materi, percobaan, studi kasus dan latihan soal. Modul G akan mengarahkan Anda dan fasilitator agar terbangun kolaborasi dan atmosfer akademik selama proses kegiatan pembelajaran.

Dengan mempelajari modul G, diharapkan Anda dapat lebih meningkatkan kompetensi profesional pada lingkup materi Fisika SMA yang termasuk dalam kelompok kompetensi G guru pembelajar Mata pelajaran Fisika SMA, serta Anda dapat lebih meningkatkan kompetensi pedagogi pada lingkup materi Pengembangan Instrumen Penilaian.

Pengetahuan tentang fisika memang cukup sulit dipelajari, namun dengan ketekunan berlatih terhadap pemecahan persoalan-persoalan yang pernah ada dan terlahir dari pengalaman para ilmuwan. Materi-materi fisika, apabila ditekuni untuk dipelajari secara terus menerus dan kontekstual, materi tersebut begitu indah, teratur, penuh dengan tantangan, fantastis, dan membawa kita untuk mendekati diri kepada yang Maha kuasa.

Selain itu pengetahuan pedagogi merupakan pengetahuan pendukung di dalam mengajarkan materi substansi kepada siswa. Pengetahuan pedagogi tidak terlalu sulit dipelajari, hanya memerlukan proses latihan yang terus menerus, sehingga kompetensi pedagogi dapat dicapai secara terlatih dan mahir.

Untuk pencapaian kompetensi pada modul G ini, Anda diharapkan secara aktif menggali informasi, memecahkan masalah dan berlatih soal-soal evaluasi yang tersedia pada modul. Harapan penulis, Anda akan terbantu dalam upaya peningkatan penguasaan materi fisika, khususnya dalam peningkatan pemahaman konsep. Pada akhirnya, peningkatan kompetensi



profesionalisme dan pedagogi Anda akan berdampak terhadap prestasi belajar siswa melalui implementasi pembelajaran di kelas.

Tak ada gading yang tak retak, tentunya isi modul G ini masih jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan saran-saran yang konstruktif untuk perbaikan lebih lanjut. Sekian dan terima kasih, semoga sukses.

DAFTAR PUSTAKA

- Ana Ratna Wulan. 2013. Penilaian Proses dan Hasil Belajar Kurikulum 2013. Bahan Paparan: Disajikan dalam workshop pembahasan dan finalisasi naskah pendukung pembelajaran, Direktorat Pembinaan SMA.
- Arifin, Z. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung; PT. Remaja Rosdakarya
- Asmawi Zainul & Noehi Nasoetion. 1993. *Penilaian Hasil Belajar*, Depdikbud Antar Universitas.
- Bernie, T and Charles, F. 2009. 21st Century Skills: Learning for Life in Our Times. John Wiley & Sons.
- Binkley, Marilyn et al. 2012. Defining Twenty-First Century Skills. Dalam Griffin, P., Care, E., & McGaw, B (eds), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (pp.17-66). London: Springer.
- Budikase, E, dan Kertiasa, N. 1995. Fisika 1 dan 2, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta : Pusat Perbukuan
- Budi Jatmiko, Wahono Widodo, Wasis, 2002. *Evaluasi Pembelajaran IPA-Fisika, Modul: Fis D-01*, Direktorat SLTP Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Hidayat, W.. 2007. *Penilaian Kinerja Berupa Produk Dari Kegiatan Field Trip Model Pengelompokan Wheeler & Dunleavy*, Bandung, Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA – UPI
- Majid, A. 2014. *Penilaian Autentik Proses dan hasil Belajar*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Mardapi, Dj. dan Ghofur, A,. 2004. *Pedoman Umum Pengembangan Penilaian. Kurikulum Berbasis Kompetensi SMA*. Jakarta: Direktorat Pendidikan Menengah Umum.
- Poerwanti, E. 2012. *Standar Penilaian Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP)*. Diunduh dari <http://staff.unila.ac.id/ngadimunhd/files/2012/03/2-Standar-Penilaian-Sesuai-BSNP.pdf>.



- Rantawulan, A. 2015. *Pengertian dan Esensi Konsep Evaluasi, Assesment, Tes, dan Pengukuran*, diunduh dari http://file.upi.edu/Direktori/SPS/PRODI.PENDIDIKAN_IPA/19740417199_9032-ANA_RATNAWULAN/pengertian_asesmen.pdf.
- Ratnawulan, A., 2008. *Penilaian Proses dan Hasil Pembelajaran Biologi* (Materi Perkuliahan Evaluasi Pembelajaran). Bandung: Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA – UPI.
- Safari, M.A., 2005. *Penulisan Butir Soal Berdasarkan Penilaian Berbasis Kompetensi*. Asosiasi Pengawas Sekolah Indonesia: DEPDIKNAS.
- Surapranata, S dan Hatta, M. 2006. *Penilaian Portofolio: Implementasi Kurikulum 2004*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- BNSP. 2006. *Standar Kompetensi Mata pelajaran IPA untuk SD/MI*, Jakarta: BNSP.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, *Soal-soal Evaluasi Belajar Tahap Akhir Nasional (Ebtanas) Tahun 1986 sampai dengan 1998*.
- Depdikbud. 1999. *Ilmu Pengetahuan, Populer Jilid 5, Ilmu Fisika & Biologi Umum*. Jakarta : Widyadara.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2007. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2007 Tentang Standar Penilaian Pendidikan*.
- Departemen Pendidikan Nasional. *Kurikulum 2006, Standar Kompetensi Mata Pelajaran Fisika SMA dan MA*. Jakarta : 2006
- Kemdikbud. 2013. *Permendikbud 54 tahun 2013 tentang Standar Kompetensi Lulusan Pendidikan Dasar Dan Menengah*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- Kemdikbud. 2013. *Permendikbud 64 tahun 2013 tentang Standar Isi Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- Kemdikbud. 2014. *Permendikbud No. 104 Tahun 2014 tentang Penilaian Hasil Belajar oleh Pendidik pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- Kemdikbud. 2014. *Permendikbud No. 104 Tahun 2014 tentang Penilaian Hasil Belajar oleh Pendidik pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan



- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. 2014. Peraturan Menteri Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 104 Tahun 2014 Tentang Penilaian Hasil Belajar Oleh Pendidik Pada Pendidikan Dasar Dan Pendidikan Menengah
- Kementerian Pendidikan Nasional. 2007. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2007 Tentang Standar Penilaian Pendidikan.*
- Pedoman Pengembangan Portofolio untuk Penilaian. 2004. Departemen Pendidikan Nasional: Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Direktorat Pendidikan Menengah Umum.
- Penilaian Autentik Pada Proses dan Hasil Belajar. 2013. Hand out 2.3.1 Pelatihan Instruktur Nasional Implementasi Kurikulum 2013. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 53 Tahun 2015 tentang Penilaian Hasil Belajar oleh Pendidik dan Satuan Pendidikan pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah.
- Petunjuk Teknis Pengembangan Perangkat Penilaian. 2010. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMA.
- Petunjuk Teknis Rancangan Penilaian Hasil Belajar. 2010. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMA.



GLOSARIUM

test	:	alat atau prosedur yang digunakan untuk mengetahui atau mengukur sesuatu dengan menggunakan cara atau aturan yang telah ditentukan
measurement	:	pemberian angka terhadap suatu atribut atau karakter tertentu yang dimiliki oleh seseorang, atau suatu obyek tertentu yang mengacu pada aturan dan formulasi yang jelas
evaluation	:	proses yang sistematis untuk menentukan atau membuat keputusan sampai sejauh mana tujuan-tujuan pengajaran telah dicapai oleh siswa
mastery learning	:	pembelajaran tuntas
receiving	:	memiliki keinginan memperhatikan suatu fenomena khusus atau stimulus
valuing	:	sikap yang menunjukkan derajat internalisasi dan komitmen





**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**

DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

**MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)**

KELOMPOK KOMPETENSI G

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK, RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK, DAN CAHAYA

**Penulis:
Drs. Kandi, MA.**



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016**

MODUL GURU PEMBELAJAR

**MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)**

KELOMPOK KOMPETENSI G

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK, RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK, DAN CAHAYA

**Penulis:
Drs. Kandi, MA**



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

**MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)**

KELOMPOK KOMPETENSI G

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK, RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK, DAN CAHAYA

Penanggung Jawab
Dr. Sediono Abdullah

Penyusun
Dr. Kandi, M.A. 022-4231191 *fkandi@yahoo.com*

Penyunting
Drs. Iwan Heryawan, M.Si.

Penelaah
Dr. Setia Utari (Universitas Pendidikan Indonesia)
Prof. Triyanta (Institut Teknologi Bandung)

Penata Letak
Nurul Atma Vita, S.Pd.

Copyright © 2016

*Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA),
Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui program Guru Pembelajar merupakan upaya peningkatan kompetensi untuk semua guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui uji kompetensi guru (UKG) untuk kompetensi pedagogi dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG melalui program Guru Pembelajar. Tujuannya untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Guru Pembelajar dilaksanakan melalui pola tatap muka, dalam jaringan atau daring (*online*), dan campuran (*blended*) tatap muka dengan online.

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan dan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK), dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut



adalah modul untuk program Guru Pembelajar tatap muka dan Guru Pembelajar online untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Guru Pembelajar memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru.

Mari kita sukseskan program Guru Pembelajar ini untuk mewujudkan “Guru Mulia Karena Karya.”

Jakarta, Februari 2016

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D.

NIP. 195908011985032001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Guru Pembelajar Mata Pelajaran IPA SMP, Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif.

Modul Guru Pembelajar disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru paska UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Guru Pembelajar untuk masing-masing mata pelajaran dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar, dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.



Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau ke: p4tkipa@yahoo.com.

Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara, Staf PPPPTK IPA, Dosen, Guru, dan Kepala Sekolah serta Pengawas Sekolah yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan kompetensi guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2016
Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.
NIP. 195909021983031002



DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
PENDAHULUAN	
	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	4
E. Saran Cara Penggunaan Modul	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN	
I. INDUKSI ELEKTROMAGNETIK	7
A. Tujuan	7
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	8
C. Uraian Materi	8
D. Aktivitas Pembelajaran	26
E. Latihan/Kasus/Tugas	29
F. Rangkuman	31
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	32
II. LISTRIK ARUS BOLAK BALIK	33
A. Tujuan	33
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	33
C. Uraian Materi	34
D. Aktivitas Pembelajaran	56
E. Latihan/Kasus/Tugas	62
F. Rangkuman	63
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	64



III. CAHAYA	65
A. Tujuan	65
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	65
C. Uraian Materi	66
D. Aktivitas Pembelajaran	75
E. Latihan/Kasus/Tugas	77
F. Rangkuman	77
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	78
KUNCI JAWABAN	79
EVALUASI	83
PENUTUP	89
DAFTAR PUSTAKA	91
GLOSARIUM	93

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1	Tabel 2.1. Rentang spektrum elektromagnetik dan sumbernya 55
Tabel 3.1	Tabel 3.1 Perbesaran pada Cermin 73

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1	Proses terjadinya ggl induksi 9
Gambar 1.2	Percobaan Faraday 10
Gambar 1.3	Loop konduktor 11



Gambar 1.4	Gitar Listrik	12
Gambar 1.5	Konduktor yang bergerak dalam medan magnet	13
Gambar 1.6	Kumparan tertutup dalam medan magnet	14
Gambar 1.7	Hukum Lenz	15
Gambar 1.8	Skema diagram generator AC	17
Gambar 1.9	GGL induksi bolak balik yang dihasilkan oleh loop kawat yang berputar di dalam medan magnetik	18
Gambar 1.10	Skema diagram generator DC	18
Gambar 1.11	Motor	19
Gambar 1.12	Transformator <i>step up</i>	20
Gambar 1.13	Induktansi bersama	21
Gambar 1.14	Induktansi diri	23
Gambar 1.15	Rangkaian seri LR	24
Gambar 1.16	Grafik pada rangkaian seri LR	25
Gambar 2.1	Grafik tegangan dan arus bolak balik terhadap waktu	34
Gambar 2.2	Daya pada rangkaian AC	35
Gambar 2.3	Diagram fasor untuk tegangan	37
Gambar 2.4	Rangkaian resistif murni	37
Gambar 2.5	Diagram fasor dan grafik untuk arus dan tegangan pada rangkaian resistif murni	38
Gambar 2.6	Rangkaian kapasitif murni	38
Gambar 2.7	Diagram fasor dan grafik untuk arus dan tegangan pada rangkaian kapasitif murni	39
Gambar 2.8	Grafik hambatan terhadap frekuensi	40
Gambar 2.9	Grafik reaktansi kapasitif terhadap frekuensi	41
Gambar 2.10	Rangkaian induktif murni	41
Gambar 2.11	Diagram fasor dan grafik untuk arus dan tegangan pada rangkaian induktif murni	42



Gambar 2.12	Grafik reaktansi induktif terhadap frekuensi	43
Gambar 2.13	Rangkaian RC seri dan diagram fasor arus dan tegangan	43
Gambar 2.14	Rangkaian RL seri dan diagram fasor arus dan tegangan	44
Gambar 2.15	Rangkaian RLC seri dan diagram fasor arus dan tegangan	45
Gambar 2.16	Diagram fasor impedansi	47
Gambar 2.17	Diagram fasor untuk sifat rangkaian induktif, kapasitif, resistif	48
Gambar 2.18	Rangkaian pada frekuensi sangat kecil	49
Gambar 2.19	Grafik impedansi, arus dan frekuensi pada rangkaian seri RLC	50
Gambar 2.20	Pengaruh hambatan pada arus di dalam rangkaian seri RLC	50
Gambar 2.21	Gelombang elektromagnetik	52
Gambar 2.22	Eksperimen Hertz	53
Gambar 2.23	Spektrum Elektromagnetik	54
Gambar 3.1	Gambar 3.1 Pemantulan teratur dan pemantulan baur	68
Gambar 3.2	Gambar 3.2 Hukum pemantulan	68
Gambar 3.3	Gambar 3.3 Ukuran dan jarak bayangan pada cermin datar	69
Gambar 3.4	Gambar 3.4 Diagram pembentukan bayangan pada cermin datar	69
Gambar 3.5	Gambar 3.5 Sinar-sinar sejajar pada cermin cekung	69
Gambar 3.6	Gambar 3.6 Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung	70
Gambar 3.7	Gambar 3.7 Pembentukan bayangan pada cermin cekung	71
Gambar 3.8	Gambar 3.8 Cermin cembung bersifat menyebarkan sinar	72
Gambar 3.9	Gambar 3.9 Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung	72
Gambar 3.10	Gambar 3.10 Pemantulan sempurna	74
Gambar 3.11	Gambar 3.11 Pemantulan sempurna pada serat optik	75

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Guru merupakan tenaga profesional yang bertugas merencanakan dan melaksanakan proses pembelajaran, menilai hasil pembelajaran, melakukan pembimbingan dan pelatihan. Untuk melaksanakan tugas tersebut, Guru dituntut mempunyai empat kompetensi yang mumpuni, yaitu kompetensi pedagogik, profesional, sosial, dan kepribadian. Agar kompetensi Guru tetap terjaga dan meningkat Guru mempunyai kewajiban untuk selalu memperbaharui dan meningkatkan kompetensinya melalui kegiatan pengembangan keprofesian berkelanjutan sebagai esensi pembelajar seumur hidup. Salah satu kegiatan pengembangan keprofesian adalah mengikuti pendidikan dan pelatihan.

Keikutsertaan Guru dalam pelatihan harus difasilitasi oleh pemerintah, dalam hal ini dilakukan oleh Kemdikbud melalui unit-unit pelaksana teknis di bawahnya, yaitu PPPPTK. PPPPTK untuk melaksanakan kegiatan fasilitasi peningkatan kompetensi guru menyiapkan dan mengembangkan bahan ajar diantaranya dalam bentuk modul. Modul-modul diperuntukkan bagi Guru yang dapat digunakan dalam pembelajaran tatap muka maupun on line.

Modul-modul untuk pembelajaran tatap muka bagi guru pembelajar terdiri atas sepuluh (10) kelompok. Pengelompokan modul ini didasarkan pada pengelompokan kompetensi profesional dan pedagogi, pengelompokan diberi label Kelompok Kompetensi A s.d. J. Setiap modul berisikan pembahasan materi profesional dan pedagogi yang ditetapkan di dalam pemetaan standar kompetensi guru fisika. Setiap materi bahasan dikemas dalam kegiatan pembelajaran yang memuat tujuan, indikator hasil belajar, uraian materi, aktivitas pembelajaran, latihan/tugas, rangkuman, umpan balik dan tindak lanjut, serta kunci jawaban.



Di dalam modul kelompok kompetensi G ini, pada bagian pendahuluan diinformasikan tujuan secara umum yang harus dicapai oleh guru pembelajar setelah mengikuti pelatihan, peta kompetensi yang harus dikuasai guru pada kelompok kompetensi G, ruang lingkup, dan saran penggunaan modul. Setelah guru mempelajari modul ini diakhiri dengan evaluasi untuk pengujian diri.

B. Tujuan

Setelah guru peserta pelatihan kelompok kompetensi G belajar dengan modul ini diharapkan memahami materi kompetensi profesional, berkaitan dengan kajian materi pembelajaran fisika topik induksi elektromagnetik, arus listrik bolak balik, gelombang elektromagnetik, dan cahaya.

C. Peta Kompetensi

Kompetensi Inti yang diharapkan setelah guru peserta pelatihan belajar dengan modul ini adalah memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori berkaitan dengan topik induksi elektromagnetik, arus listrik bolak balik, gelombang elektromagnetik, dan cahaya.

Kompetensi Guru Mata Pelajaran dan Indikator Pencapaian Kompetensi yang diharapkan tercapai melalui belajar dengan modul ini adalah:

Kompetensi Guru Mapel

20.1 Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel

Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)

1. Menjelaskan konsep ggl berdasarkan percobaan induksi elektromagnetik
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya ggl induksi
3. Menjelaskan cara menghasilkan ggl induksi dalam kumparan
4. Menggunakan persamaan hukum Faraday dalam perhitungan
5. Memberikan contoh aplikasi hukum Faraday dalam kehidupan sehari-hari
6. Menghitung besar ggl induksi pada konduktor yang bergerak di dalam medan magnetik



7. Menentukan arah arus induksi dalam kumparan berdasarkan hukum Lenz
8. Menjelaskan cara kerja generator berdasarkan konsep induksi elektromagnetik
9. Menjelaskan cara kerja transformator berdasarkan konsep induksi elektromagnetik
10. Menghitung efisiensi transformator
11. Menjelaskan peristiwa induksi bersama
12. Mengidentifikasi besaran-besaran yang menentukan induktansi bersama
13. Menganalisis energi di dalam medan magnetik
14. Menganalisis besaran-besaran yang terkait rangkaian RLC
15. Menganalisis besarnya daya pada rangkaian RLC
16. Menggunakan persamaan rangkaian arus listrik bolak balik dalam perhitungan
17. Menjelaskan konsep resonansi dalam rangkaian RLC
18. Memberikan contoh penerapan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari
19. Membedakan teori-teori tentang cahaya yang dikemukakan oleh para ilmuwan
20. Menjelaskan percobaan-percobaan tentang cahaya yang pernah dilakukan oleh para ilmuwan
21. Menentukan sifat bayangan pada cermin datar
22. Menentukan sifat bayangan pada cermin lengkung

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup materi pada Modul ini adalah:

Bagian pendahuluan berisi paparan tentang latar belakang modul kelompok kompetensi G, tujuan belajar dengan modul ini, kompetensi guru yang diharapkan dicapai setelah belajar dengan modul ini, ruang lingkup dan saran penggunaan modul. Bagian kegiatan pembelajaran 1, kegiatan pembelajaran 2,



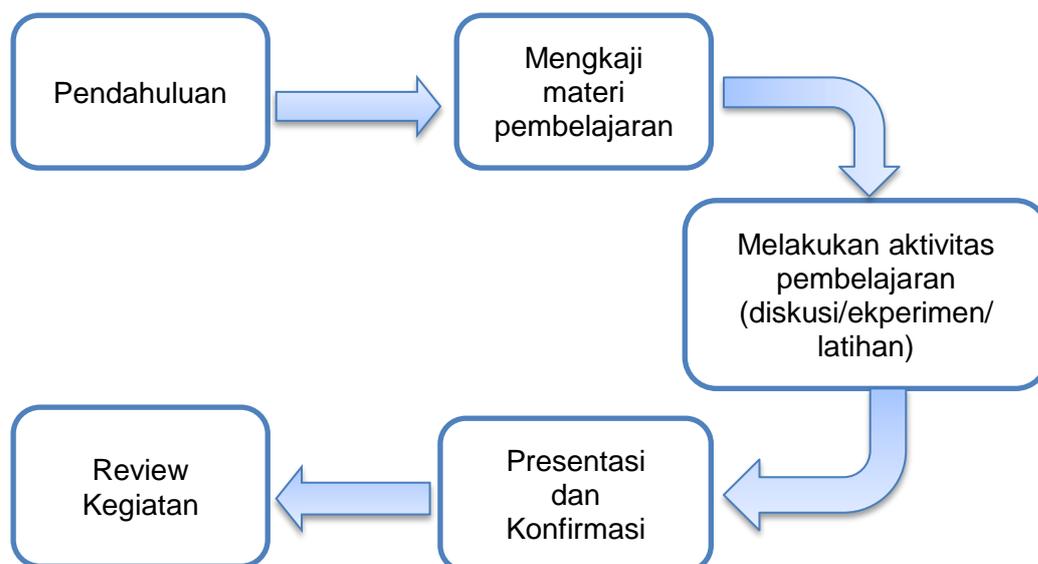
dan seterusnya sampai materi n berisi Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut dan Kunci Jawaban. Bagian evaluasi yang dilengkapi kunci jawabannya agar guru peserta melakukan *self assesment* sebagai tolak ukur untuk mengetahui keberhasilan diri sendiri dan bagian penutup.

Rincian materi pada modul adalah sebagai berikut.

1. Induksi Elektromagnetik meliputi hukum Faraday dan ggl induksi, gerak konduktor pada medan magnet, generator dan motor listrik, mutual induksi, induksi diri, energi magnet, dan transformator.
2. Arus Listrik Bolak Balik dan Gelombang Elektromagnetik meliputi arus bolak-balik; arus dan tegangan efektif (RMS), arus ac pada induktansi murni, arus ac pada kapasitansi murni, impedansi rangkaian seri, disipasi daya pada arus ac, resonansi, dan gelombang elektromagnetik.
3. Cahaya meliputi cahaya alam, sinar dan bayangan, sumber cahaya, sifat-sifat sumber cahaya, pemantulan dan cermin; hukum pemantulan, cermin cembung/cekung.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Cara penggunaan modul pada setiap Kegiatan Pembelajaran secara umum sesuai dengan skenario setiap penyajian mata pembelajaran. Langkah-langkah belajar secara umum adalah sbb.





Deskripsi Kegiatan

1. Pendahuluan

Pada kegiatan pendahuluan fasilitator memberi kesempatan kepada peserta untuk mempelajari :

- latar belakang yang memuat gambaran materi pembelajaran
- tujuan penyusunan modul mencakup tujuan semua kegiatan pembelajaran setiap materi pembelajaran
- kompetensi atau indikator yang akan dicapai atau ditingkatkan melalui modul.
- ruang lingkup berisi materi kegiatan pembelajaran 1, kegiatan pembelajaran 2, dan kegiatan pembelajaran 3
- langkah-langkah penggunaan modul

2. Mengkaji materi pembelajaran

Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada peserta untuk mempelajari materi yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Peserta dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok

3. Melakukan aktivitas pembelajaran

Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/intruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, melakukan eksperimen, latihan dsb.

Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan data dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan

4. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi dibahas bersama

5. Review Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji mereview materi



KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Induksi elektromagnetik merupakan fenomena yang menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara medan magnet dan medan listrik. Penemuan konsep ini membuka cakrawala dunia dalam pengembangan teknologi listrik dan komunikasi. Salah satu penerapan terpenting dari induksi elektromagnetik adalah pengembangan generator listrik atau dinamo dan transformator. Transformator merupakan salah satu alat yang akrab dengan kehidupan kita yang berfungsi menurunkan dan menaikkan tegangan begitu pula generator sebagai pembangkit listrik menjadi salah satu alat yang tidak bisa diabaikan dalam proses pembangkitan listrik hingga sampai ke rumah-rumah. Oleh karena itu pengetahuan tentang induksi elektromagnetik sangatlah penting untuk dipahami sebagai langkah awal ke pemahaman tentang pengetahuan-pengetahuan fisika lain yang merupakan turunannya.

Pengetahuan induksi elektromagnetik pada hakekatnya sama dengan pengetahuan-pengetahuan fisika lainnya, memerlukan cara berfikir sistematis, logis, dan analitis. Pengetahuan tentang induksi elektromagnetik memang cukup sulit dipelajari, namun dengan ketekunan berlatih terhadap pemecahan persoalan-persoalan yang pernah ada, dan terlahir dari pengalaman para saintis, penguasaan terhadap materi ini sama saja dengan terhadap materi-materi fisika lainnya, setelah ditekuni rasanya materi ini begitu indah, teratur, penuh dengan tantangan, fantastis, dan membawa kita untuk mendekati diri kepada yang Maha kuasa pencipta segala-galanya.

A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini diharapkan peserta dapat memahami materi induksi elektromagnetik; hukum Faraday dan ggl induksi, gerak konduktor pada medan magnet, generator dan motor listrik, mutual induksi, induksi diri, energi magnet, dan transformator.



B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan konsep ggl berdasarkan percobaan induksi elektromagnetik.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya ggl induksi.
3. Menjelaskan cara menghasilkan ggl induksi dalam kumparan.
4. Menggunakan persamaan hukum Faraday dalam perhitungan.
5. Memberikan contoh aplikasi hukum Faraday dalam kehidupan sehari-hari.
6. Menghitung besar ggl induksi pada konduktor yang bergerak di dalam medan magnetik.
7. Menentukan arah arus induksi dalam kumparan berdasarkan hukum Lenz.
8. Menjelaskan cara kerja generator berdasarkan konsep induksi elektromagnetik.
9. Menjelaskan cara kerja transformator berdasarkan konsep induksi elektromagnetik.
10. Menghitung efisiensi transformator.
11. Menjelaskan peristiwa induksi bersama.
12. Mengidentifikasi besaran-besaran yang menentukan induktansi bersama.
13. Menganalisis energi di dalam medan magnetik.

C. Uraian Materi

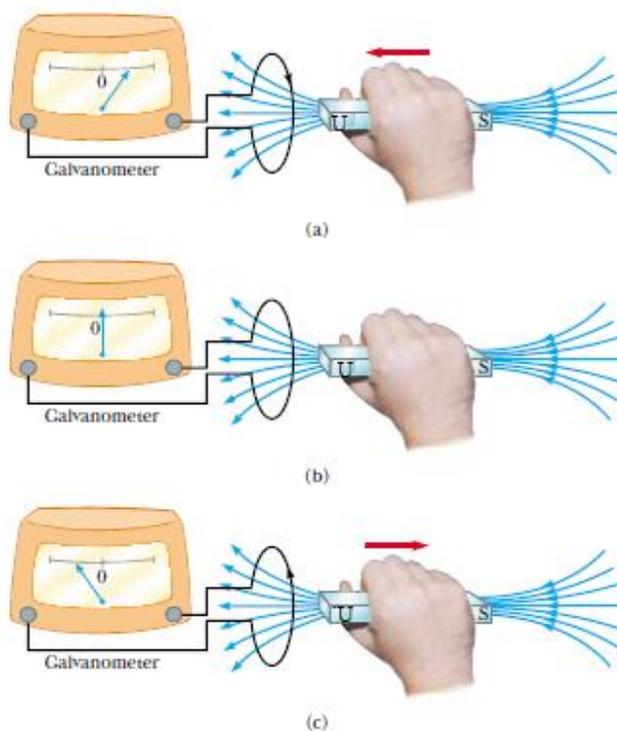
Pada tahun tahun 1820 – 1821 ditemukan dua konsep penting dalam listrik dan magnet yaitu (1) arus listrik menghasilkan medan magnetik, dan (2) medan magnetik memberikan gaya pada arus listrik atau muatan listrik yang bergerak. Akibat penemuan ini para ilmuwan mulai berpikir bahwa jika arus listrik menghasilkan medan magnetik, mungkinkah medan magnetik menghasilkan arus listrik? Sepuluh tahun kemudian pertanyaan ini terjawab oleh fisikawan Amerika, Joseph Henry (1797 – 1878) dan fisikawan Inggris, Michael Faraday (1791 – 1867) di mana mereka secara terpisah menemukan bahwa medan magnetik dapat menghasilkan arus listrik. Terjadinya arus listrik dalam kumparan hanya terjadi jika ada perubahan jumlah garis-garis gaya yang menembus kumparan tersebut. Peristiwa timbulnya ggl pada ujung-ujung kawat penghantar bila terjadi laju perubahan jumlah garis-garis gaya magnet yang dilingkupi kumparan dinamakan **induksi elektromagnetik**. Beda potensial yang terjadi pada ujung-ujung kumparan disebut **ggl induksi (gaya gerak listrik induksi)** dan arus listrik yang timbul disebut **arus listrik induksi**.



1. GGL Induksi dan Hukum Faraday

Percobaan yang dilakukan oleh Michael Faraday di Inggris pada tahun 1831 dan secara terpisah oleh Joseph Henry di Amerika Serikat pada tahun yang sama, peristiwa tersebut menunjukkan bahwa ggl akan timbul jika terjadi laju perubahan fluks. Seperti yang akan kita lihat, ggl dapat diinduksi dalam banyak cara-misalnya, dengan menggerakkan batang magnet kedalam kumparan, menggerakkan batang kumparan ke dalam medan magnet tetap, atau memutar lilitan kawat di dalam medan magnet tetap.

Mari kita perhatikan bagaimana ggl dapat diinduksi oleh medan magnetik yang berubah. Gambar 1.1 menunjukkan sebuah loop kawat yang terhubung ke sebuah galvanometer. Ketika magnet batang digerakkan ke arah loop, jarum galvanometer menyimpang ke arah kanan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1a. Ketika magnet batang ditarik menjauhi loop, jarum galvanometer menyimpang ke arah yang berlawanan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1c. Ketika magnet diam terhadap loop, jarum galvanometer tidak menyimpang (Gambar 1.1b). Penyimpangan jarum juga terjadi jika magnet diam dan loop yang digerakkan baik menuju atau menjauhi magnet.



Gambar 1.1. (a) Ketika sebuah magnet digerakkan ke dalam loop kawat yang terhubung ke sebuah galvanometer, jarum galvanometer menyimpang hal ini menunjukkan adanya arus induksi dalam loop kawat. (b) Ketika magnet diam terhadap loop, tidak ada arus induksi dalam loop. (c) Ketika magnet digerakkan menjauhi loop, jarum galvanometer menyimpang ke arah yang berlawanan, menunjukkan bahwa arus induksi mengalir dalam arah yang berlawanan.

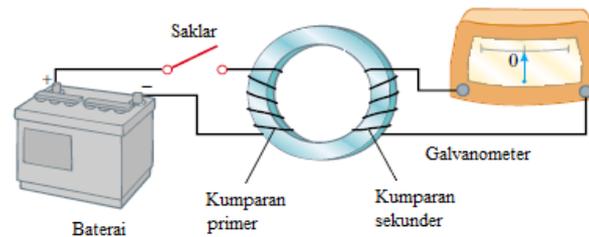
Sumber: Halliday, D., Resnick, R. (1988). *Fundamentals of Physics*

Dari percobaan ini, dapat kita simpulkan bahwa jarum galvanometer akan menyimpang jika terjadi perubahan fluks (garis gaya magnet) di dalam loop. Hasil ini sangat luar biasa karena fakta menunjukkan bahwa timbul arus dalam loop kawat walaupun tidak ada baterai dalam



rangkaian tersebut. Arus yang timbul akibat perubahan medan magnetik ini disebut arus induksi karena diproduksi oleh ggl induksi.

Selanjutnya mari kita perhatikan percobaan yang dilakukan oleh Faraday seperti diilustrasikan pada Gambar 1.2.



Sumber: Halliday, D., Resnick, R. (1988). *Fundamentals of Physics*

Gambar 1.2. Percobaan Faraday. Ketika saklar di rangkaian primer ditutup, jarum galvanometer di rangkaian sekunder menyimpang sesaat. GGLI induksi di rangkaian sekunder disebabkan oleh medan magnetik yang berubah melalui kumparan sekunder.

Kumparan primer dihubungkan dengan baterai dan dililitkan pada cincin logam, dan ketika saklar ditutup arus dalam kumparan akan menghasilkan medan magnetik. Kumparan sekunder juga dililitkan pada cincin dan dihubungkan ke galvanometer. Tidak ada baterai yang terhubung ke kumparan sekunder dan kumparan sekunderpun tidak terhubung ke kumparan primer jadi pasti tidak akan ada arus listrik yang terdeteksi oleh galvanometer. Tapi ketika saklar pada kumparan primer tiba-tiba ditutup atau dibuka ternyata jarum galvanometer menyimpang hal ini menunjukkan bahwa ada arus pada kumparan sekunder.

Arah penyimpangan jarum galvanometer pada saat saklar ditutup berlawanan arah dengan simpangan jarum ketika saklar dibuka dan jarum akan berhenti bergerak jika tidak ada arus dalam kumparan primer. Mengapa terjadi demikian? Pada saat saklar ditutup, arus dalam kumparan primer menghasilkan medan magnetik di daerah kumparan tersebut, dan medan magnetik ini menginduksi daerah kumparan sekunder. Ketika saklar ditutup dan dibuka maka akan terjadi perubahan besar arus, hal ini menyebabkan terjadi perubahan medan magnetik di dalam kumparan. Perubahan medan magnetik ini menimbulkan arus induksi di dalam kumparan sekunder.

Berdasarkan percobaan ini, Faraday menyimpulkan bahwa arus listrik dapat diinduksikan ke dalam kumparan sekunder dengan cara mengubah besar medan magnetik yang menembus kumparan tersebut. Secara umum Faraday mengemukakan hukumnya tentang induksi yaitu: **besarnya ggl induksi yang timbul pada ujung-ujung kumparan sebanding dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya.**



Pernyataan ini dinyatakan secara matematik sebagai:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

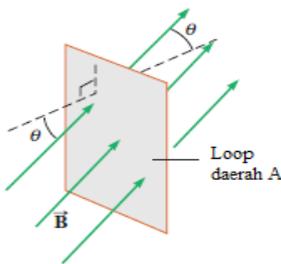
di mana $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$, yaitu fluks magnetik melalui rangkaian.

Jika rangkaian terdiri dari N lilitan, maka besar ggl induksi total yang timbul dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

ε dinyatakan dalam volt jika $\frac{d\Phi_B}{dt}$ dalam Wb/s. Tanda negatif (-) pada persamaan tersebut menandakan bahwa arah arus induksi yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnetik induksi yang berlawanan dengan perubahan medan magnetik penyebabnya (hukum Lenz).

Misalkan loop meliputi daerah A terletak pada medan magnetik seragam B, seperti tampak pada Gambar 1.3. Fluks magnetik melalui loop sama dengan $BA \cos \theta$.



Gambar 1.3. Sebuah loop konduktor yang melingkupi daerah A ditembus oleh medan magnet seragam B. Sudut antara B dan normal loop adalah θ .

Oleh karena itu ggl induksi dapat dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(BA \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

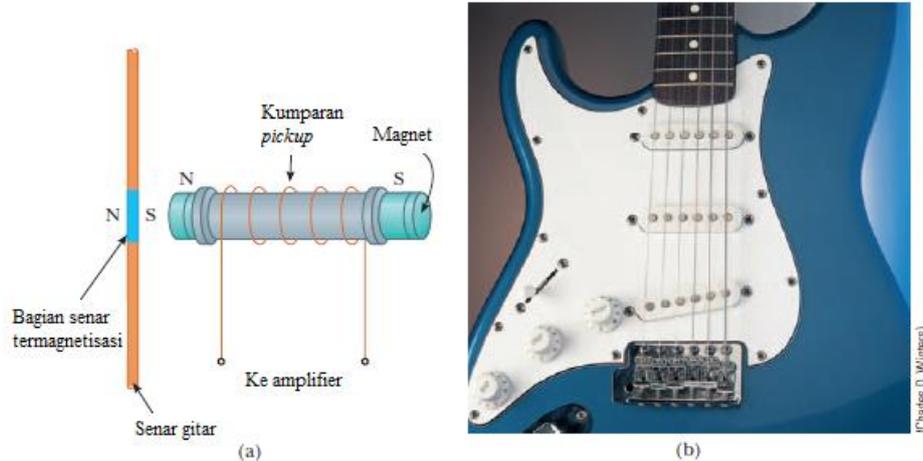
Dari persamaan ini, kita melihat bahwa ggl dapat diinduksikan dalam kumparan melalui beberapa cara:

- Mengubah besarnya induksi magnetik (B) terhadap waktu.
- Mengubah luas bidang kumparan yang melingkupi garis gaya medan magnetik terhadap waktu.
- Mengubah sudut antara arah medan magnetik dengan garis normal bidang kumparan terhadap waktu.
- Gabungan perubahan dari besaran-besaran di atas.

Aplikasi yang menarik dari hukum Faraday adalah produksi suara dalam sebuah gitar listrik (Gambar 1.4). Kumparan dalam kasus ini, disebut kumparan *pickup*, ditempatkan di dekat senar gitar, yang terbuat dari logam yang dapat dimagnetisasi. Sebuah magnet permanen di dalam kumparan memagnetisasi bagian senar yang terdekat ke kumparan.



Ketika senar bergetar pada beberapa frekuensi, bagian yang termagnetisasi menghasilkan fluks magnet yang berubah melalui kumparan. Perubahan fluks menginduksikan ggl dalam kumparan yang diumpankan ke amplifier. Keluaran dari amplifier dikirim ke penguat suara, yang menghasilkan gelombang suara yang kita dengar.



Sumber: Halliday, D., Resnick, R. (1988). *Fundamentals of Physics*

Gambar 1.4. (a) Dalam sebuah gitar listrik, senar magnetisasi bergetar menginduksikan ggl dalam kumparan *pickup*. (b) *pickup* (lingkaran di bawah senar logam) dari gitar listrik ini mendeteksi getaran senar dan mengirimkan informasi ini melalui sebuah amplifier dan ke speaker. (Sebuah *switch* pada gitar memungkinkan musisi untuk memilih enam set pickup yang ada.)

Contoh 1

Sebuah kumparan terdiri dari 50 lilitan ditarik dalam waktu 0,020 sekon dari kutub magnet yang memiliki fluks magnetik $3,1 \times 10^{-4}$ Wb ke kutub magnet lain yang memiliki fluks magnetik $0,10 \times 10^{-4}$ Wb. Tentukan rata-rata ggl induksi di dalam kumparan tersebut!

Penyelesaian

$$|\varepsilon| = N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = 50 \frac{(3,1 - 0,10) \times 10^{-4} \text{ Wb}}{0,020 \text{ s}} = 0,75 \text{ V}$$

Contoh 2

Sebuah kumparan segi empat terdiri dari 100 lilitan kawat dengan total hambatan $2,0 \Omega$. Panjang sisi-sisi kumparan 18 cm, dan medan magnetik tegak lurus menembus kumparan tersebut. Jika medan magnetik berubah dari 0 sampai 0,50 T dalam 0,8 detik, berapa besar ggl induksi dalam kumparan selama perubahan medan magnetik tersebut?



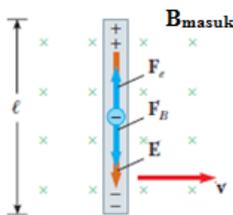
Penyelesaian:

$$|\varepsilon| = N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = NA \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$= (100)(0,18 \times 0,18)m^2 \frac{(0,5 T - 0 T)}{0,8 s} = 2,025 \frac{Tm^2}{s} = 2,025 V$$

2. GGL Induksi pada Konduktor yang Bergerak dalam Medan Magnetik

Contoh 1 dan 2 adalah kasus dimana ggl induksi dihasilkan dalam kumparan ketika medan magnetik berubah terhadap waktu. Pada bagian ini, kita akan membahas ggl induksi yang muncul dalam konduktor yang bergerak melalui medan magnetik. Untuk itu coba perhatikan sebuah konduktor lurus panjang bergerak dengan kecepatan konstan melalui medan magnetik seragam yang menembus masuk halaman buku seperti tampak pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Sebuah konduktor listrik lurus dengan panjang l bergerak dengan kecepatan v melalui medan magnetik seragam \mathbf{B} yang tegak lurus terhadap v .

Kita asumsikan bahwa konduktor bergerak dengan kecepatan v tegak lurus terhadap medan magnetik. Elektron-elektron di dalam konduktor mengalami gaya sepanjang konduktor sebesar $|\mathbf{F}_b| = |\mathbf{qv} \times \mathbf{B}| = qvB$. Berdasarkan Hukum kedua Newton, elektron-elektron mengalami percepatan akibat pengaruh gaya tersebut dan bergerak sepanjang kawat.

Elektron-elektron bergerak ke ujung bawah kawat, mereka menumpuk di sana, meninggalkan muatan positif di ujung atas konduktor. Akibat pemisahan muatan ini menghasilkan medan listrik \mathbf{E} dalam konduktor. Muatan-muatan yang menumpuk di ujung-ujung konduktor bertambah sampai terjadi keseimbangan antara gaya magnetik qvB dan gaya listrik qE yang bekerja pada sebuah elektron dalam konduktor tersebut seperti tampak pada Gambar 1.5. Pada keadaan ini, muatan berhenti mengalir. Dalam keadaan ini, gaya total pada elektron adalah nol sesuai dengan hubungan antara medan listrik dengan medan magnet:

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_e - \mathbf{F}_B = 0 \rightarrow qE = qvB \rightarrow E = vB$$

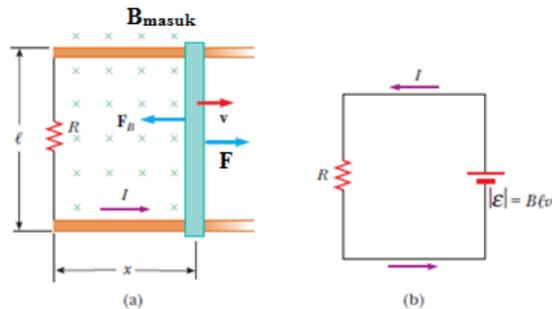
Karena medan listrik yang dihasilkan dalam konduktor adalah seragam, maka hal itu berkaitan dengan perbedaan potensial pada ujung-ujung konduktor menurut hubungan $\Delta V = \mathbf{E}l$. Dengan demikian,



$$\Delta V = El = Blv$$

di mana ujung atas memiliki potensial yang lebih tinggi daripada ujung bawah. Perbedaan potensial ini dipertahankan selama konduktor bergerak melalui medan magnetik. Jika gerakannya terbalik, maka polaritas ΔV juga terbalik.

Apa yang terjadi jika konduktor yang bergerak tersebut merupakan bagian dari sebuah kumparan yang tertutup. Misalkan konduktor sepanjang l dipasang pada kumparan tertutup seperti tampak pada Gambar 1.6. Anggap hambatan konduktor sama dengan nol sementara hambatan kumparan tetapnya R . Kemudian konduktor tersebut ditarik dengan gaya F sehingga bergerak dengan kecepatan v dengan arah tegak lurus terhadap medan magnetik tetap B . Karena konduktor yang bergerak merupakan bagian dari kumparan tertutup maka akan timbul arus listrik pada kumparan tersebut.



Gambar 1.6 (a) Sebuah batang konduktor bergerak pada kumparan dengan kecepatan v karena ditarik dengan gaya F . (b) Diagram rangkaian tertutup sebagai representasi dari gambar (a).

Laju perubahan fluks magnetik melalui loop dan ggl induksi yang timbul sebanding dengan perubahan luas daerah kumparan yang bergerak melalui medan magnetik. Jika konduktor ditarik sejauh x maka besar fluks magnetik sekarang adalah $\Phi_B = Blx$.

Sehingga besarnya ggl induksi yang timbul adalah

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(Blx) = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv \dots\dots\dots (1.4)$$

Karena hambatan kumparan adalah R maka besar arus induksi pada kumparan adalah

$$I = \left| \frac{\varepsilon}{R} \right| = \frac{Blv}{R} \dots\dots\dots (1.5)$$

Contoh 3

Batang tembaga sepanjang 30 cm bergerak dengan kecepatan 0,50 m/s tegak lurus terhadap medan magnetik 0,80 Wb/m². Tentukan besar ggl induksi pada batang tembaga tersebut!

Penyelesaian: $|\varepsilon| = Blv = (0,80 \text{ Wb/m}^2)(0,30 \text{ m})(0,50 \text{ m/s}) = 0,12 \text{ V}$



Contoh 4

Dari Gambar 1.6, jika panjang konduktor 50 cm, medan magnetik $B = 0,15 \text{ T}$, dan hambatan kumparan $3,0 \Omega$, berapa besar gaya yang diperlukan untuk menggerakkan batang konduktor sehingga bergerak dengan laju tetap $2,0 \text{ m/s}$? Berapa daya disipasi yang terjadi pada resistor?

Penyelesaian:

ggl induksi dalam konduktor adalah $|\varepsilon| = Blv = (0,15 \text{ T})(0,50 \text{ m})(2,0 \text{ m/s}) = 0,15 \text{ V}$

$$\text{dan } I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{0,15 \text{ V}}{3,0 \Omega} = 0,050 \text{ A}$$

dari persamaan $F = ILB \sin 90^\circ = (0,050 \text{ A})(0,50 \text{ m})(0,15 \text{ T})(1) = 3,8 \text{ mN}$

Daya yang hilang dalam resistor dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P = I^2 R = (0,050 \text{ A})^2 (3,0 \Omega) = 7,5 \text{ mW}$$

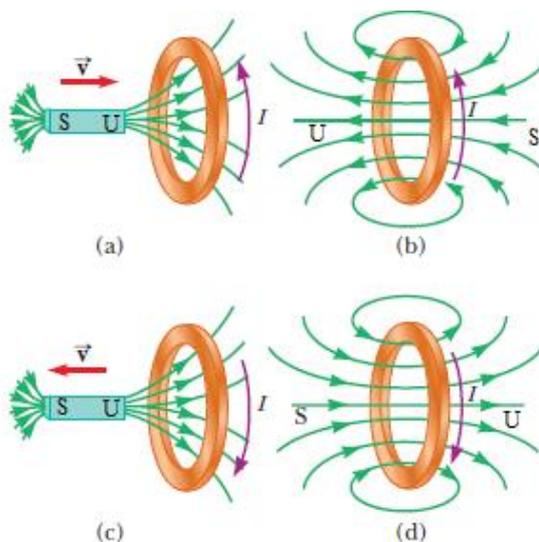
atau

$$P = Fv = (3,75 \times 10^{-3} \text{ N})(2,0 \text{ m/s}) = 7,5 \text{ mW}$$

3. Hukum Lenz

Tanda negatif pada hukum Faraday (Persamaan 1.1) berhubungan dengan arah arus induksinya. Arah ggl induksi dan arus induksi dapat diperoleh dari hukum Lenz: *Polaritas ggl induksi adalah sedemikian rupa sehingga menghasilkan arus induksi yang menimbulkan fluks magnetik yang menentang perubahan fluks magnetik penyebabnya.*

Untuk lebih memahami hukum Lenz, perhatikan Gambar 1.7.



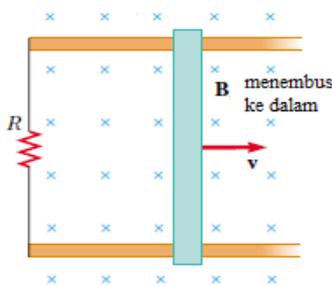
Gambar 1.7 (a) Ketika kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, maka timbul perubahan fluks magnetik di daerah yang dilingkupi kumparan. Perubahan fluks ini menimbulkan arus induksi dalam kumparan yang arahnya seperti terlihat pada gambar. (b) Arus induksi ini menimbulkan medan magnetik sendiri yang arahnya ke kiri melawan perubahan fluks yang ditimbulkan oleh magnet batang. (c) Pada saat magnet digerakkan menjauhi kumparan, maka akan terjadi pengurangan fluks magnetik dalam kumparan, akibatnya pada kumparan timbul arus induksi yang arahnya seperti tampak pada gambar. (d) Arus induksi ini menimbulkan fluks magnetik yang arahnya ke kanan menentang pengurangan fluks magnetik dari magnet batang.

Sumber: Halliday, D., Resnick, R. (1988).
Fundamentals of Physics



Ketika kedudukan magnet dan kumparan diam, tidak ada perubahan fluks magnetik dalam kumparan. Tetapi ketika kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, maka timbul perubahan fluks magnetik di daerah yang dilingkupi kumparan. Perubahan fluks ini menimbulkan arus induksi dalam kumparan yang arahnya ditunjukkan seperti Gambar 1.7a. Arus induksi ini menimbulkan medan magnetik sendiri yang arahnya ke kiri melawan perubahan fluks yang ditimbulkan oleh magnet batang (Gambar 1.7b). Dengan demikian fluks total yang dilingkupi kumparan selalu konstan. Begitu juga pada saat magnet digerakkan menjauhi kumparan, maka akan terjadi pengurangan fluks magnetik dalam kumparan, akibatnya pada kumparan timbul arus induksi yang arahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.7c. Arus induksi ini menimbulkan fluks magnetik yang arahnya ke kanan menentang pengurangan fluks magnetik dari magnet batang (Gambar 1.7d). Dengan demikian fluks total yang dilingkupi kumparan selalu konstan.

Contoh 5



Perhatikan gambar sebelah, jika batang konduktor ditarik ke kanan, kemanakah arah arus induksi dalam hambatan R ?

Penyelesaian: Pada saat batang bergerak ke kanan, luas kumparan meningkat, sehingga fluks magnetik yang menembus ke dalam kumparan juga meningkat. GGL yang besarnya B/v diinduksikan dalam rangkaian, yang menghasilkan arus induksi yang berlawanan arah dengan gerak jarum jam. Arus induksi ini menghasilkan fluks magnetik yang arahnya keluar dari bidang halaman buku untuk menentang fluks magnetik penyebabnya.

4. Penerapanan Hukum Faraday

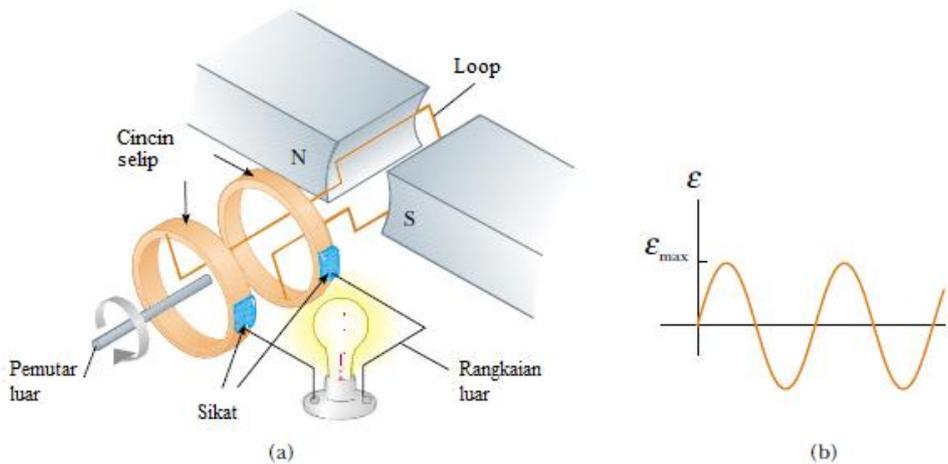
a. Generator AC

Salah satu penerapan terpenting dari penemuan besar Faraday adalah pengembangan **generator listrik** atau **dinamo**. Generator listrik merupakan perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Untuk memahami bagaimana generator bekerja, mari kita perhatikan generator arus bolak-balik (*Alternating Current*) sederhana seperti tampak pada Gambar 1.8.

Dalam bentuk yang paling sederhana, generator ac terdiri dari loop berputar yang ditempatkan di dalam medan magnetik seragam. Dalam pembangkit listrik komersial, energi yang dibutuhkan untuk memutar loop dapat berasal dari berbagai sumber (air terjun dalam pembangkit listrik tenaga air, uap dalam pembangkit listrik tenaga uap).



Pada saat loop berputar dalam medan magnetik, fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop berubah terhadap waktu sehingga menimbulkan ggl dan arus induksi dalam loop. Ujung loop dihubungkan dengan cincin selip yang ikut berputar dengan loop. Koneksi dari cincin selip ini, yang bertindak sebagai terminal *output* generator, ke rangkaian luar yang diwakili oleh sikat tetap yang berkontak dengan cincin selip ini.



Gambar 1.8 (a) Skema diagram generator ac. (b) GGL induksi bolak-balik dalam loop diplot sebagai fungsi dari waktu.

Misalkan loop memiliki N lilitan dengan luas penampang A dan berputar di dalam medan magnetik dengan kelajuan sudut konstan ω . Jika θ adalah sudut antara medan magnetik dan garis normal loop seperti tampak pada Gambar 1.9, maka fluks magnetik yang menembus loop dalam waktu t adalah

$$\Phi_B = BA \cos \theta = BA \cos \omega t$$

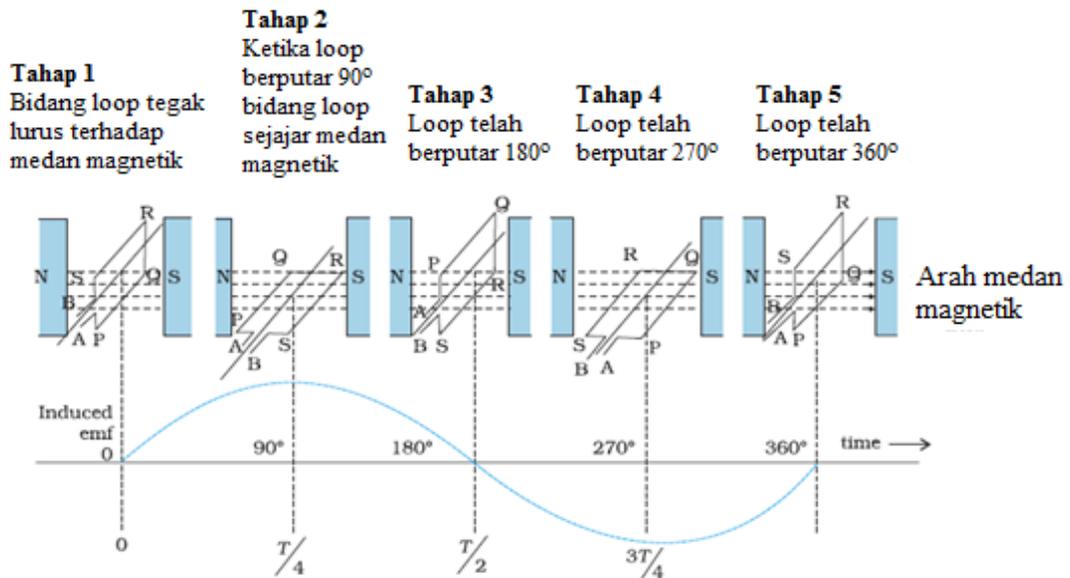
Sehingga besar ggl induksi sesaat dalam loop adalah

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -NBA \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = NBA\omega \sin \omega t \dots\dots\dots (1.6)$$

Dari persamaan 1.6 nampak bahwa harga ggl induksi bervariasi secara sinusoidal terhadap waktu seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.8b. Dari persamaan ini diperoleh bahwa GGL induksi maksimum adalah

$$\varepsilon_{max} = NBA\omega \dots\dots\dots (1.7)$$

yang dicapai ketika $\sin \omega t = \mp 1$ atau ketika $\omega t = 90^\circ$ atau 270° . Dengan kata lain, ketika medan magnetik pada bidang kumparan dan laju perubahan fluks adalah maksimum. Selanjutnya, ggl sama dengan nol ketika $\omega t = 0^\circ$ atau 180° , yaitu ketika B adalah tegak lurus terhadap bidang kumparan dan laju perubahan fluks adalah nol. Untuk lebih jelas tentang perubahan besar ggl induksi hubungannya dengan putaran loop bisa dilihat pada Gambar 1.9



Gambar 1.9 GGL induksi bolak balik yang dihasilkan oleh loop kawat yang berputar di dalam medan magnetik

Contoh 6

Sebuah generator memiliki 10 lilitan kawat dengan luas penampang $0,080 \text{ m}^2$ dan hambatan $15,0 \Omega$. Loop berputar di dalam medan magnetik $0,50 \text{ T}$ pada frekuensi konstan 50 Hz . (a) Hitung ggl induksi maksimum! (b) Berapa arus induksi maksimum ketika terminal keluaran dihubungkan dengan konduktor berhambatan rendah? (c) Tuliskan persamaan ggl induksi dan arus induksi terhadap waktu!

Penyelesaian:

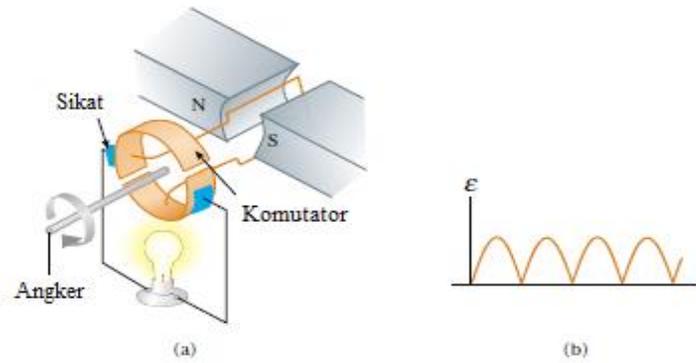
$$(a) \varepsilon_{max} = NBA\omega = 10(0,50 \text{ T})(0,080 \text{ m}^2)(2\pi 50 \text{ Hz}) = 125,6 \text{ V}$$

$$(b) I_{max} = \frac{\varepsilon_{max}}{R} = \frac{125,6 \text{ V}}{15,0 \Omega} = 8,37 \text{ A.}$$

$$(c) \varepsilon = \varepsilon_{max} \sin \omega t = 125,6 \sin 314t, I = I_{max} \sin \omega t = 8,37 \sin 314t$$

b. Generator DC

Generator dc sangat mirip dengan generator ac, kecuali kontak pada loop yang berputar menggunakan satu cincin selip bercelah yang disebut komutator seperti diilustrasikan pada Gambar 1.10a.

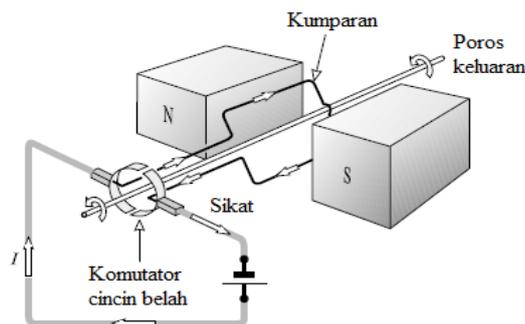


Gambar 1.10 (a) Skema diagram generator dc. (b) Besarnya ggl bervariasi terhadap waktu tetapi polaritas tidak pernah berubah.

Dalam konfigurasi seperti ini tegangan keluaran selalu memiliki polaritas yang sama dan berdenyut terhadap waktu seperti tampak pada Gambar 1.10b. Hal ini dapat dipahami karena kontak ke cincin seplit berbalik setiap setengah siklus. Pada saat yang sama, polaritas ggl induksi berbalik; maka, polaritas cincin seplit (yang sama dengan polaritas tegangan output) tetap sama. Bentuk grafik keluaran berupa denyut tidak cocok untuk sebagian besar aplikasi alat elektronik. Untuk mendapatkan keluaran dc yang lebih halus saat ini, generator dc komersial menggunakan beberapa kumparan sehingga ketika pulsa ini ditumpangkan, output dc hampir bebas dari fluktuasi.

c. Motor

Motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada dasarnya, motor adalah sebuah generator yang beroperasi secara terbalik. Jika pada generator kumparan diputar untuk menghasilkan arus, sementara pada motor arus diberikan oleh sumber tegangan ke dalam kumparan sehingga berputar.



Gambar 1.11 Motor

Pada prinsipnya sebuah motor listrik memiliki kumparan yang berada dalam medan magnet tetap, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.11. Apabila pada kumparan tersebut dialiri arus listrik, maka pada kumparan tersebut akan bekerja gaya magnetik. Arah gaya magnet pada sisi kumparan antara kanan dan kiri mempunyai

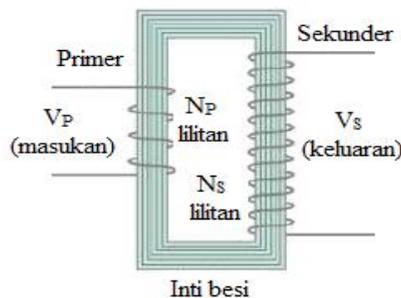


arah yang berbeda sehingga membentuk momen gaya (torsi). Dengan demikian akan menyebabkan kumparan tersebut berputar.

$$\tau = NIAB \sin \theta \dots \dots \dots (1.8)$$

d. Transformator

Transformator adalah alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak balik (ac). Transformator untuk menaikkan tegangan disebut transformator *step up* dan untuk menurunkan tegangan disebut transformator *step down*. Sebuah transformator memiliki dua buah kumparan kawat (kawat berisolasi) yang dililitkan pada inti besi yang dilaminasi seperti tampak pada Gambar 1.12.



Gambar 1.12 Transformator *step up* ($N_s > N_p$)

Lilitan pada bagian kiri yang dihubungkan ke sumber tegangan ac disebut kumparan primer dan lilitan sebelah kanan yang dihubungkan ke beban disebut kumparan sekunder. Tujuan penggunaan inti besi adalah untuk meningkatkan fluks magnetik yang melalui kumparan dan sebagai media agar semua garis gaya magnetik di dalam kumparan primer melewati kumparan sekunder. Sementara tujuan inti besi dilaminasi adalah untuk mengurangi kerugian akibat arus Eddy. Kerugian akibat arus Eddy dan juga akibat adanya perubahan energi listrik menjadi panas pada lilitan kawat tidak bisa dihilang sama sekali, sehingga transformator yang digunakan sehari-hari hanya memiliki efisiensi sekitar 90% sampai 99%.

Transformator bekerja berdasarkan hukum induksi Faraday. Pada saat tegangan ac diberikan pada kumparan primer maka akan timbul perubahan medan magnetik. Perubahan medan magnetik ini akan menginduksi tegangan ac yang berfrekuensi sama ke kumparan sekunder.

Berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi atau tegangan pada kumparan primer adalah

$$V_p = -N_p \frac{d\Phi_B}{dt}$$

di mana Φ_B adalah fluks magnetik yang melalui setiap lilitan. Jika kita menganggap semua garis medan magnetik tetap ada di dalam inti besi, fluks yang melalui lilitan



primer sama dengan fluks yang melalui lilitan sekunder sehingga tegangan sekunder adalah

$$V_S = -N_S \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Besar tegangan sekunder ini bergantung pada jumlah lilitan pada setiap kumparan. Jika fluks yang hilang sangat kecil atau diabaikan, maka berlaku hubungan:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \dots\dots\dots (1.9)$$

Jika $N_S > N_P$ kita dapatkan transformator *step up* dan jika $N_S < N_P$ kita dapatkan kita dapatkan transformator *step down*.

Untuk transformator ideal dimana tidak terjadi kehilangan daya, yaitu daya yang disuplai sumber $V_P I_P$ sama dengan daya pada lilitan sekunder $V_S I_S$, berlaku hubungan

$$V_P I_P = V_S I_S \text{ atau } \frac{I_S}{I_P} = \frac{V_P}{V_S} \dots\dots\dots (1.10)$$

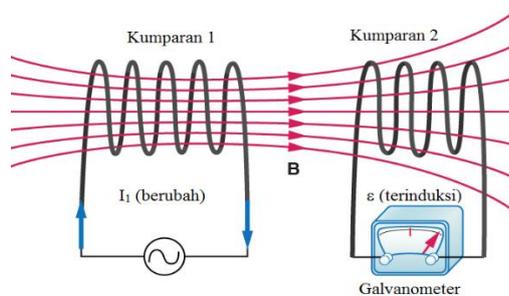
Persamaan untuk efisiensi transformator adalah

$$\eta = \frac{P_S}{P_P} = \frac{I_S V_S}{I_P V_P} \dots\dots\dots (1.11)$$

5. Induktansi

a. Induktansi Bersama

Induktansi bersama adalah peristiwa munculnya ggl dalam sebuah kumparan akibat adanya perubahan arus di dalam kumparan lain yang berada didekatnya.



Gambar 1.13 Perubahan arus pada kumparan 1 menginduksi arus pada kumparan 2

Gambar 1.13 menunjukkan dua buah kumparan yang saling berdekatan dimana pada kumparan 1 mengalir arus I yang menghasilkan medan magnetik. Jika arus pada kumparan 1 berubah maka akan menginduksi ggl pada kumparan 2. Menurut hukum Faraday, ggl ε_2 yang diinduksikan ke kumparan 2 sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang melewatinya $\left(\frac{d\Phi_{12}}{dt}\right)$. Karena fluks sebanding dengan arus yang melewati kumparan 1, ε_2 harus sebanding dengan laju perubahan arus pada kumparan 1. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut.

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt} \dots\dots\dots (1.12)$$



Hal ini juga berlaku untuk sebaliknya, jika pada kumparan 2 terjadi perubahan arus $\left(\frac{dI_2}{dt}\right)$ maka akan terjadi perubahan fluks magnetik pada kumparan 2 $\left(\frac{d\Phi_{21}}{dt}\right)$, perubahan fluks magnetik ini menginduksi kumparan 1 sehingga pada kumparan 1 akan terjadi ggl induksi sebesar:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_2}{dt} \dots\dots\dots (1.13)$$

Jadi dalam induksi bersama, ggl induksi dalam suatu kumparan selalu sebanding dengan laju perubahan arus pada kumparan lain. Walaupun penulisan konstantan M_{12} dan M_{21} dibedakan, tetapi kenyataannya keduanya sama dan dituliskan sebagai M saja. Karena $M_{12} = M_{21} = M$, maka persamaan 1.12 dan 1.13 dapat dituliskan menjadi

$$\varepsilon_2 = -M_{12} \frac{dI_1}{dt} \quad \text{dan} \quad \varepsilon_1 = -M_{21} \frac{dI_2}{dt}$$

Konstanta M dinamakan induktansi bersama antara kumparan 1 dan kumparan 2 yang memiliki satuan henry (H) mengikuti nama Joseph Henry dan besarnya dinyatakan dengan persamaan:

$$M = \frac{N_2\Phi_{12}}{I_1} = \frac{N_1\Phi_{21}}{I_2} \dots\dots\dots (1.14)$$

Apabila fluks magnetik yang ditimbulkan arus I_1 yang mengalir pada kumparan yang terdiri atas N_1 lilitan dengan luas penampang bidang kumparan A , maka $\Phi_{12} = B_1A = \frac{\mu_0 I_1 N_1 A}{l}$. Jika nilai ini disubstitusikan pada persamaan (1.14) akan kita dapatkan

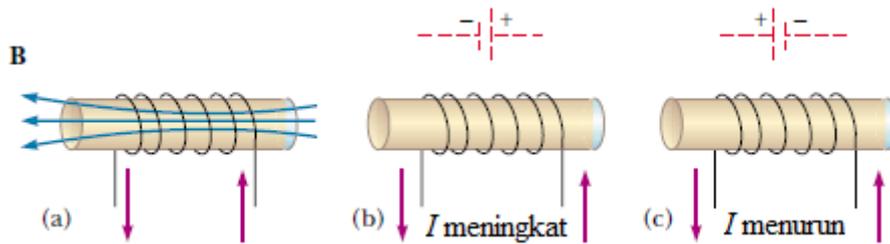
$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A}{l} \dots\dots\dots (1.15)$$

b. Induktansi Diri

Konsep induktansi berlaku juga pada kumparan tunggal yang terisolasi. Gambar 1.14 menunjukkan lilitan kumparan pada silinder inti besi. Jika sumber arus dalam kumparan berubah terhadap waktu maka akan timbul perubahan fluks dalam kumparan. Ketika arah arus sumber seperti ditunjukkan pada gambar, maka medan magnetik dalam kumparan akan mengarah dari kanan ke kiri, seperti yang terlihat pada Gambar 1.14a. Karena arus sumber berubah terhadap waktu, maka fluks magnetik melalui kumparan juga berubah dan menginduksi ggl dalam kumparan. Dari hukum Lenz, polaritas ggl induksi ini harus sedemikian rupa sehingga menentang perubahan medan magnetik dari arus sumber. Jika arus sumber meningkat, polaritas ggl induksi adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.14b, dan jika arus sumber menurun, polaritas ggl induksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.14c. Efek ini disebut induktansi diri karena perubahan fluks melalui kumparan dan resultan



ggl induksi timbul dari kumparan itu sendiri. GGL yang timbul pada peristiwa ini disebut ggl induksi diri atau sering disebut ggl kembali.



Gambar 1.14 (a) arus dalam kumparan menghasilkan medan magnetik yang mengarah ke kiri. (b) Jika arus meningkat, fluks magnetik meningkat pula dan menciptakan ggl induksi dengan polaritas seperti ditunjukkan oleh baterai putus-putus. (c) Polaritas ggl induksi akan terbalik jika arus berkurang.

Secara kuantitatif, induksi diri dapat dijelaskan dengan hukum Faraday, yaitu bahwa besarnya ggl induksi sama dengan negatif laju perubahan fluks magnetik ($\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$). Fluks magnetik sebanding dengan medan magnetik yang ditimbulkan oleh arus sumber, yang pada gilirannya sebanding dengan arus sumber dalam kumparan. Oleh karena itu, ggl induksi diri ε_L selalu sebanding dengan laju perubahan arus sumber terhadap waktu. Untuk kumparan yang memiliki N lilitan (toroida atau solenoid ideal) yang membawa arus sumber I, besarnya ggl induksi diri adalah

$$\varepsilon_L = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \dots\dots\dots (1.16)$$

dengan L adalah induktansi kumparan yang besarnya tergantung pada geometri kumparan dan karakteristik fisik lainnya. Berdasarkan persamaan (1.16) akan didapatkan:

$$L \frac{dI}{dt} = N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$L \int dI = N \int d\Phi_B$$

$$LI = N\Phi_B$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} \dots\dots\dots (1.17)$$

Dari persamaan 2.16 kita juga dapat menuliskan induktansi kumparan sebagai perbandingan

$$L = -\frac{\varepsilon_L}{dI/dt} \dots\dots\dots (1.18)$$

Satuan SI dari induktansi adalah henry (H), yang jika dilihat dari persamaan 1.18, adalah 1 volt-detik per ampere:

$$1 \text{ H} = \frac{1 \text{ V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$$





Pada modul sebelumnya sudah dijelaskan bahwa induksi magnetik pada solenoida atau toroida yaitu $B = \frac{\mu_0 IN}{l}$ dengan l adalah panjang solenoida atau keliling toroida, sehingga persamaan (1.17) dapat dituliskan:

$$L = \frac{N\mu_0 INA}{Il} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

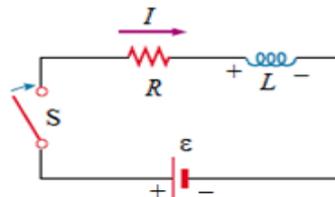
Apabila kumpulan itu berintikan bahan dielektrikum tertentu, maka induktansi kumpulan dinyatakan sebagai:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \dots\dots\dots (1.19)$$

6. Rangkaian LR

Elemen rangkaian yang memiliki induksi diri besar disebut induktor dengan simbol . Sebuah rangkaian yang mengandung induktor, seperti solenoida, akan memiliki induktansi diri yang akan mencegah arus dalam rangkaian dari peningkatan atau penurunan seketika.

Karena induktansi induktor hasil dari ggl induksi diri, sebuah induktor dalam rangkaian melawan perubahan arus yang melalui rangkaian tersebut. Jika tegangan baterai dalam rangkaian meningkat maka arus pun meningkat tetapi induktor menentang perubahan ini, sehingga peningkatan tersebut tidak seketika. Jika tegangan baterai menurun, kehadiran induktor menghasilkan penurunan arus yang lambat. Dengan demikian, induktor menyebabkan rangkaian menjadi "lamban" sebagai reaksi terhadap perubahan tegangan.



Gambar 1.15 Sebuah rangkaian seri RL. Dengan meningkatnya arus menuju nilai maksimum, ggl yang menentang peningkatan arus diinduksi dalam induktor.

Selain memiliki induktansi, induktor juga memiliki hambatan. Kita tunjukkan keadaan ini dengan menggambarkan induktansi L dan hambatan R secara terpisah, seperti pada Gambar 1.15. Sekarang kita bertanya, apa yang terjadi jika arus dc disambungkan secara seri pada rangkaian LR seperti itu? Pada saat saklar ditutup, arus mulai meningkat dan tentu saja ditentang oleh ggl induksi diri pada induktor. Namun, segera setelah arus mulai mengalir, timbul tegangan pada hambatan. Jadi tegangan yang jatuh pada induktor berkurang dan impedansi terhadap arus yang mengalir pada induktor pun berkurang. Kemudian arus akan meningkat secara bertahap, seperti terlihat pada



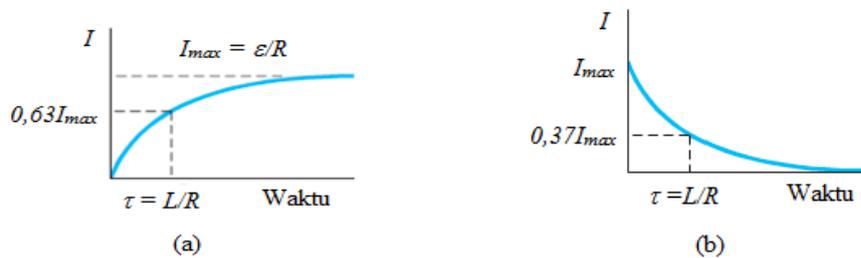
Gambar 1.16a, dan mendekati nilai konstan $I_{max} = \varepsilon/R$ jika seluruh tegangan jatuh pada hambatan. Bentuk dari kurva I merupakan fungsi waktu:

$$I = \left(\frac{\varepsilon}{R}\right) (1 - e^{-t/\tau}) \quad \dots\dots\dots (1.20)$$

dimana τ adalah konstanta waktu rangkaian RL .

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \dots\dots\dots (1.21)$$

Secara fisik τ , adalah waktu yang dibutuhkan arus dalam rangkaian untuk mencapai nilai akhir ε/R . Konstanta waktu merupakan parameter yang berguna untuk membandingkan respon waktu berbagai rangkaian. Jika $t = \tau$, maka kita dapatkan $(1 - e^{-1}) = 0,63$ sehingga kita lihat bahwa τ adalah waktu yang diperlukan arus untuk mencapai $0,63 I_{max}$.



Gambar 1.16 (a) Kenaikan arus pada rangkaian LR jika dihubungkan pada sebuah baterai. (b) Penurunan arus pada rangkaian LR jika pada rangkaian dibuat hubungan singkat (baterai dikeluarkan dari rangkaian).

Jika saklar tiba-tiba di putuskan, arus akan jatuh seperti Gambar 1.16b. Ini adalah eksponensial turun yang rumusnya $I = I_{max}e^{-t/\tau}$. Konstatnta waktu τ adalah waktu yang diperlukan arus untuk turun hingga mencapai 37 persen dari nilai awalnya, dan lagi-lagi sama dengan L/R .

7. Energi di dalam Medan Magnetik

Karena ggl induksi dalam sebuah induktor menghambat baterai dari membangun arus sesaat, maka baterai harus melakukan usaha terhadap induktor untuk melawan hambatan tersebut. Bagian dari energi yang disuplai oleh baterai muncul sebagai energi internal resistor, sementara energi yang tersisa disimpan dalam medan magnetik induktor.

Untuk menurunkan persamaan energi dalam induktor, mari kita perhatikan kembali Gambar 1.15. Jika kita gunakan aturan loop Kirchhoff dalam rangkaian dengan arah searah jarum jam maka akan didapat

$$\varepsilon - IR - L \frac{dI}{dt} = 0$$

Kemudian kita kalikan persamaan tersebut dengan I , maka akan diperoleh

$$I\varepsilon = I^2R + LI \frac{dI}{dt}$$



Persamaan ini menunjukkan bahwa laju energi yang disuplai oleh baterai ($I\varepsilon$) sama dengan jumlah laju energi yang dikirimkan ke resistor (I^2R), dan laju energi yang disimpan di dalam induktor ($IL \frac{dI}{dt}$). Jika energi yang tersimpan di dalam induktor setiap saat kita sebut U , maka laju energi tersebut bisa ditulis sebagai dU/dt yang besarnya adalah

$$\frac{dU}{dt} = LI \frac{dI}{dt} \quad \rightarrow \quad dU = LI dI$$

Untuk mendapatkan energi total yang tersimpan di dalam induktor, kita bisa mengintegrasikan persamaan tersebut.

$$U = \int dU = \int_0^I LI dI = L \int_0^I I dI$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad \dots\dots\dots (1.22)$$

Jika energi tersebut dinyatakan dalam konteks medan magnetik maka bisa dituliskan sebagai berikut:

Induktansi diri dalam solenoida adalah $L = \frac{\mu N^2 A}{l}$ dan medan magnetik B di dalam solenoida adalah $B = \frac{\mu_0 IN}{l}$. Jadi $I = \frac{Bl}{\mu_0 N}$ sehingga energi U adalah

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu_0 N^2 A}{l} \right) \left(\frac{Bl}{\mu_0 N} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} Al \quad \dots\dots\dots (1.23)$$

Karena Al adalah volume solenoida, maka besarnya energi persatuan volume atau **kerapatan energi** yang tersimpan di dalam medan magnetik yang dilingkupi induktor adalah

$$u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad \dots\dots\dots (1.24)$$

D. Aktivitas Pembelajaran

Setelah mengkaji materi induktansi elektromagnetik Anda dapat mempelajari kegiatan eksperimen dan non eksperimen yang dalam modul ini disajikan dalam bentuk lembar kegiatan. Untuk kegiatan ekaperimen, Anda dapat mencobanya mulai dari persiapan alat bahan, melakukan percobaan dan membuat laporannya. Sebaiknya Anda mencatat hal-hal penting untuk keberhasilan percobaan, hal ini sangat berguna bagi Anda pada saat mengimplementasikannya di sekolah.



Lembar Kerja 1

GGL INDUKSI DIRI

Tujuan

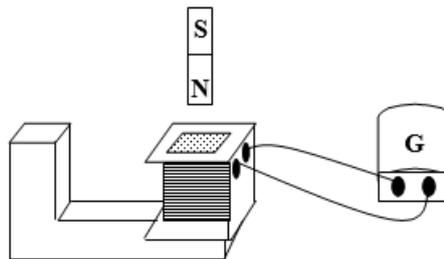
- Menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya ggl induksi diri
- Menyelidiki peristiwa induksi diri dalam kumparan

Alat dan Bahan

- Kumparan 300, 600, 1200, dan 12000 lilitan
- Inti besi lunak untuk transformator (1 buah)
- Galvanometer/voltmeter (1 buah)
- Magnet batang (2 buah)
- Kabel penghubung secukupnya

Langkah Kegiatan

1. Rakitlah alat dan bahan seperti pada gambar di bawah (gunakan kumparan 300 lilitan).



2. Amati apa yang terjadi pada jarum galvanometer jika magnet batang dipegang di atas kumparan tanpa digerakkan?
3. Apa yang terjadi pada jarum galvanometer jika magnet batang ditarik ke atas perlahan-lahan menjauh kumparan?
4. Apa yang terjadi pada jarum galvanometer jika magnet batang digerakkan secara perlahan-lahan menjauhi dan mendekati kumparan?
5. Apa yang terjadi pada jarum galvanometer jika magnet batang digerakkan secara cepat menjauhi dan mendekati kumparan?
6. Apa yang terjadi jika menggunakan dua buah magnet batang dengan cara disatukan.
7. Lakukan percobaan berikutnya dengan menggunakan kumparan 600, 1200, dan 12000 lilitan. Catat dan masukkan hasilnya dalam tabel berikut ini.

Jumlah Lilitan	300	600	1200	12000
Simpangan galvanometer				

8. Faktor-faktor apakah yang dapat mempengaruhi besarnya ggl induksi? sebutkan!
9. Kesimpulan apa yang anda peroleh dari hasil percobaan ini? Jelaskan!



Lembar Kerja 2

TRANSFORMATOR

Tujuan

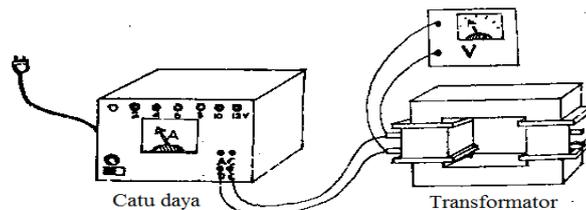
Menyelidiki prinsip kerja transformator sebagai alat pengubah tegangan listrik AC

Alat dan Bahan

- Kumaran 300, 600, 1200, dan 12000 lilitan
- Multitester / voltmeter AC (0 – 150 v) (2 buah)
- Catu daya (1 buah)
- Inti besi lunak untuk transformator (1 buah)
- Kabel penghubung secukupnya

Langkah Kegiatan

1. Rakitlah alat dan bahan seperti pada gambar di bawah.
2. Pasanglah kumaran primer (kumaran 1) dan kumaran skunder (kumaran 2) dengan jumlah lilitan yang berbeda, lalu ukurlah dengan voltmeter pada kumaran primer dan skunder catat hasil pengukurannya.



3. Ulangi langkah no. 2 dengan mengganti-ganti kumaran 1 atau kumaran 2 seperti pada table di bawah.

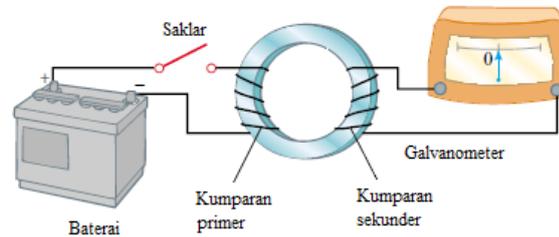
No	Kumaran (N ₁)	Kumaran (N ₂)	Tegangan (V ₁)	Tegangan (V ₂)	$\frac{N_2}{N_1}$	$\frac{V_2}{V_1}$	$\frac{N_p V_2}{N_s V_1}$
1.	300	1200					
2.	600	12000					
3.	600	12000					
4.	1200	600					
5.	1200	12000					
6.	12000	1200					

4. Apakah yang dimaksud dengan efisiensi transformator dari hasil percobaan di atas? Jelaskan!
5. Kesimpulan apakah yang anda peroleh dari percobaan tersebut?

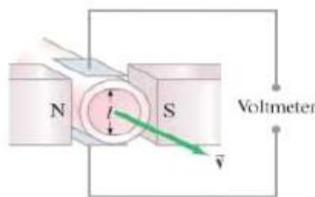


E. Latihan/Kasus/Tugas

- Perhatikan gambar di bawah. Apa yang akan terjadi pada kedudukan jarum galvanometer jika tiba-tiba saklar ditutup? Jelaskan bagaimana hal ini bisa terjadi?

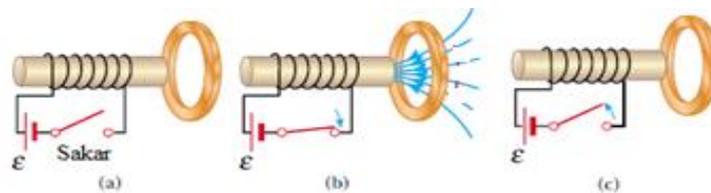


- Faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi besar kecilnya ggl induksi?
- Sebutkan cara-cara menghasilkan ggl induksi dalam kumparan?
- Rata-rata aliran darah dalam pembuluh dapat diukur menggunakan alat seperti



pada gambar karena darah mengandung ion bermuatan. Anggap saja bahwa diameter pembuluh darah kita adalah 2,0 mm, medan magnetik 0,080 T, dan ggl induksi yang terukur sebesar 0,10 mV. Berapa laju aliran darah dalam pembuluh?

- Apakah pesawat yang sedang terbang menimbulkan ggl yang membahayakan? Sebuah pesawat terbang dengan kecepatan 1000 km/jam di suatu daerah di mana terdapat medan magnetik bumi sebesar $5,0 \times 10^{-5}$ T dengan arah yang hampir vertikal. Berapakah beda potensial yang terinduksi di antara kedua ujung sayap yang terpisah sejauh 70 m?
- Sebuah cincin logam ditempatkan dekat sebuah solenoida, seperti terlihat pada gambar di bawah. Tentukan arah arus induksi di dalam cincin jika (a) saklar tiba-tiba ditutup (b) setelah saklar ditutup untuk beberapa saat, dan (c) saklar tiba-tiba dibuka.

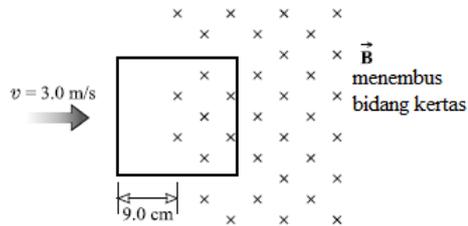


- Jelaskan dengan konsep induksi elektromagnetik bagaimana cara kerja generator?
- Sebuah kumparan datar dengan jari-jari 8,0 mm dan memiliki 50 lilitan ditempatkan di dalam medan magnetik $B = 0,30$ T (nilai B tersebut adalah nilai maksimum). Kemudian kumparan diputar selama 0,020 detik ke posisi sedemikian rupa sehingga



tidak ada fluks yang menembus kumparan tersebut. Hitung rata-rata ggl induksi di ujung-ujung kumparan!

9. Sebuah kumparan kawat seperti tampak pada gambar di bawah memiliki sisi 20 cm dengan jumlah lilitan 15. Kumparan tersebut



bergerak ke kanan dengan kelajuan 3,0 m/s. Hitung besar dan arah ggl induksi pada kumparan (a) pada saat posisinya seperti ditunjukkan gambar dan (b) ketika seluruh kumparan berada di dalam daerah medan

magnetik.

10. Sebuah generator mobil berputar dengan kecepatan 1000 rpm dan menghasilkan tegangan 12,4 V. Berapa keluarannya jika putaran dijadikan 2500 rpm dengan asumsi tidak terjadi sesuatu yang lain?
11. Sebuah kumparan terdiri atas 450 lilitan, berdiameter 8,0 cm, berputar dengan kecepatan 120 putaran/detik di dalam medan magnetik seragam berkekuatan 0,55 T. (a) Berapa tegangan keluaran rms generator tersebut? (b) Apa yang akan Anda lakukan terhadap frekuensi putaran agar tegangan rms keluaran menjadi dua kali semula?
12. Jelaskan prinsip kerja motor listrik!
13. Sebuah motor memiliki hambatan angker sebesar $3,25 \Omega$. Jika ia menarik arus sebesar 8,20 A pada saat berputar pada kecepatan penuh dan dihubungkan dengan sumber 220 V, berapa besar ggl baliknya?
14. Angker motor menghasilkan momen sebesar 100 Nm ketika menarik arus sebesar 40 A. Tentukan momen yang dihasilkan jika arus dalam angker meningkat menjadi 70 A dan kekuatan medan magnetik berkurang sebesar 80% dari semula!
15. Jelaskan cara kerja transformator berdasarkan konsep induksi elektromagnetik!
16. Sebuah transformator dirancang untuk mengubah tegangan 120 V menjadi 10000 V, dan kumparan primernya memiliki 164 lilitan. Berapa jumlah lilitan sekundernya, jika efisiensinya diasumsikan 100%?
17. Arus tetap 2 A mengalir pada kumparan dengan 400 lilitan menyebabkan fluks 10^{-4} Wb. Hitung (a) rata-rata ggl induksi diri di dalam kumparan jika arus dihentikan selama 0,08 detik, (b) induktansi kumparan, dan (c) energi yang tersimpan dalam kumparan.



F. Rangkuman

Peristiwa timbulnya beda potensial pada ujung-ujung kawat penghantar bila terjadi perubahan jumlah garis-garis gaya magnet yang dilingkupi kumparan dinamakan induksi elektromagnetik. Beda potensial yang terjadi pada ujung-ujung kumparan disebut ggl induksi (gaya gerak listrik induksi) dan arus listrik yang timbul disebut arus listrik induksi.

Besarnya ggl induksi yang timbul pada ujung-ujung kumparan sebanding dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya. Pernyataan ini dinyatakan secara matematik sebagai: $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ ini adalah hukum Faraday tentang induksi.

GGL dapat diinduksikan dalam kumparan melalui beberapa cara: (a) mengubah besarnya induksi magnetik (B) terhadap waktu, mengubah luas bidang kumparan yang melingkupi garis gaya medan magnetik terhadap waktu, mengubah sudut antara arah medan magnetik dengan garis normal bidang kumparan terhadap waktu, atau gabungan perubahan dari besaran-besaran di atas.

Generator listrik merupakan perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya didasari oleh hukum Faraday: sebuah kumparan kawat diputar secara seragam dengan menggunakan peralatan mekanis di dalam medan magnetik, dan perubahan fluks yang melewati kumparan menimbulkan induksi arus sinusoidal, yang menjadi keluaran dari generator.

Motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada dasarnya, motor adalah sebuah generator yang beroperasi secara terbalik. Jika pada generator kumparan diputar untuk menghasilkan arus, sementara pada motor arus diberikan oleh sumber tegangan ke dalam kumparan sehingga berputar.

Transformator adalah alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak balik (ac). Transformator bekerja berdasarkan hukum induksi Faraday. Pada saat tegangan ac diberikan pada kumparan primer maka akan timbul perubahan medan magnetik. Perubahan medan magnetik ini akan menginduksi tegangan ac yang berfrekuensi sama ke kumparan sekunder. Besar tegangan sekunder ini bergantung pada jumlah lilitan pada setiap kumparan. Jika fluks yang hilang sangat kecil atau diabaikan, maka berlaku hubungan:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Induktansi bersama adalah peristiwa munculnya ggl dalam sebuah kumparan akibat adanya perubahan arus di dalam kumparan lain yang berada didekatnya. Dalam induktansi bersama, besarnya ggl induksi dalam suatu kumparan selalu sebanding dengan laju perubahan arus pada kumparan lain.



Konsep induktansi berlaku juga pada kumparan tunggal yang terisolasi, induktansi seperti ini disebut induktansi diri dan ggl yang timbul pada peristiwa ini disebut ggl induksi diri atau sering disebut ggl kembali. Dinamakan demikian karena perubahan fluks dan resultan ggl induksi yang timbul dari kumparan itu sendiri.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan soal latihan ini, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan melihat kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silahkan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan Pembelajaran ini.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK DAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Arus listrik bolak-balik atau *alternating current* (ac) sudah merupakan bagian dari kehidupan kita sehari-hari. Bisa dibayangkan bagaimana sulitnya jika kita hidup tanpa listrik bolak-balik. Sangat banyak peralatan di sekitar kita yang menggunakan arus bolak-balik. Hampir di setiap ruangan di rumah, sekolah, dan kantor terdapat rangkaian arus bolak-balik, seperti lampu, televisi, komputer, mesin pendingin, microwave, hair dryer, dan lain-lain.

Dalam memahami arus bolak-balik, ada beberapa hal yang harus di pahami, yaitu frekuensi, tegangan efektif, arus efektif, dan daya. Dalam Kegiatan Pembelajaran 2 ini kita akan membahas tentang listrik bolak-balik, rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari resistor, kapasitor, induktor, rangkaian seri resistor-kapasitor (RC), rangkaian seri resistor-induktor (RL), rangkaian seri resistor-kapasitor-induktor (RLC), dan ditutup dengan materi tentang gelombang elektromagnetik.

A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat memahami materi tentang rangkaian arus bolak-balik; arus dan tegangan efektif (RMS), arus bolak balik pada induktansi murni, arus bolak balik pada kapasitansi murni, impedansi rangkaian seri, disipasi daya pada arus bolak balik, resonansi, dan gelombang elektromagnetik.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

1. Menganalisis besaran-besaran yang terkait rangkaian RLC.
2. Menganalisis besarnya daya pada rangkaian RLC.
3. Menggunakan persamaan rangkaian arus listrik bolak balik dalam perhitungan.
4. Menjelaskan konsep resonansi dalam rangkaian RLC.
5. Memberikan contoh penerapan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.



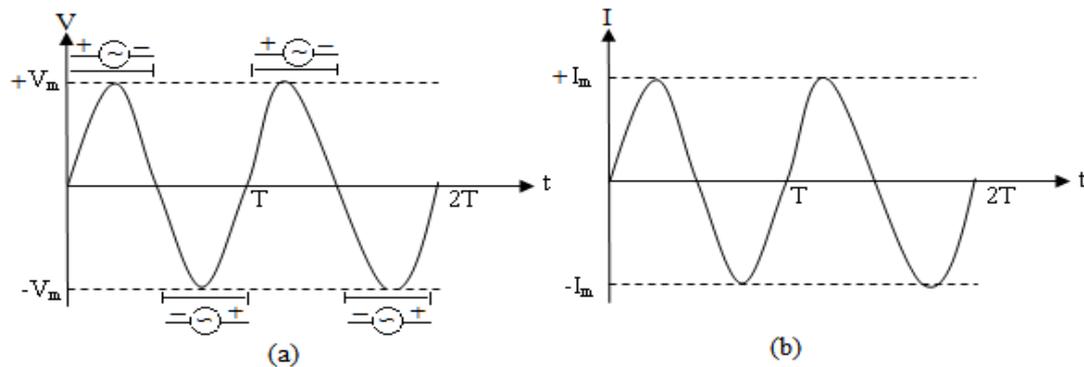
C. Uraian Materi

Mengapa Kita Menggunakan Arus Listrik Bolak-Balik

Sebagaimana telah kita lihat sebelumnya bahwa kumparan yang berputar dalam medan magnetik, menginduksi ggl bolak-balik dan karenanya timbul arus bolak-balik. Disebut ggl bolak-balik karena besar dan arah ggl induksi tersebut bervariasi secara berkala. Selain itu frekuensi ggl induksi juga dapat diubah dengan mengubah kecepatan kumparan. Hal ini memungkinkan kita dapat memanfaatkan seluruh rentang spektrum elektromagnetik untuk satu tujuan atau yang lain.

1. Bentuk Grafik Tegangan dan Arus bolak-balik

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, salah satu sumber listrik bolak-balik adalah generator bolak-balik. Generator menghasilkan ggl dan arus induksi yang berubah secara periodik terhadap waktu menurut fungsi sinus atau fungsi cosinus, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Tegangan bolak-balik yang dihasilkan antara terminal-terminal generator bolak-balik berubah secara sinusoidal terhadap waktu, (b) Arus yang mengalir pada rangkaian bolak-balik berubah secara sinusoidal terhadap waktu.

Secara matematis tegangan bolak-balik dinyatakan seperti yang sudah dituliskan pada persamaan 1.6, yaitu:

$$V = NBA\omega \sin \omega t = V_{max} \sin \omega t \dots\dots\dots (2.1)$$

V_{maks} = tegangan maksimum atau tegangan puncak,

V = tegangan sesaat,

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi sudut (rad/s),

t = waktu (s)

V_{maks} menunjukkan tegangan maksimum atau nilai puncak. Agar penulisan lambang menjadi lebih singkat, untuk selanjutnya V_{maks} akan ditulis sebagai V_o .



Seperti halnya tegangan, arus yang dihasilkan generator ac juga berubah terhadap waktu menurut suatu fungsi sinus atau cosinus, dengan frekuensi sama dengan frekuensi tegangan yang menimbulkannya. Di dalam rangkaian yang hanya terdiri dari resistor, arus berbalik arah setiap waktu pada saat polaritas/kutub terminal generator berbalik. Perubahan arah arus di dalam rangkaian ini digambarkan dengan grafik pada Gambar 2.1 (b). Arus tersebut akan berubah arah sebanyak dua kali dalam setiap siklus.

Persamaan arus bolak-balik bisa diperoleh dengan mensubstitusikan $V = V_0 \sin 2\pi ft$ ke dalam $V = IR$, sehingga didapatkan:

$$I = I_0 \sin 2\pi ft = I_0 \sin \omega t \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana

I_0 = arus maksimum atau arus puncak yang besarnya sama dengan $I_0 = \frac{V_0}{R}$

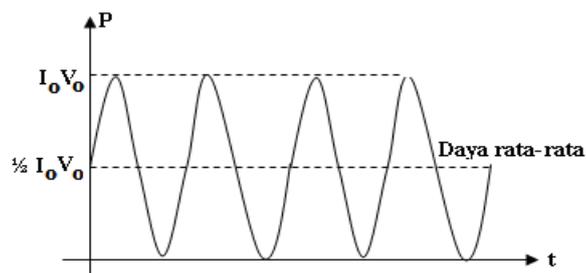
I = arus sesaat,

2. Daya dan Nilai Efektif

Besar daya yang disalurkan oleh generator pada rangkaian bolak-balik dinyatakan sebagai $P = IV$, sama dengan daya pada rangkaian searah. Tetapi pada rangkaian bolak-balik, kuat arus I dan tegangan V bergantung pada waktu sehingga besar daya naik turun setiap saat. Dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) dan (2.2) ke dalam $P = IV$ maka akan di dapat

$$P = I_0 V_0 \sin^2 2\pi f t \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan ini dapat digambarkan dengan grafik:



Gambar 2.2 Pada rangkaian AC, daya pada resistor berubah-ubah diantara nilai nol dan nilai puncak $I_0 V_0$, dimana I_0 dan V_0 adalah arus dan tegangan puncak.

Karena daya pada rangkaian bolak-balik berubah-ubah maka kita harus menentukan daya rata-rata \bar{P} . Daya rata-rata ini besarnya setengah dari nilai daya puncak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2, dan dituliskan dengan persamaan

$$\bar{P} = \frac{1}{2} I_0 V_0 \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan (2.28) dapat dinyatakan dengan bentuk lain, yaitu:



$$\bar{P} = \left(\frac{I_0}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{V_0}{\sqrt{2}} \right) = I_{rms} V_{rms} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

I_{rms} dan V_{rms} disebut arus dan tegangan *root mean square* (rms) atau arus dan tegangan efektif. Arus dan tegangan efektif dapat dihitung dari arus dan tegangan maksimum dibagi $\sqrt{2}$.

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai efektif dari arus bolak-balik ini menghasilkan kalor yang sama dengan kalor yang dihasilkan oleh arus searah pada besar yang sama. Persamaan 2.6 dan 2.7 hanya berlaku untuk arus dan tegangan sinusoidal.

Persamaan daya rata-rata $\bar{P} = I_{rms} V_{rms}$ mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan daya pada rangkaian arus searah ($P = IV$). Oleh karena itu persamaan Hukum Ohm jika ditulis dalam nilai efektif adalah:

$$V_{rms} = I_{rms} R \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Jika persamaan 2.8 disubstitusikan kedalam persamaan daya rata-rata $\bar{P} = I_{rms} V_{rms}$ maka didapat:

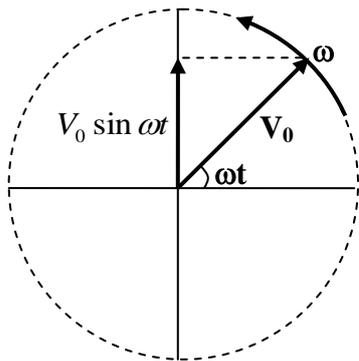
$$\bar{P} = I_{rms} V_{rms} = I_{rms}^2 R = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Persamaan 2.9 sangat berguna karena sama persis dengan persamaan daya untuk resistor pada listrik searah, yaitu $P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$.

Namun demikian, perlu diingat bahwa daya pada listrik bolak-balik merupakan daya rata-rata, dan tegangan maupun arus merupakan nilai rms atau efektif. Jadi ketika kita membicarakan listrik bolak-balik, nilai arus dan tegangan yang digunakan merupakan nilai efektif, kecuali jika ada pernyataan lain.

3. Diagram Fasor

Diagram fasor merupakan suatu alat bantu yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisa tegangan atau arus bolak-balik. Kata fasor berasal dari bahasa Inggris *phasor*, akronim dari kata *phase vector*, yang artinya vektor fase. Akan tetapi hendaklah dicamkan bahwa sesungguhnya fasor itu bukan vektor dalam arti yang biasa, melainkan vektor yang diberi arti khusus.



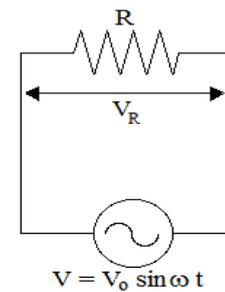
Gambar 2.3 Diagram fasor untuk tegangan

Fasor suatu besaran dilukiskan sebagai suatu vektor yang besar sudut putarnya terhadap sumbu horisontal menyatakan sudut fasenya. Sementara panjang fasor menyatakan nilai maksimum besaran tersebut, sedangkan proyeksi fasor pada sumbu vertikal menyatakan nilai sesaatnya. Gambar 2.3 memperlihatkan diagram fasor tegangan yang memiliki kelajuan ω dengan sudut fase ωt .

4. Rangkaian Arus Bolak – Balik

a. Rangkaian Resistif

Gambar 2.4 memperlihatkan sebuah rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari sebuah resistor dan sumber tegangan. Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan dan hambatan R disebut rangkaian **resistif murni**. Pada rangkaian resistif murni, tegangan pada resistor sebanding dengan arus yang melewati resistor tersebut. Artinya pada saat tegangan bertambah besar, arus juga bertambah besar. Begitu juga sebaliknya, ketika tegangan mengecil, arus juga bertambah kecil. Keadaan ini dikatakan bahwa tegangan dan arus mempunyai fase sama. Tegangan pada resistor V_R sama dengan tegangan sumber V . Sehingga untuk rangkaian resistif murni persamaan tegangan dan arus pada resistor dapat ditulis:



Gambar 2.4 Rangkaian resistif murni

$$V_R = V_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t$$

$$I = I_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

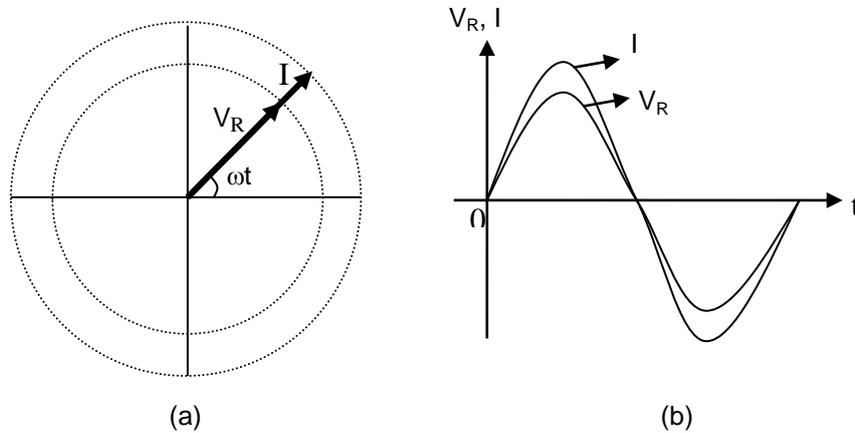
Dengan demikian akan berlaku juga hubungan sebagai berikut:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2.5 menunjukkan fasor dan grafik dari tegangan dan arus yang memiliki persamaan seperti dinyatakan pada persamaan (2.10) dan (2.11). Diagram fasor tegangan dan arus pada resistor adalah segaris karena keduanya sefase. Dengan panjang anak panah menyatakan nilai maksimum V_0 dan I_0 .



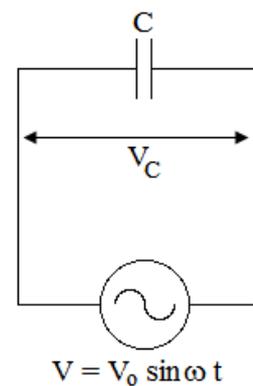
Gambar 2.5 (a) Diagram fasor menunjukkan bahwa pada rangkaian resistif murni, arus dan tegangan sefase, (b) Grafik arus dan tegangan terhadap waktu menunjukkan hal yang sama.

Kenapa pada rangkaian resistif murni, tegangan dan arus mempunyai fase sama? Hal ini terjadi karena rangkaian resistif tidak menyimpan muatan seperti halnya terjadi pada kapasitor. Disamping itu rangkaian resistif tidak memiliki induktansi sehingga tidak terpengaruh oleh perubahan medan magnetik yang ada di sekitarnya.

b. Rangkaian Kapasitif

Gambar 2.6 memperlihatkan sebuah rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari sebuah kapasitor dan sumber tegangan ac. Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan V dan kapasitor C disebut rangkaian **kapasitif murni**. Tegangan pada ujung-ujung kapasitor V_C sama dengan tegangan sumber V . Sehingga untuk rangkaian kapasitif, persamaan tegangan pada ujung-ujung kapasitor pada setiap saat dapat ditulis:

$$V_C = V_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2.14)$$



Gambar 2.6 Rangkaian kapasitif murni

Muatan dalam kapasitor pada setiap saat dalam rangkaian (Gambar 2.6) dapat dinyatakan dengan persamaan: $Q_{(t)} = CV_C$

$$Q_{(t)} = CV_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2.15)$$



Arus yang mengalir melalui rangkaian bisa didapatkan dengan menurunkan persamaan (2.15) terhadap waktu

$$I = \frac{dQ}{dt} = CV_0 \frac{d}{dt}(\sin \omega t)$$

$$I = \omega CV_0 \cos \omega t$$

Jadi persamaan arus yang mengalir pada rangkaian kapasitif murni adalah:

$$I = \omega CV_0 \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

ωCV_0 merupakan nilai maksimum kuat arus dan dinyatakan dengan I_0 . Jadi:

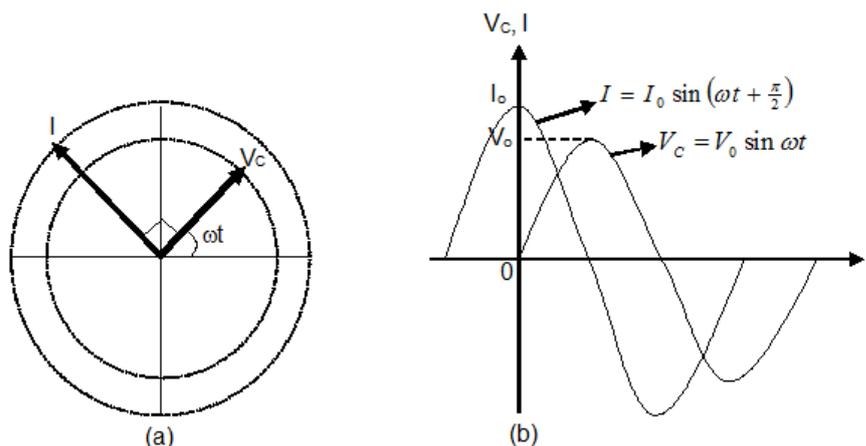
$$I_0 = \omega CV_0 \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Berdasarkan rumus trigonometri $\sin(\alpha + \beta)$, maka $\cos \omega t = \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

Sehingga dengan demikian persamaan (2.16) dapat ditulis sebagai:

$$I = I_0 \cos \omega t = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan membandingkan persamaan tegangan $V_C = V_0 \sin \omega t$ dengan persamaan arus $I = I_0 \cos \omega t = I_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ dapat disimpulkan bahwa arus dan tegangan dalam rangkaian kapasitif murni berbeda fase sebesar 90° . Hal ini terjadi karena kuat arus mencapai maksimum seperempat siklus sebelum tegangan, atau dengan kata lain kuat arus mendahului tegangan dengan sudut fase sebesar 90° atau $\frac{1}{2}\pi$. Keadaan ini dapat digambarkan dengan diagram fasor dan grafik seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 (a) Diagram fasor menunjukkan bahwa pada rangkaian kapasitif murni, arus mendahului tegangan sebesar 90° , (b) Grafik tegangan dan arus terhadap waktu menunjukkan hal yang sama.

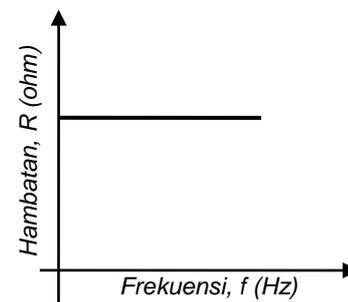


Pada rangkaian arus searah kita mengenal hambatan, yaitu hasil bagi antara beda potensial dan kuat arus. $\frac{V}{I} = R$ dapat dipandang sebagai ukuran besarnya

hambatan terhadap arus listrik pada rangkaian itu. Pada rangkaian bolak-balik besaran seperti itu juga ada, dimana sifat-sifatnya sama seperti sifat hambatan, yaitu menghambat arus. Secara umum besaran ini disebut impedansi rangkaian itu yang diberi lambang Z . Impedansi merupakan hasil bagi antara tegangan efektif (rms) dan kuat arus efektif (rms), $Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$ dengan satuan sama dengan satuan

hambatan, yaitu ohm.

Hambatan sebenarnya merupakan keadaan khusus dari impedansi, yaitu ketika tegangan dan kuat arus mempunyai fase sama. Keadaan ini seperti yang terjadi pada rangkaian resistif murni. Hambatan tidak bergantung pada frekuensi, berapapun besar rekuensi, hambatan tidak akan terpengaruh. Sehingga hubungan ini jika digambarkan akan berbentuk garis lurus seperti tampak pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hambatan pada rangkaian resistif murni mempunyai nilai tetap untuk setiap frekuensi.

Keadaan khusus yang lain dari impedansi, yaitu ketika tegangan dan arus memiliki beda sudut fase 90° . Jika hal ini terjadi, maka hasil bagi antara tegangan dan kuat arus disebut reaktansi rangkaian, yang diberi lambang X . Reaktansi yang hanya terdiri dari kapasitor dan sumber tegangan saja, disebut reaktansi kapasitif (X_C):

$$X_C = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Satuan reaktansi kapasitif sama dengan satuan hambatan, yaitu ohm. Reaktansi kapasitif menentukan berapa banyak arus efektif yang ada di dalam kapasitor yang disuplai oleh tegangan efektif di ujung-ujung kapasitor tersebut.

Persamaan (2.17) $I_0 = \omega C V_0$ dapat diubah menjadi $\frac{V_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C}$, sementara kita

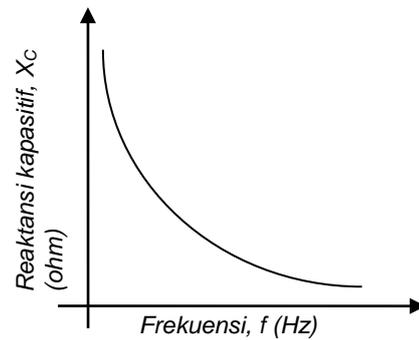
ketahui bahwa $\frac{V_0}{I_0} = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$ sehingga $\frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$

Dengan demikian persamaan reaktansi kapasitif (persamaan 2.19) menjadi



$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots (2.20)$$

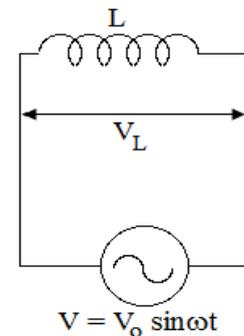
Berdasarkan persamaan (2.20), reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi f dan kapasitas C . Perbandingan ini dapat digambarkan dengan grafik seperti terlihat pada Gambar 2.9. Ketika frekuensi diperkecil, reaktansi kapasitif bertambah besar dan sebaliknya ketika frekuensi diperbesar, reaktansi kapasitif makin kecil.



Gambar 2.9 Reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi.

c. Rangkaian Induktif

Gambar 2.10 memperlihatkan sebuah rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari sebuah induktor dan sumber tegangan ac. Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan V dan induktor L disebut rangkaian *induktif murni*. Induktor biasanya berupa lilitan kawat (*coil*). Dalam induktor ideal, hambatan kawat diabaikan. Seperti sudah dijelaskan pada Pembelajaran 1, ketika sebuah induktor dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka akan timbul ggl induksi diri. GGL induksi diri ini sebanding dengan laju perubahan kuat arus terhadap waktu, yang dinyatakan dengan persamaan:



Gambar 2.10 Rangkaian induktif murni

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \dots\dots\dots (2.21)$$

Jika hambatan pada induktor L diabaikan, maka tidak akan terjadi penurunan potensial $V = IR$ di dalam induktor tersebut, sehingga tegangan sumber sama besar dengan ggl induksi diri V_L . Oleh karena itu:

$$V_L = V = V_o \sin \omega t \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.21) dan (2.22), maka akan didapat:

$$dI = \frac{V_o \sin(\omega t) dt}{L}$$

$$I = \frac{V_o}{L} \int \sin(\omega t) dt$$



$$I = -\frac{V_o}{\omega L} \cos \omega t$$

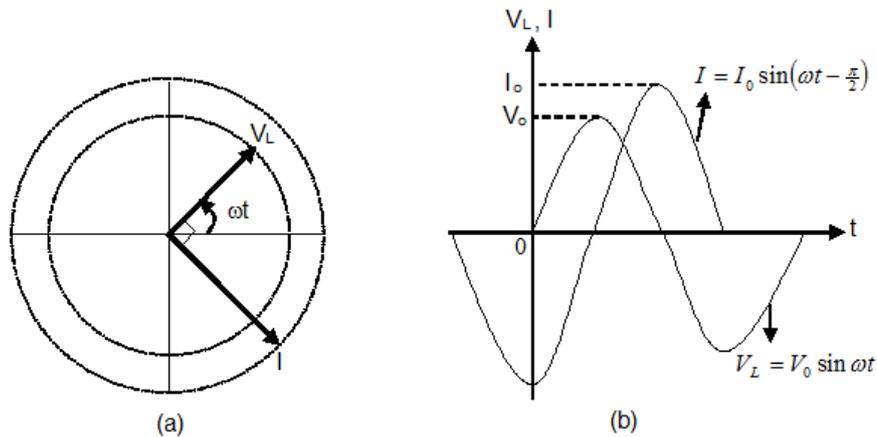
Berdasarkan rumus trigonometri $\sin(\alpha - \beta)$, maka $-\cos \omega t = \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$.

Dengan demikian persamaan arus pada induktor menjadi:

$$I = -\frac{V_o}{\omega L} \cos \omega t = I_o \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

$$I_o = \frac{V_o}{\omega L} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Jika kita bandingkan persamaan (2.22) dengan (2.23), tampak bahwa pada rangkaian induktif murni tegangan dan arus berbeda sudut fase sebesar $\frac{\pi}{2}$ atau 90° . Lebih tepatnya arus tertinggal 90° atau $\frac{1}{2}\pi$ dari tegangan. Keadaan ini dapat digambarkan dengan diagram fasor dan grafik seperti terlihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 (a) Diagram fasor menunjukkan bahwa pada rangkaian induktif murni, arus tertinggal dari tegangan sebesar 90° , (b) Grafik tegangan dan arus terhadap waktu menunjukkan hal yang sama.

Perbandingan antara tegangan dan arus efektif pada rangkaian induktif murni disebut reaktansi induktif (X_L):

$$X_L = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

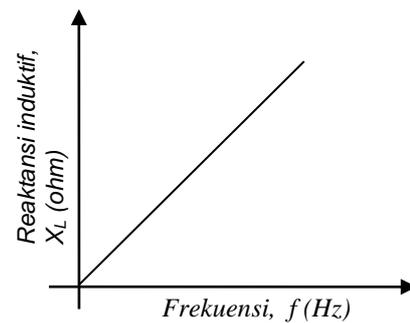
Sebelumnya kita sudah mendapatkan bahwa $I_o = \frac{V_o}{\omega L}$ atau $\omega L = \frac{V_o}{I_o}$ dan

$\frac{V_o}{I_o} = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$ sehingga persamaan reaktansi induktif menjadi;

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad \dots\dots\dots (2.26)$$



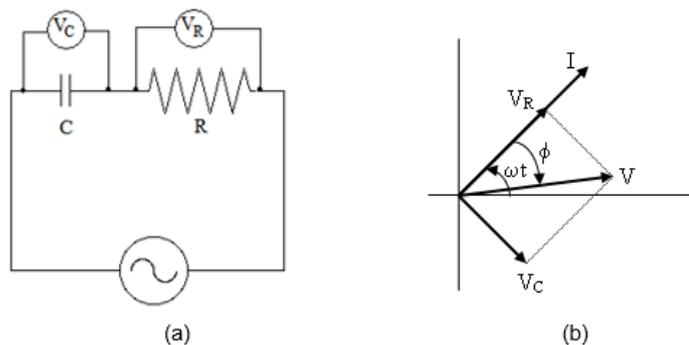
Dari persamaan (2.26) dapat dilihat bahwa reaktansi induktif suatu induktor bergantung pada frekuensi arus bolak-balik f dan induktansi induktor L . Semakin besar frekuensi, maka reaktansi induktif X_L juga semakin besar seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 2.12)



Gambar 2.12 Reaktansi induktif berbanding lurus dengan frekuensi.

d. Rangkaian RC Seri

Gambar 2.13(a) menunjukkan rangkaian seri resistor R dan kapasitor C yang dihubungkan pada sumber tegangan bolak-balik V . Seperti telah kita ketahui bahwa pada rangkaian seri, kuat arus yang mengalir pada setiap komponen rangkaian adalah sama besar. Jadi arus pada resistor sama dengan arus pada kapasitor, $I_R = I_C = I$. Sementara besar tegangan pada resistor V_R tidak sama dengan besar tegangan pada kapasitor V_C .



Gambar 2.13 (a) Rangkaian RC seri, (b) Diagram fasor arus dan tegangan

Gambar 2.13(b) menunjukkan diagram fasor tegangan dan fasor arus pada resistor dan kapasitor. Untuk menggambarkan fasor pada rangkaian seri ini, fasor arus dijadikan sebagai acuan. Tegangan pada ujung-ujung resistor sefase dengan arus, karena itu V_R digambar sejajar dengan I . Sementara itu tegangan pada kapasitor tertinggal 90° dari arus, karena itu V_C digambar dengan sudut 90° di “belakang” I .

Dari Gambar 2.13(b) dapat dilihat bahwa:

$$V^2 = V_R^2 + V_C^2 \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Sementara itu $V_R = IR$ dan $V_C = IX_C$ sehingga persamaan (2.27) menjadi:

$$V^2 = I^2(R^2 + X_C^2)$$

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



$\sqrt{R^2 + X_C^2}$ disebut impedansi rangkaian seri RC yang dilambangkan dengan huruf Z dan satuannya ohm. Impedansi suatu rangkaian merupakan ukuran bagi hambatan rangkaian terhadap arus yang mengalir di dalam rangkaian tersebut. Jadi rumus impedansi rangkaian seri RC adalah

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

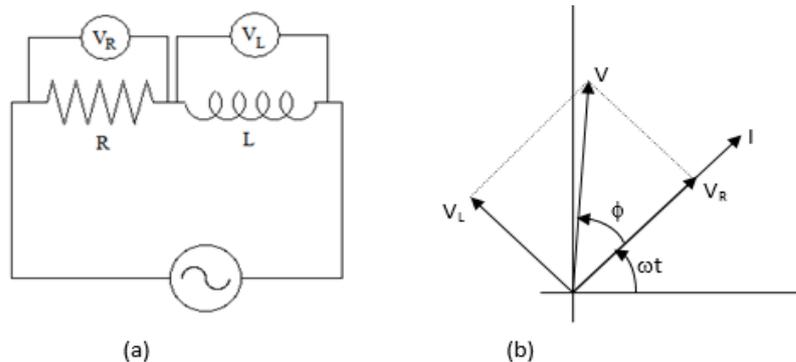
Pada diagram fasor seperti terlihat pada Gambar 2.14(b), arus I mendahului tegangan V dengan sudut fase sebesar ϕ . Dari gambar terlihat bahwa sudut ϕ memenuhi persamaan:

$$\text{tg } \phi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{X_C}{R} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

e. Rangkaian RL Seri

Gambar 2.14(a) menunjukkan rangkaian seri resistor R dan induktor L yang dihubungkan pada sumber tegangan bolak-balik V. Seperti telah kita ketahui bahwa pada rangkaian seri, kuat arus yang mengalir pada setiap komponen rangkaian adalah sama besar. Jadi arus pada resistor sama dengan arus pada induktor, $I_R = I_L = I$. Sementara besar tegangan pada resistor V_R tidak sama dengan besar tegangan pada kapasitor V_L .

Gambar 2.14(b) menunjukkan diagram fasor tegangan dan fasor arus pada resistor dan induktor. Tegangan pada ujung-ujung resistor sefase dengan arus, karena itu V_R digambar sejajar dengan I. Sementara itu tegangan pada induktor mendahului arus sebesar 90° , karena itu V_L digambar dengan sudut 90° di “depan” I.



Gambar 2.14 (a) Rangkaian RL seri, (b) Diagram fasor arus dan tegangan

Dari Gambar 2.14(b) dapat dilihat bahwa:

$$V^2 = V_R^2 + V_L^2 \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Sementara itu $V_R = IR$ dan $V_L = IX_L$ sehingga persamaan (2.30) menjadi:



$$V^2 = I^2(R^2 + X_L^2)$$

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

$\sqrt{R^2 + X_L^2}$ disebut impedansi rangkaian seri RL yang dilambangkan dengan huruf Z dan satuannya ohm. Impedansi suatu rangkaian merupakan ukuran bagi hambatan rangkaian terhadap arus yang mengalir di dalam rangkaian tersebut. Secara matematis, impedansi rangkaian seri RL dinyatakan sebagai:

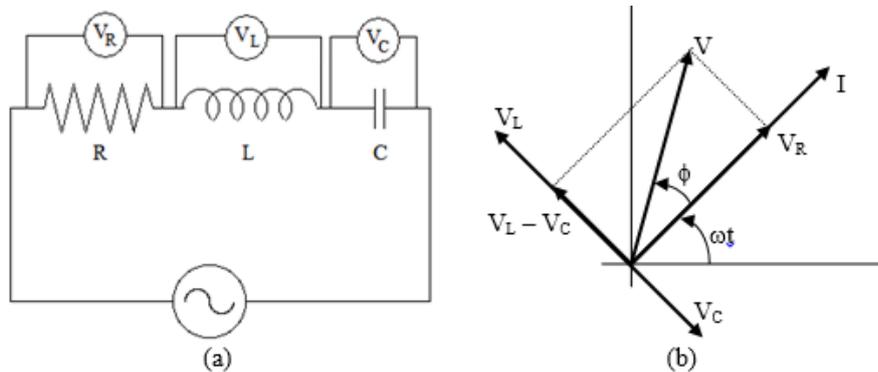
$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Pada diagram fasor seperti terlihat pada Gambar 2.15(b), arus I tertinggal sebesar ϕ dari tegangan V . Dari gambar terlihat bahwa sudut ϕ memenuhi persamaan:

$$\text{tg } \phi = \frac{V_L}{V_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R} \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

f. Rangkaian RLC Seri

Gambar 2.15 (a) memperlihatkan rangkaian RLC seri yang terdiri dari resistor R , induktor L , kapasitor C , dan sumber tegangan bolak-balik. Seperti halnya pada rangkaian RC dan RL seri, sumber tegangan menyebabkan arus yang mengalir pada resistor, induktor, dan kapasitor adalah sama besar. Karena arus I sama untuk semua komponen, maka dalam menggambarkan diagram fasor, fasor I digunakan sebagai acuan (Gambar 2.15b).



Gambar 2.15 (a) Rangkaian RLC seri, (b) Diagram fasor arus (I) dan tegangan (V_R , V_L , dan V_C) pada rangkaian RLC seri.

Fasor tegangan pada resistor V_R berimpit dengan fasor arus karena keduanya sefase. Tegangan pada induktor V_L mendahului arus 90° sementara tegangan pada kapasitor V_C tertinggal 90° dari arus. Fasor tegangan V_L dan V_C terletak pada satu garis dan berlawanan arah, oleh karena itu keduanya dapat dijumlahkan secara



aljabar, sehingga diperoleh $V_L - V_C$. Fasor tegangan total V diperoleh dengan menjumlahkan V_R dengan $V_L - V_C$ secara vektor. Hasilnya sebagai berikut:

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Pada persamaan di atas masing-masing simbol menunjukkan nilai tegangan maksimum, dan jika dibagi $\sqrt{2}$ menghasilkan nilai efektif (rms). Oleh karena itu jika kedua ruas dibagi dengan $(\sqrt{2})^2$ maka didapatkan $V_{rms} = V_0 / \sqrt{2}$. Hasil ini sama persis dengan bentuk persamaan di atas, tetapi untuk nilai tegangan efektif (V_{rms} , V_{R-rms} , V_{C-rms} , dan V_{L-rms}). Namun demikian, untuk mempersingkat penulisan, nilai efektif ini ditulis sebagai V , V_R , V_C , dan V_L .

Sebelumnya sudah diketahui bahwa:

$$V_R = IR, \quad V_L = IX_L, \quad \text{dan} \quad V_C = IX_C \quad \text{maka:}$$

$$V^2 = I^2 R^2 + I^2 (X_L - X_C)^2$$

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

Untuk rangkaian RLC seri, berlaku persamaan sebagai berikut:

$$V = IZ \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana Z adalah impedansi rangkaian, sehingga didapat:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

Impedansi pada rangkaian seri RLC merupakan hambatan total rangkaian yang berasal dari hambatan R , reaktansi kapasitif X_C , dan reaktansi induktif X_L . Perlu diingat, seperti halnya reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif yang bergantung pada frekuensi, impedansi rangkaian RLC seri pun bergantung pada frekuensi, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

Arus yang mengalir pada seluruh komponen rangkaian seri RLC adalah sama besar, oleh karena itu berlaku

$$Z = \frac{V}{I}, \quad R = \frac{V_R}{I}, \quad X_L = \frac{V_L}{I}, \quad \text{dan} \quad X_C = \frac{V_C}{I}$$

Sehingga diagram fasor tegangan pada Gambar 2.15b dapat diganti dengan diagram fasor impedansi Z , R , X_L , dan X_C seperti Gambar 2.16. Berdasarkan



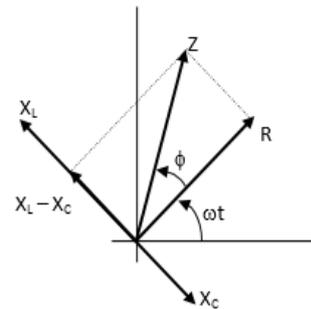
Gambar 2.15b dan 2.32, tangen sudut fase antara fasor arus dan fasor tegangan adalah:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R} \dots\dots\dots (2.37)$$

Sudut fase ϕ sangat penting karena mempunyai pengaruh besar pada daya disipasi oleh rangkaian. Ingat, pada nilai rata-rata, hanya resistor yang "menghabiskan" daya; yaitu

$$\bar{P} = I_{rms}^2 R. \text{ Berdasarkan Gambar 2.16b:}$$

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V} = \frac{I_{rms} R}{I_{rms} Z} = \frac{R}{Z} \text{ sehingga } R = Z \cos \phi$$



Gambar 2.16 Diagram fasor impedansi

Oleh karena itu daya dapat dinyatakan sebagai;

$$\bar{P} = I_{rms}^2 Z \cos \phi = I_{rms} (I_{rms} Z) \cos \phi$$

$$\bar{P} = I_{rms} V_{rms} \cos \phi \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana V_{rms} adalah tegangan efektif generator. Besaran $\cos \phi$ disebut faktor daya rangkaian.

Berdasarkan persamaan (2.37), jika hambatan $R = 0$, maka $\cos \phi = \frac{R}{Z} = 0$.

Sehingga $\bar{P} = I_{rms} V_{rms} \cos \phi = 0$, hasil ini diharapkan karena baik kapasitor maupun induktor tidak menggunakan energi rata-rata. Sebaliknya, jika hanya ada hambatan

R saja, maka $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$ dan $\cos \phi = \frac{R}{Z} = 1$. Dalam kasus ini

$\bar{P} = I_{rms} V_{rms} \cos \phi = I_{rms} V_{rms}$, dimana persamaan ini merupakan daya disipasi rata-rata di dalam resistor.

g. Sifat Rangkaian

Berdasarkan selisih nilai reaktansi induktif X_L dengan reaktansi kapasitif X_C dikenal tiga jenis sifat rangkaian, yaitu:

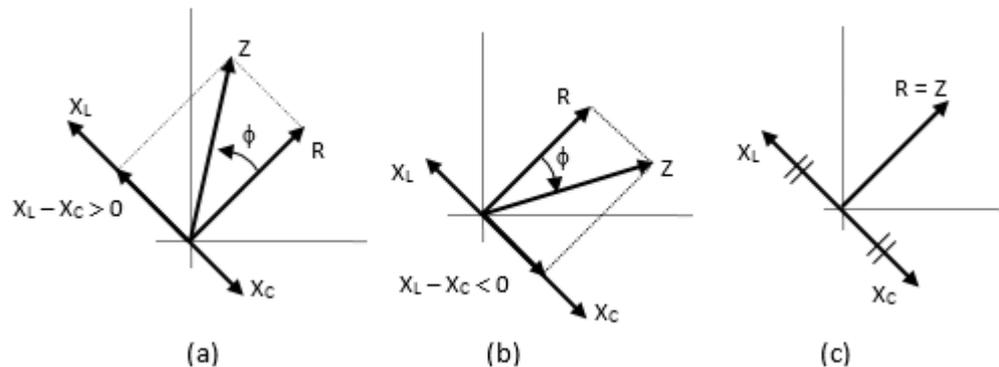
- 1) **Rangkaian bersifat induktif** ($X_L > X_C$), beda sudut fase antara tegangan dan kuat arus bernilai positif ($\operatorname{tg} \phi > 0$) dan tegangan mendahului arus sebesar ϕ , yaitu $0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$.





- 2) **Rangkaian bersifat kapasitif** ($X_L < X_C$), beda sudut fase antara tegangan dan kuat arus bernilai negatif ($\text{tg } \phi < 0$) dan tegangan tertinggal dari arus sebesar ϕ , yaitu $0 \leq |\phi| \leq \frac{\pi}{2}$.
- 3) **Rangkaian bersifat resistif** ($X_L = X_C$), tegangan sefase dengan arus, dan disebut juga rangkaian dalam keadaan resonansi.

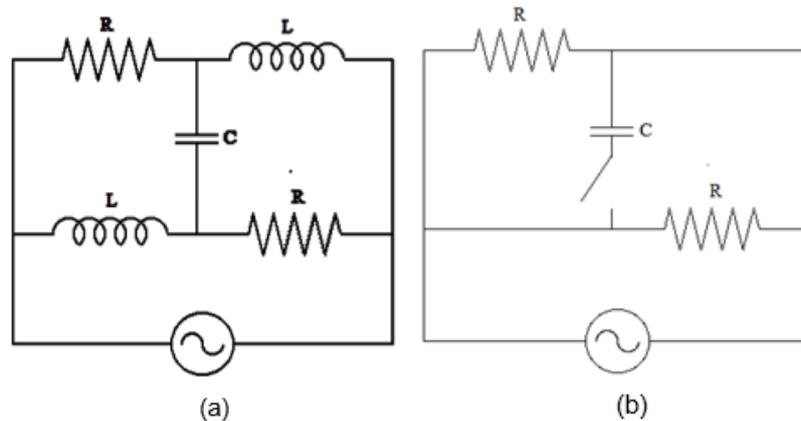
Agar lebih mudah memahami sifat rangkaian tersebut bisa Anda perhatikan Gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Diagram fasor untuk sifat rangkaian, (a) induktif (b) kapasitif (c) resistif

Seperti telah kita ketahui bahwa rangkaian seri RLC dipengaruhi oleh frekuensi. Sementara itu banyak sekali variasi rangkaian yang dapat dibentuk dari resistor, kapasitor, dan induktor. Dengan menganalisa kemungkinan suatu rangkaian, akan membantu kita dalam memahami pengaruh nilai ekstrim frekuensi terhadap tingkah laku kapasitor dan induktor.

Gambar 2.18 menunjukkan suatu rangkaian RLC pada frekuensi sangat kecil. Ketika frekuensi mendekati nol (seperti dalam rangkaian dc), reaktansi kapasitif menjadi sangat besar sehingga tidak ada muatan yang dapat mengalir melalui kapasitor. Keadaan ini sama dengan jika seandainya kapasitor tidak terhubung dengan rangkaian sehingga menjadi terbuka. Pada saat frekuensi mencapai nilai batas nol, reaktansi induktif berkurang menjadi sangat kecil. Sehingga induktor tidak menghambat arus dc. Keadaan ini sama seperti jika induktor diganti oleh kawat yang hambatannya nol.



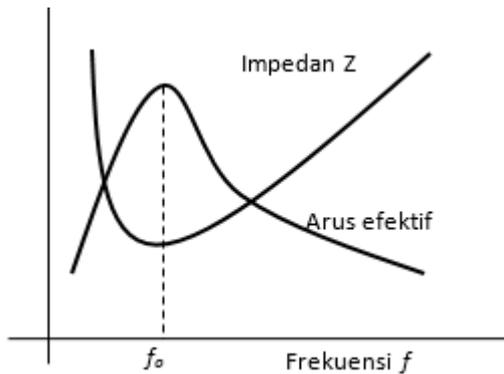
Gambar 2.18 (a) Rangkaian pada frekuensi sangat kecil, (b) Rangkaian pengganti dari gambar (a) untuk frekuensi mendekati nol.

Pada saat frekuensi sangat besar, tingkah laku kapasitor dan induktor berubah sebaliknya. Kapasitor mempunyai reaktansi sangat kecil pada frekuensi tinggi sehingga hanya sedikit melawan arus, hal ini seperti mengganti kapasitor dengan kawat yang tidak memiliki hambatan. Sebaliknya, induktor memiliki reaktansi yang sangat besar ketika frekuensi tinggi, sehingga induktor sangat menghambat arus. Keadaan ini sama dengan jika seandainya induktor dilepas dari rangkaian sehingga rangkaian menjadi terbuka.

5. Resonansi dalam Rangkaian Listrik Bolak-Balik

Telah dibahas di atas bahwa pada rangkaian RLC seri, nilai X_L dan X_C bergantung pada frekuensi f arus bolak-balik yang melaluinya. Jika frekuensi bertambah, X_L juga bertambah, akan tetapi X_C berkurang. Dengan anggapan bahwa R tidak berubah terhadap frekuensi, maka pada suatu frekuensi tertentu $X_L - X_C$ dapat mencapai nilai nol. Pada keadaan demikian impedansi Z seolah-olah hanya terdiri dari hambatan R saja ($Z = R$), dan memiliki nilai minimum. Sehingga rangkaian berperangai seperti rangkaian resistif murni. Fase tegangan sama dengan fase arus, yang berarti tegangan dan arus berjalan serempak. Keadaan seperti ini disebut keadaan resonansi rangkaian dan frekuensinya disebut frekuensi resonansi (f_0).

Gambar 2.19 menunjukkan hubungan antara impedansi, arus efektif, dan frekuensi resonansi. Ketika frekuensi sama dengan f_0 , impedansi mencapai nilai minimum dan arus akan mencapai nilai maksimum.



Gambar 2.19 Dalam rangkaian RLC seri impedansi mencapai minimum, arus mencapai maksimum, ketika frekuensi sama dengan frekuensi resonansi rangkaian.

Persamaan frekuensi resonansi dapat diperoleh dengan menurunkan persamaan berikut:

Pada saat terjadi resonansi $X_L - X_C = 0$ yang berarti $X_L = X_C$ atau

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \longrightarrow f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

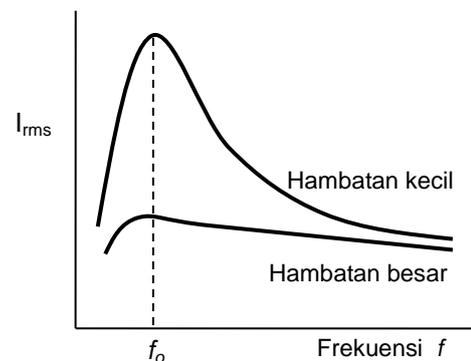
Sehingga persamaan frekuensi resonansi dinyatakan sebagai:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana L = induktansi (henry) dan C = kapasitas kapasitor (farad) dan f_0 = frekuensi resonansi (hertz).

Kita lihat bahwa frekuensi resonansi ditentukan oleh induktansi L dan kapasitas C bukan oleh hambatan. Fungsi hambatan dalam resonansi listrik adalah sebagai "penajam" respon rangkaian yang kurang jelas, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20.

Ketika frekuensi sumber arus bolak-balik sama dengan frekuensi resonansi, maka berlaku:



Gambar 2.20 Pengaruh hambatan pada arus di dalam rangkaian RLC seri.

- Impedansi rangkaian $Z = \sqrt{R^2 + (0)^2} = R$ (nilai Z minimum)
- Kuat arus rangkaian $I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + 0^2}} = \frac{V}{R}$ (nilai I maksimum)

Rangkaian resonansi banyak dimanfaatkan dalam bidang elektronika sebagai pembangkit getaran (*osilator*). Berikut ini beberapa contoh alat elektronika yang menggunakan rangkaian resonansi:



- **Pembangkit getaran listrik variabel**, alat ini memerlukan rangkaian resonansi yang frekuensinya dapat diubah-ubah untuk mendapatkan keluaran yang frekuensinya dapat diubah-ubah pula.
- **Osiloskop sinar katoda**, rangkaian resonansi pada osiloskop sinar katoda diperlukan untuk menimbulkan tegangan bolak-balik yang frekuensinya dapat diatur.
- **Radar, Radio, dan Televisi**, pada radar, radio, dan televisi, rangkaian berfungsi untuk menimbulkan tegangan bolak-balik yang diperlukannya, yang frekuensinya tertentu. Pesawat radio dan televisi juga dilengkapi dengan rangkaian resonansi yang frekuensinya dapat diubah-ubah yang berguna untuk memilih satu frekuensi yang diinginkan dari beberapa frekuensi gelombang radio yang ditangkap oleh antena. Rangkaian seperti ini disebut rangkaian penala.

6. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambatnya. Penemuan gelombang elektromagnetik ini diawali dengan adanya kontribusi Maxwell dalam memodifikasi hukum Ampere. Selanjutnya Maxwell menemukan persamaan yang membentuk dasar teoritis semua persamaan fenomena elektromagnetik. Persamaan ini memprediksi adanya gelombang elektromagnetik yang merambat melalui ruang dengan kecepatan cahaya, c . Hasil prediksi Maxwell tentang adanya gelombang elektromagnetik ini dibuktikan oleh Heinrich Hertz pada tahun 1887. Penemuan tersebut telah menyebabkan terciptanya aplikasi gelombang elektromagnetik dalam sistem komunikasi praktis, termasuk radio, televisi, sistem telepon seluler, dan konektivitas Internet nirkabel.

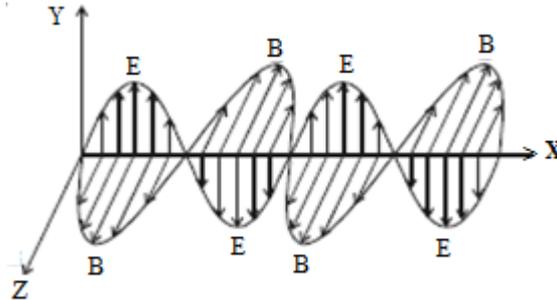
Seperti sudah dibahas sebelumnya, fenomena induksi elektromagnetik Faraday membuktikan bahwa perubahan medan magnetik menghasilkan medan listrik yang besarnya bergantung pada laju perubahan medan magnetik tersebut terhadap waktu. Maxwell pada tahun 1865, menunjukkan bahwa ada simetri di alam (yaitu) jika perubahan medan listrik menghasilkan medan magnetik maka sebaliknya perubahan medan magnetik seharusnya menghasilkan medan listrik. Maxwell menyimpulkan bahwa variasi dalam medan listrik dan magnet saling tegak lurus, menghasilkan gangguan elektromagnetik dalam ruang. Gangguan ini memiliki sifat-sifat gelombang dan merambat melalui ruang tanpa media material. Gelombang ini disebut gelombang elektromagnetik.

Menurut Maxwell, muatan yang dipercepat merupakan sumber radiasi elektromagnetik. Dalam gelombang elektromagnetik, vektor medan listrik dan magnet saling tegak lurus



satu sama lain dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambatan. Mereka memiliki karakter gelombang dan menyebar melalui ruang bebas tanpa medium. Gelombang ini di alam merupakan gelombang transversal.

Gambar 2.21 menunjukkan variasi medan listrik \vec{E} pada arah sumbu Y, medan magnetik \vec{B} pada arah sumbu Z dan arah perambatan gelombang pada arah +X.



Gambar 2.21 Gelombang Elektromagnetik

a. Karakteristik Gelombang Elektromagnetik

- 1) Gelombang elektromagnetik dihasilkan oleh muatan yang dipercepat.
- 2) Mereka tidak memerlukan medium untuk merambatnya
- 3) Dalam gelombang elektromagnetik, vektor medan listrik \vec{E} dan medan magnetik \vec{B} saling tegak lurus satu sama lain dan keduanya tegak lurus terhadap arah perambatan. Oleh karena itu gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal.
- 4) Variasi maksimum dan minimum kedua vektor medan listrik \vec{E} dan medan magnetik \vec{B} terjadi serentak.
- 5) Mereka melakukan perjalanan dalam ruang hampa atau ruang bebas dengan kecepatan $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ yang diperoleh dari persamaan

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (\mu_0 - \text{permeabilitas ruang hampa dan } \epsilon_0 - \text{permitivitas hampa})$$

- 6) Energi dalam gelombang elektromagnetik terbagai sama besar antara vektor medan listrik dan magnet.
- 7) Gelombang elektromagnetik yang tidak bermuatan, tidak dibelokkan oleh medan listrik dan magnet.

b. Percobaan Hertz

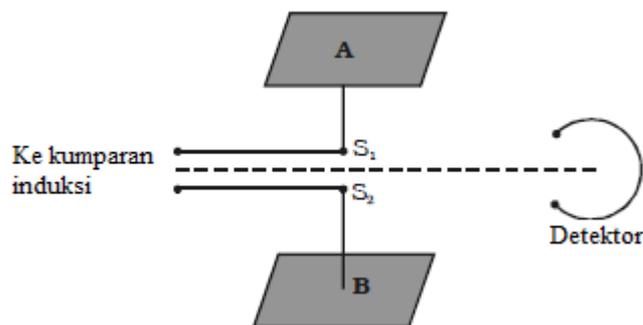
Keberadaan gelombang elektromagnetik dibuktikan melalui eksperimen oleh Hertz pada tahun 1888. Penelitian ini didasarkan pada kenyataan bahwa muatan listrik



yang beresilasi memancarkan gelombang elektromagnetik. Energi gelombang ini disebabkan energi kinetik dari muatan yang beresilasi.

Susunan eksperimental Hertz ditunjukkan pada Gambar 2.22. Alat tersebut terdiri dari dua pelat logam A dan B ditempatkan pada jarak 60 cm satu sama lain. Kedua pelat logam terhubung ke dua bola logam mengkilap S_1 dan S_2 melalui kawat tembaga tebal. Beda potensial yang tinggi dibangkitkan di celah kecil antara bidang dengan menggunakan kumparan induksi.

Karena terjadi beda potensial tinggi antara S_1 dan S_2 , udara di celah kecil antara lingkungan akan terionisasi dan memberikan jalan bagi keluarnya muatan dari piring. Sebuah percikan diproduksi antara S_1 dan S_2 dan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi dipancarkan. Hertz mampu menghasilkan gelombang elektromagnetik dari frekuensi sekitar 5×10^7 Hz.

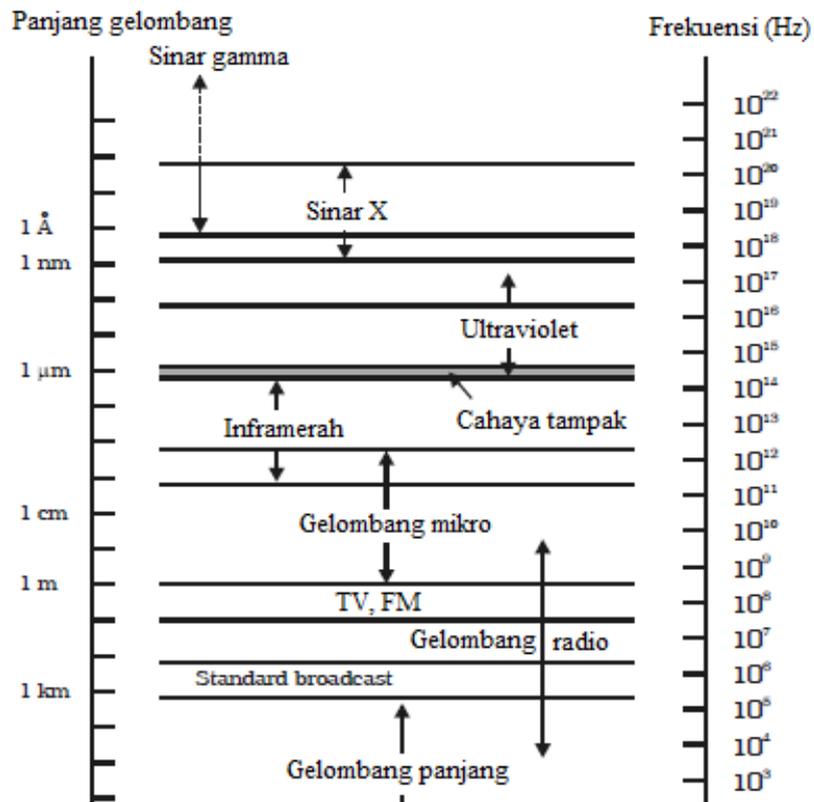


Gambar 2.22 Eksperimen Hertz

Piring A dan B bertindak sebagai kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi kecil C dan kabel penghubung memberikan induktansi rendah L . Frekuensi osilasi tinggi dari muatan antara pelat diberikan oleh $= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

c. Spektrum Elektromagnetik

Setelah demonstrasi gelombang elektromagnetik oleh Hertz, melalui berbagai cara eksitasi dihasilkanlah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berde-a-beda.



Gambar 2.23 Spektrum Elektromagnetik

Distribusi gelombang elektromagnetik secara berurutan menurut panjang gelombang atau frekuensi disebut spektrum elektromagnetik. Spektrum elektromagnetik mencakup berbagai panjang gelombang (atau) frekuensi. Keseluruhan spektrum elektromagnetik telah diklasifikasikan ke dalam berbagai bagian dan sub bagian, berdasarkan peningkatan panjang gelombang dan jenis eksitasinya. Semua gelombang elektromagnetik bergerak dengan kecepatan cahaya. Sifat fisik gelombang elektromagnetik ditentukan oleh panjang gelombang mereka dan bukan oleh metode eksitasinya. Tumpang tindih di bagian-bagian tertentu dari spektrum menunjukkan bahwa gelombang tertentu dapat diproduksi dengan metode yang berbeda. Tabel 2.1 menunjukkan berbagai daerah spektrum elektromagnetik dengan sumbernya, rentang panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik yang berbeda.



Tabel 2.1. Rentang spektrum elektromagnetik dan sumbernya

NO	Nama	Sumber	Rentang Panjang Gelombang (m)	Rentang Frekuensi (Hz)
1	Sinar γ	Inti radioaktif, reaksi nuklir	$10^{-14} - 10^{-10}$	$3 \times 10^{22} - 3 \times 10^{18}$
2	Sinar X	Elektron berenergi tinggi yang tiba-tiba dihentikan oleh target logam	$1 \times 10^{-10} - 3 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{18} - 1 \times 10^{16}$
3	Ultraviolet	Atom dan molekul dalam lucutan listrik	$6 \times 10^{-10} - 4 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{17} - 8 \times 10^{14}$
4	Cahaya tampak	Padatan berpijar, lampu pijar	$4 \times 10^{-7} - 8 \times 10^{-7}$	$8 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14}$
5	Infra merah	Molekul benda panas	$8 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{14} - 1 \times 10^{13}$
6	Gelombang mikro	Benda elektronik (tabung vakum)	$10^{-3} - 0.3$	$3 \times 10^{11} - 1 \times 10^9$
7	Gelombang radio	Muatan yang dipercepat melalui kawat konduksi	$10 - 10^4$	$3 \times 10^7 - 3 \times 10^4$

d. Penggunaan Spektrum Elektromagnetik

Berikut ini adalah beberapa penggunaan gelombang elektromagnetik.

- 1) Gelombang radio: Gelombang ini digunakan dalam sistem komunikasi radio dan televisi. Saluran AM dari 530 kHz ke 1710 kHz. Frekuensi yang lebih tinggi dari 54 MHz digunakan untuk saluran gelombang pendek. Gelombang televisi berkisar dari 54 MHz ke 890 MHz. Saluran FM adalah dari 88 MHz ke 108 MHz. Telepon selular menggunakan gelombang radio di saluran frekuensi ultra tinggi (UHF).
- 2) Gelombang mikro: Karena panjang gelombangnya pendek, mereka digunakan dalam sistem komunikasi radar. *Microwave oven* merupakan aplikasi domestik dari gelombang ini.
- 3) Gelombang Infra merah:
 - i. lampu inframerah digunakan dalam fisioterapi.
 - ii. foto inframerah digunakan dalam peramalan cuaca.
 - iii. sebagai radiasi inframerah tidak diserap oleh udara, kabut tebal, kabut dll, mereka digunakan untuk mengambil foto dari benda-benda jarak jauh.
 - iv. spektrum penyerapan infra merah digunakan untuk mempelajari molekul struktur.
- 4) Cahaya tampak: Cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan dari objek di sekitar kita memberikan informasi tentang dunia. Rentang panjang gelombang cahaya tampak adalah 4000 Å sampai dengan 8000 Å.



- 5) Radiasi ultra-violet
 - i. radiasi digunakan untuk menghancurkan bakteri dan untuk sterilisasi peralatan bedah.
 - ii. radiasi ini digunakan dalam deteksi dokumen palsu, sidik jari di laboratorium forensik.
 - iii. digunakan untuk mengawetkan makanan.
 - iv. membantu untuk menemukan struktur atom.
- 6) Sinar X :
 - i. digunakan sebagai alat diagnostik dalam kedokteran.
 - ii. digunakan untuk mempelajari struktur kristal dalam padatan.
- 7) Sinar- γ : Studi sinar γ memberikan informasi yang berguna tentang struktur nuklir dan digunakan untuk pengobatan kanker.

D. Aktivitas Pembelajaran

Setelah mengkaji materi arus listrik bolak balik Anda dapat mempelajari kegiatan eksperimen dan non eksperimen yang dalam modul ini disajikan dalam bentuk lembar kegiatan. Untuk kegiatan ekaperimen, Anda dapat mencobanya mulai dari persiapan alat bahan, melakukan percobaan dan membuat laporannya. Sebaiknya Anda mencatat hal-hal penting untuk keberhasilan percobaan, hal ini sangat berguna bagi Anda sebagai catatan untuk mengimplementasikannya di sekolah.

Lembar Kerja 1

OSILOSKOP

Tujuan

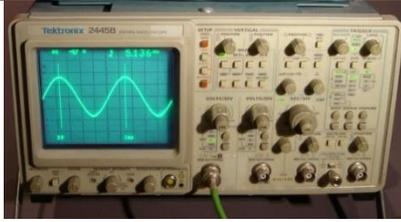
- Menganalisis perilaku arus dan tegangan pada rangkaian bolak balik
- Menentukan tegangan maksimum, tegangan rms, dan frekuensi arus bolak-balik.
- Menentukan tegangan searah

Alat dan Bahan

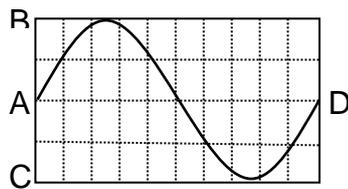
- Osiloskop
- Catu daya
- Baterai

Langkah Kegiatan

1. Perhatikan bagian-bagian dari osiloskop di bawah.



2. Hidupkan osiloskop dengan menekan tombol power.
3. Atur ketajaman garis pada layar dengan memutar tombol intensitas dan tombol fokus.
4. Nyalakan catu daya dan putar tombol keluaran tegangan 3 volt AC.
5. Tayangan pada osiloskop seperti pada gambar di bawah.



Tombol volt/div menunjukkan 2 volt/div
Tombol time/div menunjukkan 2 ms

Cara membaca :

Hitung berapa div (kotak) jarak amplitudo dari A – B, yaitu 2 div

Berarti :

- Tegangan maksimum = $V_{\max} = 2 \text{ div} \times 2 \text{ volt/div} = 4 \text{ volt}$
- Tegangan minimum = $V_{\min} = -2 \text{ div} \times 2 \text{ volt/div} = -4 \text{ volt}$
- Untuk mengetahui frekuensi, hitunglah berapa div (kotak) jarak satu gelombang penuh yaitu dari A ke D = 10 div

Periode $T = 20 \times 10^{-3}$ sekon

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ Hz}$$

Tugas

1. Aturlah penunjuk tombol volt/div pada posisi 1 volt/div dan 5 ms. Lukiskan gambar gelombang yang ditayangkan osiloskop pada kertas grafik dan hitunglah tegangan maksimum, tegangan minimum, tegangan puncak ke puncak, dan hitunglah frekuensinya.
2. Aturlah penunjuk tombol pada posisi 5 volt/div dan 10 ms. Lukiskan gambar gelombang yang ditayangkan osiloskop pada kertas grafik dan hitunglah tegangan maksimum, tegangan minimum, tegangan puncak ke puncak, dan frekuensinya.
3. Dari V_{\max} yang diukur/dihitung dari gambar, coba hitung V_{rms} !
4. Ganti catudaya dengan baterai, aturlah penunjuk tombol volt/div pada posisi 1 volt/div dan time/div 5 ms. Kemudian lukiskan gambar yang terlihat pada layar ke kertas grafik dan hitung tegangannya.



Kesimpulan:

.....

.....

.....

.....

Lembar Kerja 2

RANGKAIAN SERI RLC

Tujuan

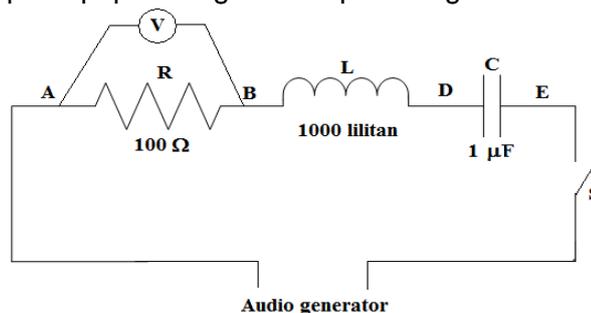
Mempelajari sifat tegangan bolak-balik pada rangkaian seri hambatan R, kumparan L, dan kapasitor C.

Alat dan Bahan

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. Kapasitor $1\mu\text{F}$ | 7. Papan rangkaian |
| 2. Hambatan tetap $100\ \Omega$ | 8. Saklar 1 kutub |
| 3. Kumparan 1000 lilitan | 9. Multimeter |
| 4. Kabel penghubung merah | 10. Audio generator |
| 5. Kabel penghubung hitam | 11. Inti besi I |
| 6. Jembatan penghubung | |

Persiapan Percobaan

1. Siapkan peralatan/komponen sesuai dengan daftar alat/bahan.
2. Buat rangkaian pada papan rangkaian seperti diagram di bawah ini:



- Saklar pada posisi terbuka (posisi 0)
 - Inti besi I dimasukkan ke dalam kumparan L.
 - Resistor R, kumparan L, dan kapasitor C disusun seri.
 - Sebuah multimeter sebagai voltmeter dengan batas ukur 10 V AC.
3. Hubungkan audio generator ke sumber tegangan (alat masih dalam keadaan mati/off).
 - Pilih skala tegangan $10 \times 10\ \text{m Vrms}$
 - Pilih bentuk gelombang sinusoidal.
 - Pilih frekuensi awal 100 Hz ($10 \times 10\ \text{Hz}$)



4. Hubungkan rangkaian ke audio generator (gunakan kabel penghubung)
5. Periksa kembali rangkaian.

Langkah Kegiatan

1. Hidupkan audio generator.
2. Tutup saklar *S*, baca V_R (tegangan hambatan *R*) pada voltmeter, catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan.
3. Buka saklar *S*, kemudian pindahkan voltmeter ke titik B dan D untuk mengukur tegangan kumparan *L*.
4. Tutup saklar *S*, baca V_L (tegangan kumparan *L*) pada voltmeter, catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan.
5. Buka saklar *S*, kemudian pindahkan voltmeter ke titik D dan E untuk mengukur tegangan kapasitor *C*.
6. Tutup saklar *S*, baca V_C (tegangan kapasitor *C*) pada voltmeter, catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan.
7. Buka saklar *S*, kemudian pindahkan voltmeter ke titik A dan E untuk mengukur tegangan rangkaian.
8. Tutup saklar *S*, baca V_{tot} (tegangan rangkaian) pada voltmeter, catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan.
9. Ulangi langkah b sampai dengan h untuk frekuensi 500 Hz dan 1000 Hz.
10. Selesaikanlah seluruh isian tabel.

Hasil Pengamatan

Frekuensi (Hz)	Tegangan V_R	Tegangan V_L	Tegangan V_C	Tegangan Total V_{tot}	$\sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$
100					
500					
1000					

Bandingkan nilai V_{tot} dengan $\sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$

Kesimpulan:

.....

.....

.....

.....



Lembar Kerja 3

SIFAT GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Tujuan

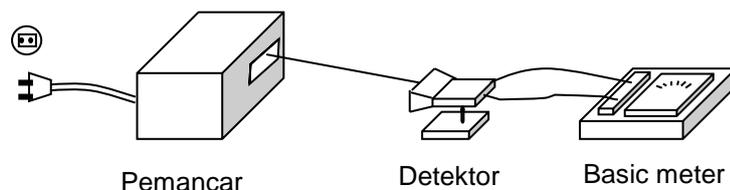
Memahami karakteristik dari gelombang elektromagnetik

Alat dan Bahan

1. Pemancar gelombang 3 cm
2. Penghalang : plastik, kayu, alumunium, kisi-kisi sejajar dari logam, basic meter, kaca plan paralel/prisma parafin (parafin atau lilin di cetak bentuk prisma).
3. Detektor gelombang 3 cm

Persiapan Percobaan

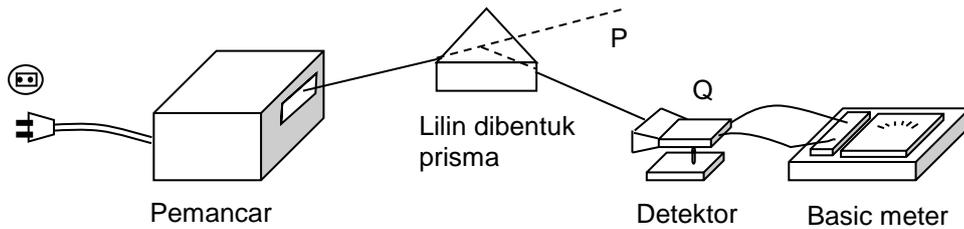
1. Pasanglah alat-alat seperti pada gambar di bawah ini !



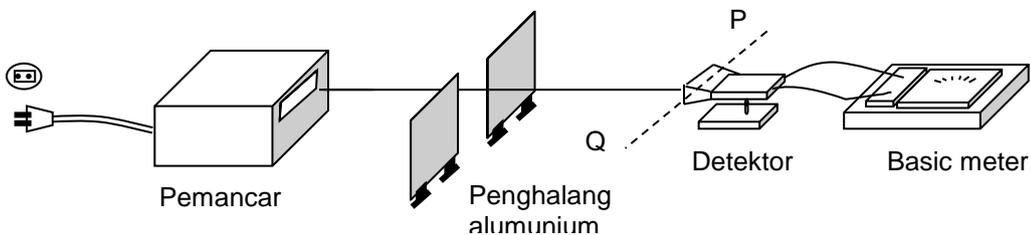
2. Bila rangkaiannya sudah benar, hidupkanlah pemancar.
3. Aturilah tombol-volume hingga jarum basic meter menyimpang
4. Amati daya-penerus penghalang dengan menempatkan penghalang-penghalang tersebut diantara pemancar dan detektor secara bergantian, kemudian melihat simpangan jarum basic meter.

Penghalang	Simpangan Jarum Meter
Penghalang kayu	
Penghalang plastik	
Penghalang alumunium	

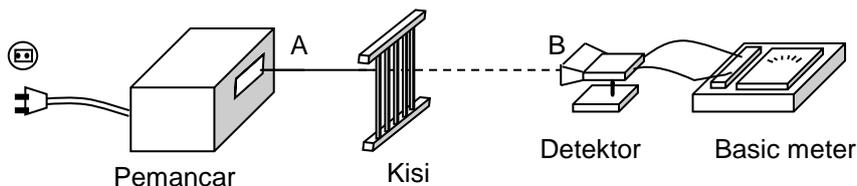
5. Tempatkan alat-alat seperti pada gambar berikut (pemancar dalam keadaan hidup)
6. Selidiki sifat pantulan dengan mengubah-ubah sudut datang (posisi pemancar dan detektor). Apakah gelombang elektromagnetik tunduk pada hukum pemantulan ?
7. Tempatkan alat-alat seperti pada gambar di bawah !



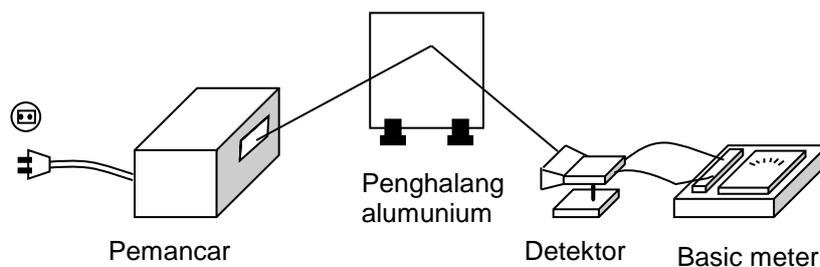
8. Amati basic meter !
9. Menyimpangkah basic meter bila detector ditempatkan disekitar P?
10. Menyimpangkah basic meter bila detector ditempatkan disekitar Q?
11. Apa yang disimpulkan dari pengamatan di atas ?
12. Pasanglah alat-alat seperti gambar di bawah. Kemudian gerakkan detector sepanjang garis PQ. Bagaimana besar simpangan basic meter yang menunjukkan intensitas gelombang elektromagnetik tertangkap oleh detector?



13. Bagaimanan intensitas gelombang elektromagnetik yang tertangkap oleh detector di berbagai tempat sepanjang PQ ?
14. Kesimpulan apa yang dapat ditarik dari pengamatan diatas ?
15. Pasanglah alat-alat seperti pada gambar di bawah. Bidang kiri tegak lurus garis AB.
16. Mula-mula kisi dipasang vertikal, kemudian diubah menjadi horizontal



17. Bila kita amati basic meter, pada setiap posisi kesimpulan apa yang dapat ditarik dari pengamatan tersebut ?





Kesimpulan:

.....
.....
.....
.....

E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Dalam rangkaian RLC, dapatkah tegangan rms pada (a) induktor, (b) kapasitor, lebih besar daripada tegangan rms sumber AC? Jelaskan!
2. Jelaskan secara singkat bagaimana frekuensi ggl sumber mempengaruhi impedansi dari (a) hambatan murni, (b) kapasitas murni, (c) induktansi murni, (d) rangkaian RLC yang mendekati resonansi (R kecil).
3. Bagaimana caranya membuat impedansi pada rangkaian RLC mencapai minimum?
4. Pada frekuensi berapa sebuah kapasitor $7,5 \mu\text{F}$ mempunyai reaktansi 168Ω ?
5. Tiga buah kapasitor yang masing-masing memiliki kapasitas $2,0 \mu\text{F}$, $4,0 \mu\text{F}$, dan $7,0 \mu\text{F}$ dirangkaiakan paralel. Kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan ac 36 V dan frekuensi 440 Hz . (a) Berapakah kapasitas total? (b) Berapakah kuat arus total yang mengalir pada rangkaian?
6. Berapakah induktansi sebuah induktor yang mempunyai reaktansi $1,8 \text{ k}\Omega$ pada frekuensi $4,2 \text{ kHz}$?
7. Sebuah induktor dengan induktansi 14 mH dihubungkan dengan sumber tegangan ac yang memiliki tegangan maksimum $6,3 \text{ V}$ dan frekuensi 50 Hz . Tentukan (a) reaktansi induktif dan (b) arus maksimum yang mengalir di dalam induktor!
8. Reaktansi sebuah induktor adalah 160Ω ketika frekuensi 450 Hz . Berapakah reaktansinya ketika 1350 Hz ?
9. Rangkaian seri yang terdiri dari resistor 215Ω dan induktor $0,2 \text{ H}$ dihubungkan dengan generator 234 V dan frekuensi 106 Hz . (a) Berpakah arus yang mengalir dalam rangkaian? (b) Tentukan sudut antara arus dan tegangan!
10. Sebuah rangkaian seri yang terdiri dari resistor 275Ω , reaktansi induktif 648Ω , dan reaktansi kapasitif 415Ω dihubungkan dengan sumber tegangan 84 V . Berpakah kuat arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut?
11. Rangkaian RLC seri terdiri dari resistor $47,0 \Omega$, kapasitor $2,00 \mu\text{F}$, dan induktor $4,00 \text{ mH}$. Ketika frekuensi 2550 Hz , berapakah faktor daya rangkaian?
12. Rangkaian RLC seri memiliki kapasitor dengan kapasitas $1,20 \mu\text{F}$ dan induktor dengan induktansi $2,00 \text{ mH}$. Berpakah frekuensi resonansi rangkaian tersebut?



13. Sebuah rangkaian RLC seri terdiri dari resistor $R = 150 \text{ ohm}$, kapasitor $C = 15 \mu\text{F}$, dan induktor $L = 230 \text{ mH}$. Rangkaian ini dihubungkan pada sumber tegangan yang memiliki nilai efektif 220 volt dengan frekuensi 50 Hz. Hitunglah: (a) reaktansi kapasitif, (b) reaktansi induktif, (c) impedansi rangkaian, (d) arus yang mengalir dalam rangkaian, dan (e) sudut fase.

F. Rangkuman

Arus listrik bolak balik atau AC (*alternating current*) adalah arus yang besar dan arahnya berubah dalam selang waktu tertentu.

Tegangan atau arus efektif disebut juga tegangan atau arus rms (*root mean square*) merupakan nilai yang akan menghasilkan usaha yang sama dengan usaha yang dihasilkan oleh tegangan dan arus searah.

Persamaan tegangan bolak-balik dinyatakan sebagai:

$$V = V_{maks} \sin \omega t = V_{maks} \sin 2\pi f t$$

Persamaan arus bolak-balik dinyatakan sebagai: $I = I_0 \sin \omega t = I_0 \sin 2\pi f t$.

Daya rata-rata pada rangkaian bolak-balik dinyatakan dengan persamaan:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} I_0 V_0 = I_{rms} V_{rms}. \text{ Daya disipasi adalah daya yang berubah menjadi kalor: } \bar{P} = I_{rms}^2 R$$

Hubungan antara arus atau tegangan maksimum dan arus atau tegangan efektif (rms)

$$\text{dinyatakan sebagai: } I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \text{ dan } V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}.$$

Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan dan hambatan R disebut rangkaian resistif murni. Pada rangkaian resistif murni, tegangan pada resistor sefase dengan arus yang melewati resistor tersebut.

Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan V dan kapasitor C disebut rangkaian kapasitif murni. Pada rangkaian kapasitif murni, kuat arus mendahului tegangan dengan sudut fase sebesar 90° atau $\frac{1}{2} \pi$. Persamaan tegangan dan arus pada rangkaian kapasitif murni:

$$V_C = V_0 \sin \omega t \text{ dan } I = I_0 \cos \omega t = I_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \text{ Reaktansi kapasitif didefinisikan}$$

sebagai perbandingan antara tegangan dan kuat arus pada kapasitor:

$$X_C = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \text{ atau } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Rangkaian yang hanya berisi sumber tegangan V dan induktor L disebut rangkaian induktif murni. Pada rangkaian induktif murni, arus tertinggal 90° atau $\frac{1}{2} \pi$ dari tegangan.

Persamaan tegangan dan arus pada rangkaian induktif murni: $V_L = V_0 \sin \omega t$ dan



$I = -\frac{V_o}{\omega L} \cos \omega t = I_o \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$. Reaktansi induktif didefinisikan sebagai perbandingan

antara tegangan dan kuat arus pada induktor: $X_L = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$ atau $X_L = \omega L = 2\pi fL$.

Pada rangkaian RC seri, arus I mendahului tegangan V dengan sudut fase sebesar ϕ atau tegangan tertinggal sebesar ϕ dari arus, dimana berlaku hubungan: $tg \phi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{X_C}{R}$.

Pada rangkaian RL seri, arus I tertinggal sebesar ϕ dari tegangan V atau tegangan mendahului arus dengan sudut fase sebesar ϕ , dimana berlaku hubungan: $tg \phi = \frac{V_L}{V_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R}$.

Besar impedansi pada rangkaian RLC seri, dinyatakan dengan $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.

Sudut fase antara arus dan tegangan pada rangkaian RLC seri adalah ϕ , dimana berlaku hubungan: $tg \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$.

Rangkaian dikatakan berada dalam keadaan resonansi jika tegangan sefase dengan arus, dan frekuensinya disebut frekuensi resonansi (f_o), $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Daya pada rangkaian listrik bolak-balik dinyatakan dengan $\bar{P} = I_{rms} V_{rms} \cos \phi$ Besaran $\cos \phi$ disebut faktor daya rangkaian, dimana $\cos \phi = \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z}$.

Maxwell menyimpulkan bahwa variasi dalam medan listrik dan magnet saling tegak lurus, menghasilkan gangguan elektromagnetik dalam ruang yang memiliki sifat-sifat gelombang dan merambat melalui ruang tanpa media gangguan ini gelombang elektromagnetik.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan soal latihan ini, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan melihat kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silahkan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan Pembelajaran ini.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

CAHAYA

Kehidupan kita di dunia ini tidak pernah terlepas dari cahaya. Dengan adanya cahaya kita bisa melihat beraneka ragam bentuk dan warna benda yang begitu indah dan mengagumkan. Bisa kita bayangkan jika seandainya tidak ada cahaya, maka dunia ini akan gelap gulita dan membosankan. Oleh karena itu kita patut bersyukur kepada Allah SWT Sang Maha Pencipta yang telah menjadikan ciptaanNya begitu sempurna. Selain cahaya, kitapun dilengkapi dengan mata sebagai alat penglihatan. Dengan adanya cahaya dan mata inilah yang menyebabkan kehidupan ini begitu indah. Yang menjadi pertanyaan, mengapa kita bisa melihat objek disekitar kita? Berdasarkan penelitian para fisikawan, manusia bisa melihat karena adanya peristiwa pemantulan cahaya. Yaitu, cahaya yang berasal dari sumbernya jatuh kepada benda kemudian oleh benda tersebut dipantulkan ke mata kita sehingga kita bisa melihat. Pemantulan cahaya merupakan salah satu konsep fisika yang dipelajari dalam cabang ilmu Fisika yaitu, Optika Geometri.

Dalam Kegiatan Pembelajaran 3 ini akan dibahas lebih mendalam tentang teori cahaya, sumber cahaya, sifat-sifat sumber cahaya, pemantulan, hukum pemantulan, cermin datar dan cermin lengkung (cembung/cekung).

A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat memahami materi tentang cahaya alam, sinar dan bayangan, sumber cahaya, sifat-sifat sumber cahaya, pemantulan dan cermin; hukum pemantulan, cermin cembung/cekung.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

1. Membedakan teori-teori tentang cahaya yang dikemukakan oleh para ilmuwan.
2. Menjelaskan percobaan-percobaan tentang cahaya yang pernah dilakukan oleh para ilmuwan.
3. Menentukan sifat bayangan pada cermin datar.
4. Menentukan sifat bayangan pada cermin lengkung.



C. Uraian Materi

1. Teori Tentang Cahaya

Cahaya sudah dikenal sejak manusia pertama diciptakan, tetapi hanya beberapa orang ilmuwan saja yang memikirkan apa sebenarnya cahaya. Berikut ini adalah teori-teori tentang cahaya dan percobaan-percobaan yang berhubungan dengan cahaya:

- a. Menurut Socrates dan Plato (abad ke 5 dan 6 SM), bahwa cahaya merambat dari mata seseorang ke objek sehingga kita dapat melihat objek tersebut.
- b. Pythagoras berpendapat bahwa cahaya terbentuk dari partikel yang memancar dari objek ke mata.
- c. Sekitar abad ke 4 SM, Filosofi Yunani, Aristotle berpendapat bahwa cahaya adalah gelombang seperti gelombang air.
- d. Sekitar tahun 1500, Leonardo da Vinci berpendapat bahwa ada kesamaan antara bunyi dan cahaya yaitu sebagai gelombang.
- e. Menurut Fisikawan Inggris, Isaac Newton (1642 – 1727), cahaya terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan yang dipancarkan dari sumbernya ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi. Pendapat Newton ini dikenal sebagai *teori emisi*.
- f. Fisikawan Belanda, Christian Huygens (1629 – 1695) berpendapat bahwa cahaya adalah gejala gelombang. Seperti halnya bunyi, cahaya merambat dengan perantaraan gelombang. Sebagai medium perambatan bukan udara melainkan zat hipotetik yang disebut eter. Pendapat Huygens dikenal sebagai *teori gelombang*.
- g. Max Planck (1858 – 1947), fisikawan Jerman berpendapat bahwa cahaya terdiri dari paket-paket energi yang disebut kuantum. Kuantum energi cahaya disebut foton. Pendapat ini dikenal sebagai *Teori Kuantum Cahaya*.

2. Percobaan-Percobaan Tentang Cahaya

- a. *Percobaan Fresnel dan Young*. Hampir dalam waktu yang bersamaan di tempat yang berbeda Fisikawan Inggris, Thomas Young (1773 – 1829) dan fisikawan Perancis, Augustin Fresnel (1788 – 1827) melakukan percobaan yang menyimpulkan bahwa cahaya dapat melentur dan berinterferensi (difraksi cahaya). Hasil percobaan ini mendukung teori gelombang karena peristiwa interferensi cahaya hanya bisa dijelaskan jika cahaya dianggap sebagai gelombang.



- b. *Percobaan Foucault*. Fisikawan Perancis, Jean-Bernard-Leon Foucault (1819 – 1868) dapat menghitung cepat rambat cahaya dalam berbagai medium dengan akurat.
- c. *Teori Maxwell*. Pemikiran yang paling penting dalam pengembangan teori cahaya sebagai gelombang adalah hasil kerja fisikawan Scotlandia, James Clerk Maxwell (1831 – 1879). Maxwell berpendapat bahwa cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan ketika gaya listrik mempercepat partikel bermuatan listrik di dalam atom. Teori ini dikenal juga sebagai teori *gelombang elektromagnetik*.

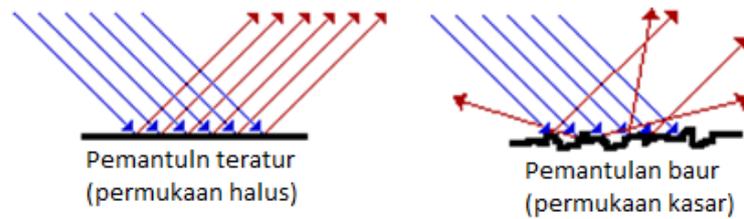
Dari beberapa teori dan percobaan yang dijelaskan di atas, sudahkan terjawab pertanyaan – apa itu cahaya? Saat ini para ilmuwan percaya bahwa cahaya memiliki dua sifat yaitu sebagai gelombang juga sebagai partikel. Cahaya dianggap sebagai gelombang ketika menjelaskan fenomena interferensi, difraksi dan polarisasi. Sedangkan yang berhubungan dengan mekanika kuantum seperti efek fotolistrik maka cahaya dianggap sebagai partikel.

3. Perbedaan Optika Geometri dan Optika Fisis

Optika merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang cahaya, sumbernya, penyebarannya, dan akibat yang ditimbulkan. Ada dua cabang optika yaitu *optika geometri* dan *optika fisis*. Optika geometri adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari perilaku cahaya sebagai gelombang seperti pemantulan (refleksi) dan pembiasan (refraksi). Sementara optika fisis mempelajari perilaku cahaya sebagai gelombang, dan bahwa rentetan efek gelombang yang tiba pada suatu titik bergantung pada fase gelombang-gelombang itu dan juga pada amplitudonya. Maka pada optika fisis dipelajari sifat-sifat interferensi, difraksi dan polarisasi cahaya.

4. Pemantulan pada Cermin Datar

Semua benda, baik yang tembus cahaya maupun yang tidak tembus cahaya, akan memantulkan sebagian cahaya yang mengenainya. Jika permukaan benda yang memantulkan cahaya itu halus seperti cermin, maka cahaya akan dipantulkan secara teratur. Pemantulan demikian disebut pemantulan teratur atau *specular*. Jika cahaya mengenai permukaan-permukaan kasar, maka cahaya akan dipantulkan ke segala arah. Pemantulan demikian disebut pemantulan baur atau *diffuse reflection* (Gambar 3.1).

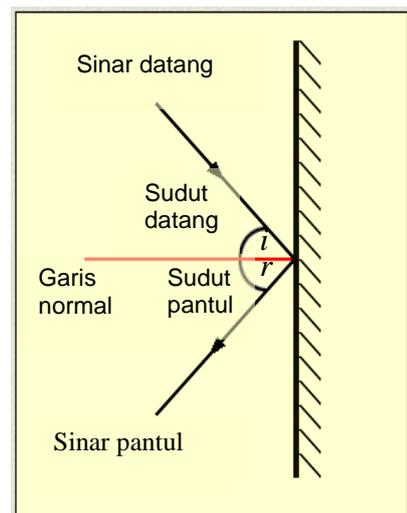


Gambar 3.1 Pemantulan teratur dan pemantulan baur

Bagaimanakah jika sinar matahari yang sampai ke bumi hanya mengalami pemantulan teratur? Tentu saja kita hanya dapat melihat benda-benda yang terkena langsung oleh sinar matahari. Segala sesuatu yang ada dalam bayangan pepohonan dan bangunan akan gelap, sehingga kita tidak melihatnya. Beruntunglah sinar matahari mengalami pemantulan baur oleh permukaan bumi dan partikel-partikel debu di udara sehingga kita dapat melihat benda-benda di sekitar kita yang tidak terkena langsung oleh sinar matahari. Dalam bahan ajar ini hanya dibahas pemantulan teratur, sehingga jika disebut pemantulan, maka yang dimaksud adalah pemantulan teratur.

Hukum Pemantulan

Pemantulan cahaya dapat diselidiki dengan menggunakan kotak cahaya bercelah dan cermin datar yang diletakkan di atas selembar kertas putih polos. Sinar yang keluar dari celah disebut *sinar datang*; sinar yang dipantulkan oleh cermin datar disebut *sinar pantul*; dan garis yang tegak lurus permukaan cermin disebut *garis normal*.



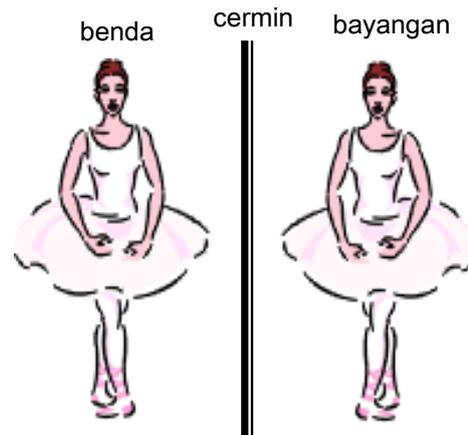
Gambar 3.2 Hukum pemantulan

Dari percobaan di atas diperoleh **Hukum Pemantulan**, yaitu:

- 1) Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal berpotongan pada satu titik dan terletak pada satu bidang datar.
- 2) Sudut datang sama dengan sudut pantul ($i = r$)

Sifat-Sifat Bayangan pada Cermin Datar

Kita sudah terbiasa dengan bayangan yang dibentuk oleh cermin datar dari pengalaman kita sehari-hari ketika bercermin. Ketika anda berada didepan cermin datar, anda akan melihat bayangan anda sama besar dengan diri anda dan berada di belakang cermin (maya).

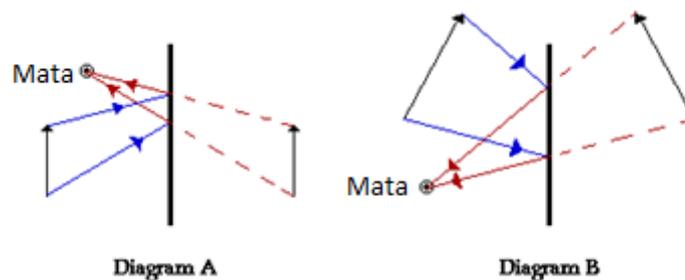


Gambar 3.3 Ukuran dan jarak bayangan pada cermin datar sama besar dan sama jauh dengan benda.

Jika anda bergerak mendekati cermin, jarak bayangan anda akan selalu sama besar dengan jarak diri anda terhadap cermin. Ketika anda mengangkat tangan kanan, terlihat bayangannya mengangkat tangan kiri. Dari ilustrasi Gambar 3.3, maka dapat disimpulkan sifat-sifat bayangan pada cermin datar, yaitu:

- 1) Maya
- 2) Sama besar dengan bendanya
- 3) Tegak
- 4) Jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda dari cermin

Langkah Pelukisan Pembentukan Bayangan pada Cermin Datar



Gambar 3.4 Diagram pembentukan bayangan pada cermin datar

- 1) Lukis sinar pertama yang datang dari benda menuju ke cermin dan dipantulkan ke mata sesuai dengan hukum pemantulan.
- 2) Lukis sinar kedua yang datang dari benda ke cermin dan dipantulkan ke mata sesuai dengan hukum pemantulan.



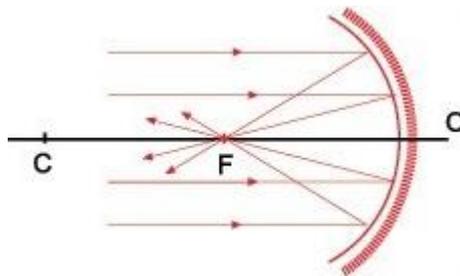
- 3) Perpanjangan sinar pantul pertama dan sinar pantul kedua sehingga akan berpotongan di belakang cermin. Perpotongan inilah yang merupakan letak bayangan.

5. Pemantulan pada Cermin Lengkung

Ada dua jenis cermin lengkung sederhana, yaitu cermin silinder dan cermin bola. Jika permukaan bola bagian dalam mengkilat, maka jenis cermin adalah cermin cekung (*concave mirror*). Jika permukaan bagian luar yang mengkilat, maka jenis cermin adalah cembung (*convex mirror*). Selanjutnya, bagian mengkilat cermin disebut bagian depan, sedangkan bagian gelap cermin disebut bagian belakang.

a. Pemantulan pada Cermin Cekung

Cermin cekung atau *concave mirror* bersifat mengumpulkan sinar (konvergen). Maka cermin cekung disebut juga cermin konvergen seperti terlihat pada Gambar 3.5.

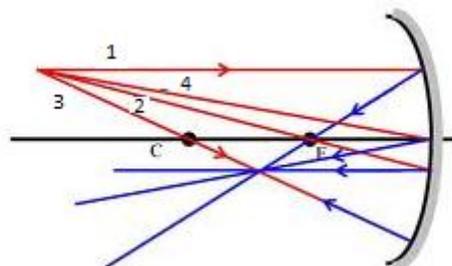


Gambar 3.5 Sinar-sinar sejajar yang jatuh pada cermin cekung dipantulkan menuju satu titik.

Sinar-Sinar Istimewa pada Cermin Cekung

Gambar 3.6 memperlihatkan sinar-sinar istimewa pada cermin cekung.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama cermin, dipantulkan melalui titik fokus F.
- 2) Sinar datang menuju titik fokus F, dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar datang menuju titik pusat kelengkungan cermin C, dipantulkan kembali melalui titik itu.
- 4) Sinar yang menuju vertex (perpotongan sumbu dengan cermin) dipantulkan dengan sudut sama besar dengan sudut datang



Gambar 3.6 Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung

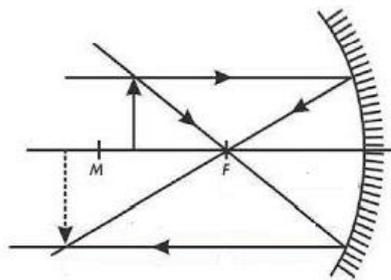


Melukis Pembentukan Bayangan pada Cermin Cekung

Langkah-langkah untuk melukis pembentukan bayangan pada cermin cekung :

- 1) Lukis dua buah sinar istimewa.
- 2) Sinar selalu datang dari bagian depan cermin dan dipantulkan kembali ke bagian depan. Perpanjangan sinar-sinar di belakang cermin dilukis sebagai garis putus-putus.
- 3) Perpotongan kedua buah sinar pantul yang dilukis pada langkah 1 merupakan letak bayangan.

Gambar 3.7 menunjukkan contoh cara menggambarkan pembentukan bayangan pada cermin cekung.



Gambar 3.7 Pembentukan bayanga pada cermin cekung

Sifat-sifat Bayangan pada Cermin Cekung

- 1) Jika benda yang terletak di depan cermin digerakkan mendekati cermin cekung, maka diperoleh bayangan yang makin besar. Ini berarti makin dekat letak benda di depan cermin cekung, makin besar bayangannya.
- 2) Bayangan nyata selalu terletak di depan cermin dan terbalik, sedangkan bayangan maya selalu terletak di belakang cermin, tegak, dan diperbesar.

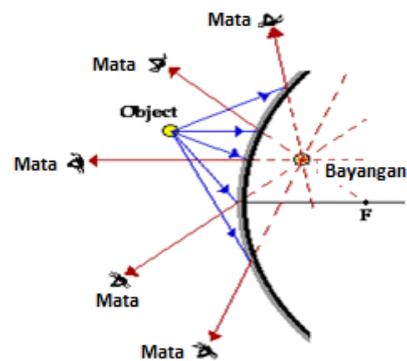
Untuk memahami lebih lanjut tentang sifat-sifat bayangan, coba Anda gambarkan pembentukan bayangan dari benda-benda yang terletak di depan cermin dengan menggunakan sinar-sinar istimewa.

- 1) Benda yang terletak pada jarak lebih besar dari 2 kali jarak fokus ($s > 2f$).
- 2) Benda yang terletak pada jarak sama dengan 2 kali jarak fokus ($s = 2f$),.
- 3) Benda yang terletak pada jarak lebih besar dari satu kali jarak fokus dan lebih kecil dari 2 kali jarak fokus.
- 4) Benda yang berada pada jarak sama dengan jarak fokus ($s = f$).
- 5) Benda yang berada pada jarak lebih kecil dari jarak fokus ($s < f$).



b. Pemantulan pada Cermin Cembung

Cermin cembung atau convex mirror bersifat menyebarkan sinar (divergen). Maka cermin cembung disebut juga cermin divergen seperti terlihat pada Gambar 3.8

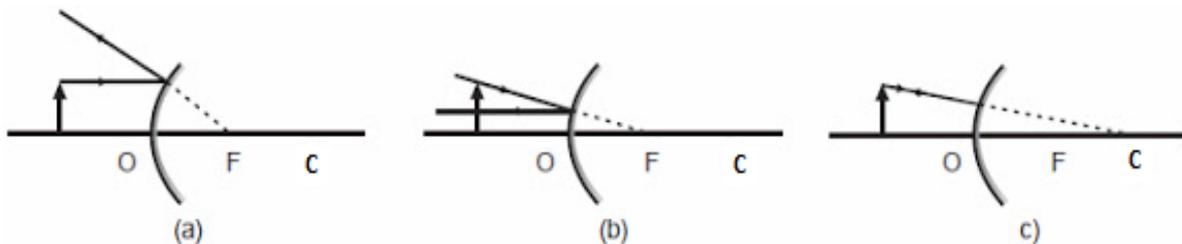


Gambar 3.8 Cermin cembung bersifat menyebarkan sinar (divergen)

Sinar-Sinar Istimewa pada Cermin Cembung

Gambar 3.9 menunjukkan sinar-sinar istimewa pada cermin cembung.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama cermin, dipantulkan seakan-akan datang dari titik fokus F.
- 2) Sinar datang menuju titik fokus F, dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar datang menuju titik pusat kelengkungan cermin C, dipantulkan seakan-akan berasal dari pusat kelengkungan tersebut.



Gambar 3.9 Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung (a) sinar datang sejajar sumbu utama, (b) sinar datang menuju titik fokus, (c) sinar datang menuju kelengkungan cermin

Melukis Pembentukan Bayangan pada Cermin Cembung

Langkah-langkah untuk melukis pembentukan bayangan pada cermin cembung sebagai berikut:

- 1) Lukis dua buah sinar istimewa.
- 2) Sinar selalu datang dari bagian depan cermin dan dipantulkan kembali ke bagian depan. Perpanjangan sinar-sinar di belakang cermin dilukis sebagai garis putus-putus.
- 3) Perpotongan kedua buah sinar pantul yang dilukis pada langkah 1 merupakan letak bayangan.



Sifat Bayangan pada Cermin Cembung

Untuk benda yang diletakkan di depan sebuah cermin cembung (benda nyata), bayangan yang dihasilkan selalu memiliki sifat: maya, tegak, dan diperkecil.

Rumus Umum Cermin Lengkung:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Rumus Perbesaran Bayangan:

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{-s'}{s} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

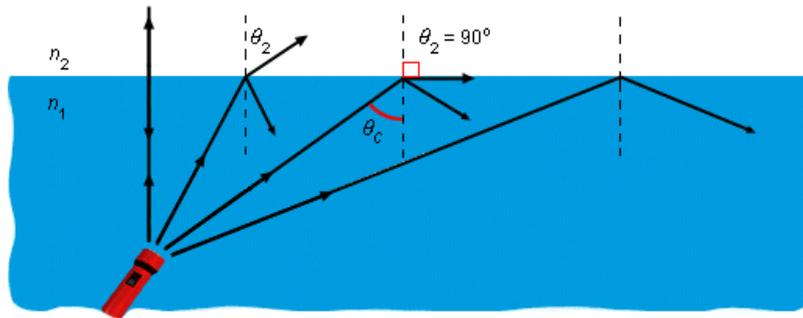
Perjanjian tanda untuk menggunakan rumus umum cermin lengkung

- s bertanda + jika benda terletak di depan cermin (benda nyata)
- s bertanda - jika benda terletak di belakang cermin (benda maya)
- s' bertanda + jika bayangan terletak di depan cermin (bayangan nyata)
- s' bertanda - jika bayangan terletak di belakang cermin (bayangan maya)
- f dan R bertanda + jika pusat kelengkungan cermin terletak di depan cermin (cermin cekung)
- f dan R bertanda - jika pusat kelengkungan cermin terletak di belakang cermin (cermin cembung)

Tabel 3.2 Perbesaran pada Cermin	
Nilai M	Sifat Bayangan
M > 1 (positif)	Maya, tegak, diperbesar
0 < M < 1 (positif)	Maya, tegak, diperkecil
M < -1 (negatif)	Nyata, terbalik, diperbesar
M = -1 (negatif)	Nyata, terbalik, sama besar
-1 < M < 0 (negatif)	Nyata, terbalik, diperkecil

6. Pemantulan Sempurna

Jika sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat (misal dari air ke udara), maka sinar akan dibiarkan menjauhi garis normal. Jika sudut datang diperbesar maka sudut bias bertambah besar. Jika sudut datang diperbesar terus menerus maka suatu saat sinar bias akan berimpit dengan bidang batas kedua medium atau dengan kata lain sudut bias (θ_2) = 90°. Sudut datang yang menghasilkan sudut bias 90° disebut sudut kritis (θ_c atau i_k) atau sudut batas. Jika sudut datang lebih besar dari sudut batas, maka tidak ada sinar yang dibiarkan melainkan semuanya dipantulkan. Peristiwa ini disebut *pemantulan sempurna* (Gambar 3.10).



Gambar 3.10 Pemantulan sempurna

Syarat terjadinya pemantulan sempurna:

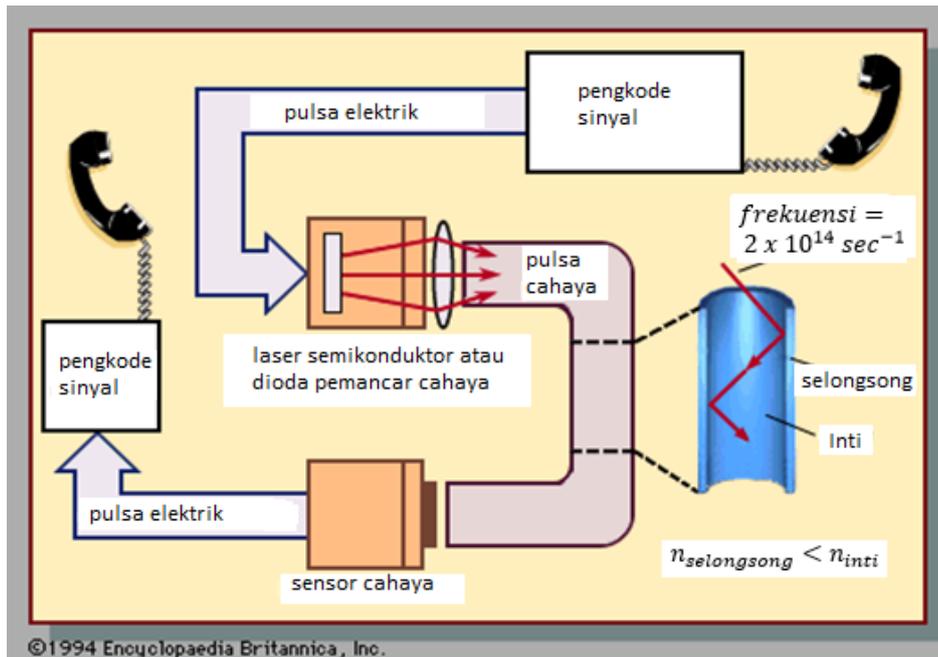
- 1) Sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat.
- 2) Sudut datang lebih besar dari sudut kritis.

Rumus Sudut Kritis:

$$\sin i_k = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_2 > n_1 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Peristiwa-Peristiwa Pemantulan Sempurna

- 1) Pemantulan sempurna pada jalan beraspal atau di gurun (Fatamorgana)
Ketika panas terik kita akan melihat seperti ada genangan air diatas jalan beraspal. Hal ini disebabkan terjadinya pemantulan sempurna. Lapisan udara yang berada di atas aspal lebih panas dibandingkan lapisan udara di atasnya. Sehingga terjadi perbedaan indeks bias. Indeks bias udara dingin lebih tinggi dibandingkan lapisan udara yang panas, sehingga ketika ada sinar datang dengan sudut datang lebih besar dari sudut batas dari lapisan dingin ke panas akan terjadi pemantulan sempurna.
- 2) Pemantulan sempurna pada intan. Intan akan tampak berkilauan karena sinar di dalam intan dipantulkan sempurna sehingga tidak ada sinar yang keluar.
- 3) Pemantulan sempurna pada serat optik (fibre optic cable). Serat optik ini sering digunakan pada bidang telekomunikasi, seperti terlihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Pemantulan sempurna pada serat optik

D. Aktivitas Pembelajaran

Setelah mengkaji materi cahaya dan pemantulan Anda dapat mempelajari kegiatan eksperimen dan non eksperimen yang dalam modul ini disajikan dalam bentuk lembar kegiatan. Untuk kegiatan ekaperimen, Anda dapat mencobanya mulai dari persiapan alat bahan, melakukan percobaan dan membuat laporannya. Sebaiknya Anda mencatat hal-hal penting untuk keberhasilan percobaan, hal ini sangat berguna bagi Anda sebagai catatan untuk mengimplementasikannya di sekolah.

Lembar Kerja 1

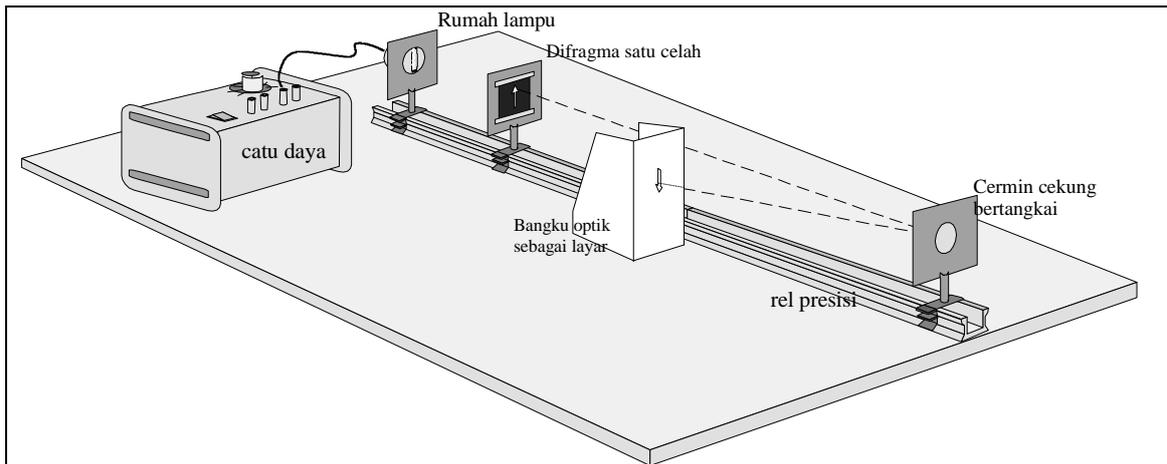
Menentukan Titik Fokus Cermin Cekung

Tujuan

Menentukan jarak fokus lensa cekung berdasarkan grafik

Alat dan Bahan

- Kit optik
- Catu daya
- Kertas grafik



Langkah Kegiatan

1. Rangkaikan alat-alat yang telah tersedia seperti pada gambar di atas.
2. Geserkan layar atau cermin ke kiri atau ke kanan sehingga diperoleh bayangan lilin yang jelas pada layar.
3. Ukur dan catatlah jarak benda (jarak lilin ke cermin (s)) dan jarak bayangan (jarak layar ke cermin(s')).
4. Ulangi langkah 2 dan 3 sebanyak 5 kali dengan jarak yang berbeda-beda.
5. Masukkan semua data ke dalam tabel hasil pengamatan.

No.	S_o	S_1	$1/S_o$	$1/ S_1$	$1/f = 1/S_o + 1/ S_1$	F
1						
2						
3						
4						
5						

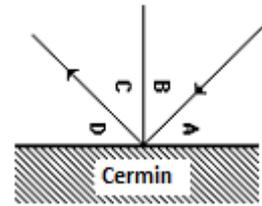
Tugas

1. Gunakan kertas grafik, buat grafik hubungan antara $1/S_o$ terhadap $1/ S_1$.
2. Dengan grafik tersebut tentukan nilai $1/f$ lensa, dan nilai fokusnya.
3. Hitung fokus lensa dari setiap data yang didapatkan
4. Bandingkan fokus hasil perhitungan dengan penafsiran grafik.

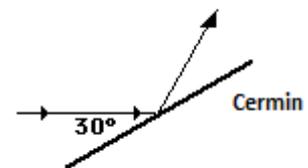


E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Apa perbedaan antara teori cahaya yang dikemukakan Isaac Newton dan Christian Huygens?
2. Jelaskan percobaan yang dilakukan oleh Fresnel dan Young berkaitan dengan cahaya!
3. Perhatikan diagram di samping. Sudut manakah A, B, C, atau D yang merupakan sudut datang? Sudut manakah yang merupakan sudut pantul?



4. Seberkas sinar jatuh pada cermin datar dengan sudut 30° terhadap cermin (lihat gambar). Berapakah sudut pantulnya?



5. Seberkas sinar jatuh pada tiga buah cermin datar yang disusun seperti pada gambar dengan sudut 45° terhadap cermin pertama. Berapa kali sinar tersebut akan mengalami pemantulan sebelum akhirnya meninggalkan cermin?



6. Dimanakah Anda harus meletakkan benda supaya mendapatkan bayangan nyata pada cermin cekung?
7. Apakah ukuran bayangan nyata pada cermin cekung selalu lebih besar dari ukuran benda?
8. Apa perbedaan antara bayangan maya yang dibentuk cermin cekung dengan yang dibentuk cermin cembung?

F. Rangkuman

Optika dibagi dua yaitu optika geometri dan optika fisik. Optika geometrik adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari perilaku cahaya sebagai gelombang seperti pemantulan dan pembiasan. Optika fisis mempelajari sifat-sifat interferensi, difraksi dan polarisasi cahaya.

Sifat-sifat bayangan pada cermin datar: maya, sama besar dengan bendanya, dan tegak. Jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda dari cermin.

Sifat-sifat bayangan pada cermin cekung: bayangan nyata selalu terletak di depan cermin dan terbalik, sedangkan bayangan maya selalu terletak di belakang cermin, tegak, dan diperbesar. Untuk $s > 2f$, sifat bayangannya nyata, terbalik, dan diperkecil. $s = 2f$, sifat bayangannya nyata, terbalik, dan sama besar. $f < s < 2f$, sifat bayangannya nyata, terbalik,



dan diperbesar. $s = f$, sifat bayangannya tak terhingga, maya, dan tegak. $s < f$, sifat bayangannya maya, tegak, dan diperbesar.

Sifat bayangan pada cermin cembung untuk nyata, bayangan yang dihasilkan selalu memiliki sifat: maya, tegak, dan diperkecil.

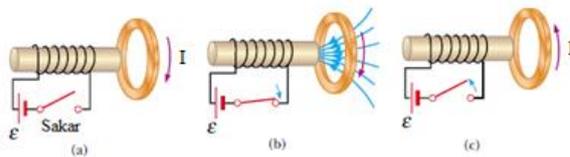
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan soal latihan ini, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan melihat kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silahkan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan Pembelajaran ini.

KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS

A. Kegiatan Pembelajaran 1: Induksi Elektromagnetik

1. Ketika saklar pada kumparan primer tiba-tiba ditutup atau dibuka jarum galvanometer akan menyimpang. Hal ini bisa terjadi karena ketika saklar ditutup dan dibuka maka akan terjadi perubahan besar arus, hal ini menyebabkan terjadi perubahan medan magnetik di dalam kumparan primer. Perubahan medan magnetik ini menimbulkan arus induksi di dalam kumparan sekunder sehingga jarum galvanometer akan menyimpang.
2. Kecepatan perubahan fluks magnetik dan jumlah lilitan.
3. Cara-cara menghasilkan ggl induksi dalam kumparan:
 - Mengubah besarnya induksi magnetik (B) terhadap waktu.
 - Mengubah luas bidang kumparan yang melingkupi garis gaya medan magnetik terhadap waktu.
 - Mengubah sudut antara arah medan magnetik dengan garis normal bidang kumparan terhadap waktu.
 - Gabungan perubahan dari besaran-besaran di atas.
4. 0,63 m/s
5. 1,0 V, tidak ada yang perlu dikhawatirkan



- 6.
7. Pada saat loop berputar dalam medan magnetik, fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop berubah terhadap waktu sehingga menimbulkan ggl dan arus induksi dalam loop. Arus ini dikeluarkan ke rangkaian luar melalui sikat tetap yang berkontak dengan cincin selip dimana cincin selip ini ikut berputar dengan loop.



8. 0,15 V
9. (a) 3,6 V berlawanan dengan arah jarum jam), (b) nol)
10. 31,0 V
11. (a) 663,3 V, (b) melipatduakan frekuensi putaran
12. Pada saat kumparan dialiri arus listrik, maka pada kumparan tersebut akan bekerja gaya magnetik. Arah gaya magnet pada sisi kumparan antara kanan dan kiri mempunyai arah yang berbeda sehingga membentuk momen gaya (torsi). Dengan demikian akan menyebabkan kumparan tersebut berputar, putaran ini menghasilkan energi mekanik.
13. 193,35 V
14. 0,14 kNm
15. Pada saat tegangan ac diberikan pada kumparan primer maka akan timbul perubahan medan magnetik. Perubahan medan magnetik ini akan menginduksi tegangan ac yang berfrekuensi sama ke kumparan sekunder. Berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi atau tegangan pada kumparan primer adalah $V_P = -N_P \frac{d\Phi_B}{dt}$ di mana Φ_B adalah fluks magnetik yang melalui setiap lilitan. Jika kita menganggap semua garis medan magnetik tetap ada di dalam inti besi, fluks yang melalui lilitan primer sama dengan fluks yang melalui lilitan sekunder sehingga tegangan sekunder adalah $V_S = -N_S \frac{d\Phi_B}{dt}$. Besar tegangan sekunder ini bergantung pada jumlah lilitan pada setiap kumparan.
16. 13.700 lilitan
17. (a) 0,5 V; (b) 0,02 H; dan (c) 0,04 J

B. Kegiatan Pembelajaran 2: Listrik Arus Bolak Balik

1. Ya dapat. Tegangan rms pada salah satu induktor atau kapasitor dalam rangkaian RLC dapat lebih besar dari tegangan rms source karena fase tegangan keduanya berbeda satu sama lain. Pada saat tertentu, tegangan baik pada induktor atau kapasitor bisa negatif, misalnya, sehingga memungkinkan tegangan positif yang sangat besar pada perangkat lainnya.



- 2.
- Frekuensi ggl sumber tidak mempengaruhi impedansi pada hambatan murni.
 - Impedansi dari kapasitansi murni berbanding terbalik dengan frekuensi ggl sumber menurut $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$. Pada saat frekuensi sumber sangat kecil, impedansi kapasitor menjadi sangat besar, dan pada saat frekuensi sumber sangat besar, impedansi kapasitor menjadi sangat kecil.
 - Impedansi induktansi murni bervariasi secara langsung dengan frekuensi ggl sumber menurut $X_L = 2\pi fL$. Dengan demikian, pada saat frekuensi sumber sangat kecil, impedansi induktor akan sangat kecil dan pada saat frekuensi sumber sangat besar, impedansi induktor menjadi sangat besar.
 - impedansi dari rangkaian LRC, dengan R kecil, dekat resonansi sangat sensitif terhadap frekuensi gg sumber. Jika frekuensi diatur persis di resonansi, di mana $X_L = X_C$, maka impedansi rangkaian RLC sangat kecil dan sama dengan R. Impedansi meningkat pesat saat frekuensi sumber baik mengalami peningkatan atau penurunan pada jumlah kecil dari keadaan resonansi.
3. Cara untuk membuat impedansi pada rangkaian RLC mencapai minimum adalah dengan membuat hambatan menjadi sangat kecil dan membuat reaktansi kapasitor sama dengan reaktansi inductor: $X_L = X_C$ atau

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- 126 Hz
- (a) 13 μ F, (b) 1,3 A
- $6,8 \times 10^{-2}$ H
- (a) 4,4 Ω dan (b) 1,4 A
- 480 Ω
- (a) 0,925 A, (b) 31,7°
- 0,233 A
- 0,819



12. 3250 Hz

13. (a) 212 Ω , (b) 72,22 Ω , (c) 212,46 Ω , (d) 1,04 A, (e) $-41,14^\circ$

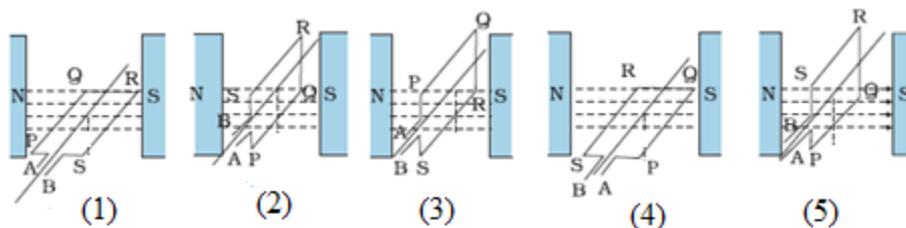
C. Kegiatan Pembelajaran 3: Cahaya

1. Menurut Isaac Newton, cahaya terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan yang dipancarkan dari sumbernya ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi, teori ini dikenal sebagai *teori emisi*. Sementara menurut Christian Huygens bahwa cahaya adalah gejala gelombang. Seperti halnya bunyi, cahaya merambat dengan perantaraan gelombang. Sebagai medium perambatan bukan udara melainkan zat hipotetik yang disebut eter. Pendapat Huygens dikenal sebagai *teori gelombang*.
2. Thomas Young dan Augustin Fresnel melakukan percobaan yang menyimpulkan bahwa cahaya dapat melentur dan berinterferensi (difraksi cahaya). Hasil percobaan ini mendukung teori gelombang karena peristiwa interferensi cahaya hanya bisa dijelaskan jika cahaya dianggap sebagai gelombang.
3. Sudut datang adalah B dan sudut pantul adalah C.
4. 60°
5. Dua kali pemantulan
6. Benda harus diletakkan didepan cermin pada jarak lebih besar dari jarak fokus.
7. Tidak, bisa lebih besar, lebih kecil, atau sama besar.
8. Bayangan maya pada cermin cekung ukurannya lebih besar dari bendanya sedangkan bayangan pada cermin cembung selalu diperkecil.

EVALUASI

Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat!

- Sebuah kumparan terdiri dari 50 lilitan ditarik dalam waktu 0,020 sekon dari kutub magnet yang memiliki fluks magnetik $3,1 \times 10^{-4}$ Wb ke kutub magnet lain yang memiliki fluks magnetik $0,10 \times 10^{-4}$ Wb. Tentukan rata-rata ggl induksi di dalam kumparan tersebut!
 - 0,75 V
 - 7,5 V
 - 75 V
 - 750 V
- GGL sebesar 9 V diinduksikan ketika arus di dalam kumparan berubah $30 \text{ A}\cdot\text{s}^{-1}$. Koefisien induktansi diri kumparan adalah...
 - 36 H
 - 33 H
 - 3,6 H
 - 0,3 H
- Posisi kumparan PQRS terhadap medan magnetik pada generator yang akan menghasilkan ggl induksi maksimum adalah...



- 1, 2
- 1, 3
- 1, 4
- 2, 3, 5



4. Sebuah transformator dengan efisiensi 80% digunakan untuk mengubah tegangan 220 volt menjadi 110 volt. Apabila kuat arus pada kumparan primer 1 A, maka kuat arus pada kumparan sekundernya adalah....
- A. 0,8 A
 - B. 1,6 A
 - C. 2,3 A
 - D. 3,2 A

5. Data spesifik dua buah generator tertera dalam tabel di bawah ini!

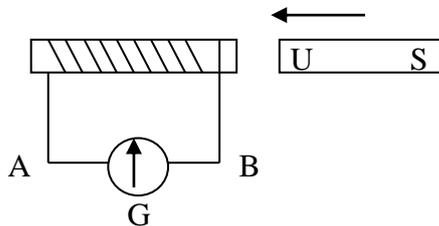
Generator	Jumlah lilitan kumparan	Induksi magnetik
A	1200	5×10^{-2} T
B	6000	3×10^{-2} T

Jika kedua generator berputar dengan frekuensi yang sama, maka perbandingan GGL maksimum generator A dan B adalah....

- A. 5 : 1
 - B. 1 : 2
 - C. 1 : 3
 - D. 1 : 5
6. Dari data berikut:
- (1) menambah jumlah lilitan kumparan
 - (2) memperbesar laju perubahan fluks magnetik di dalam kumparan
 - (3) memperbesar arus listrik pada kumparan
 - (4) memperkecil laju perubahan fluks magnetik
- Cara memperbesar harga GGL induksi yang terjadi pada suatu kumparan adalah pernyataan....
- A. (1) dan (2)
 - B. (1), (2) dan (3)
 - C. (1), (3) dan (4)
 - D. (4) saja
7. Gelombang elektromagnetik tidak dipengaruhi oleh medan magnetik maupun medan listrik. Hal ini karena gelombang elektromagnetik...
- A. memiliki kecepatan tinggi
 - B. tidak bermasa
 - C. tidak bermuatan listrik
 - D. tidak memerlukan medium dalam perambatannya

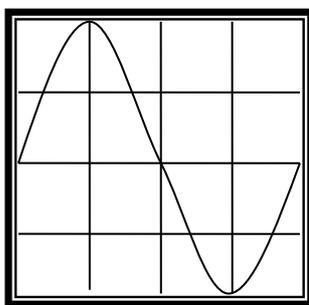


8. Sebuah kumparan dihubungkan dengan Galvanometer (G) yang peka seperti terlihat pada gambar. Ketika arus mengalir dari A ke B, jarum Galvanometer akan bergerak ke kanan. Jika kutub utara magnet dimasukkan kemudian dikeluarkan dari kumparan secara cepat, maka jarum Galvanometer akan bergerak....



- A. ke kanan kemudian diam
B. ke kiri kemudian diam
C. ke kanan, ke kiri kemudian berhenti
D. ke kiri, ke kanan kemudian berhenti

9. Gambar di samping menunjukkan suatu sumber tegangan bolak-balik dihubungkan dengan osiloskop. Dengan mengatur tombol skala vertikal pada angka 2 volt/cm dan tombol sweep time 5 ms/cm, maka diperoleh pola gambar seperti di samping. Dari pola



tersebut diinterpretasikan bahwa....

- A. tegangan efektifnya 1 V dan frekuensinya 20 Hz
B. tegangan efektifnya $\frac{2}{\sqrt{2}}$ V dan frekuensinya 50 Hz
C. tegangan efektifnya 2 V dan frekuensinya 50 Hz
D. tegangan efektifnya $\frac{4}{\sqrt{2}}$ V dan frekuensinya 50 Hz

Hz

10. Sebuah resistor R dan sebuah induktor L dihubungkan seri pada sumber tegangan bolak-balik 100 V. Tegangan antara kedua ujung induktor dan resistor sama besar. Tegangan tersebut adalah....

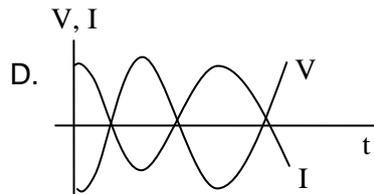
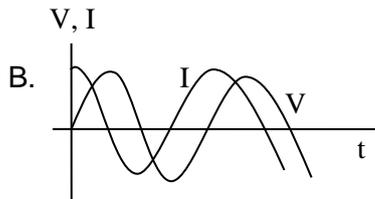
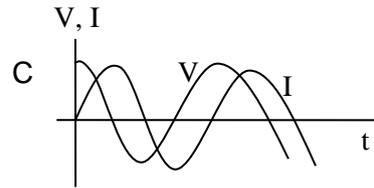
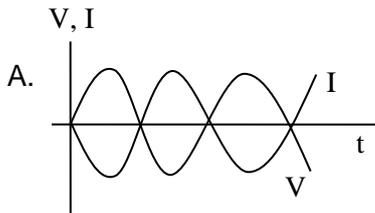
- A. $25\sqrt{2}$ V
B. 50 V
C. $50\sqrt{2}$ V
D. $60\sqrt{2}$ V

11. Susunan seri resistor 40Ω dan kapasitor dengan reaktansi kapasitif 30Ω dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik bertegangan efektif 220 V. Tegangan efektif pada resistor dan kapasitor masing-masing adalah....

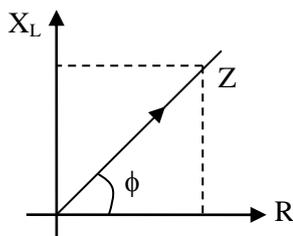
- A. $V_R = 176$ V dan $V_C = 44$ V
B. $V_R = 44$ V dan $V_C = 176$ V
C. $V_R = 176$ V dan $V_C = 132$ V
D. $V_R = 132$ V dan $V_C = 176$ V



12. Jika suatu rangkaian arus bolak-balik dengan kapaitor di dalamnya, maka hubungan antara tegangan dan kuat arus dapat dilukiskan dalam grafik sebagai berikut....



13. Dalam rangkaian seri resistor $R = 60 \Omega$ dan induktor dalam tegangan bolak-balik mengalir arus 2 A. Jika dalam diagram vektor di samping $\text{tg } \phi = \frac{3}{4}$, maka tegangan



induktor adalah....

- A. 72 V
- B. 90 V
- C. 120 V
- D. 160 V

14. Pernyataan-pernyataan berikut berkaitan dengan saat terjadinya keadaan resonansi pada rangkaian RLC seri:

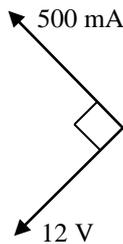
- (1) reaktansi induktif $>$ reaktansi kapasitif
- (2) reaktansi induktif = reaktansi kapasitif
- (3) impedansi sama dengan nol
- (4) impedansi sama dengan resistor R

Yang benar adalah pernyataan:

- A. (1) dan (3)
- B. (2) dan (3)
- C. (1) dan (4)
- D. (2) dan (4)



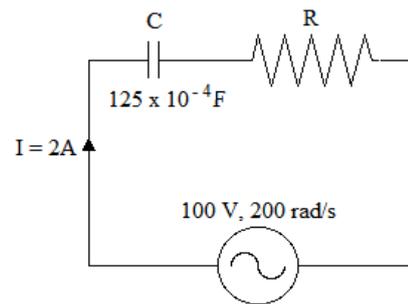
15. Gambar berikut menunjukkan diagram fasor suatu rangkaian arus bolak-balik. Jika frekuensi arus bolak-balik tersebut 50 Hz maka....



- A. induktansinya $\frac{240}{\pi}$ mH
B. kapasitansinya $\frac{120}{\pi}$ mF
C. kapasitansinya 120 mF
D. induktansinya 120 mH

16. Perhatikan rangkaian listrik pada gambar di samping. Nilai hambatan R adalah...

- A. 45Ω
B. 40Ω
C. 30Ω
D. 25Ω



17. Sebuah rangkaian seri terdiri dari resistor 50Ω , kapasitor $60 \mu\text{F}$, dan induktor $0,30 \text{ H}$ dihubungkan dengan sumber tegangan 120 V , 60 Hz . Kuat arus yang mengalir dalam rangkaian adalah...

- A. $2,7 \text{ A}$
B. $2,4 \text{ A}$
C. $1,4 \text{ A}$
D. $1,1 \text{ A}$

18. Resistor $R = 50 \Omega$, induktor dengan $X_L = 150 \Omega$ dan kapasitor dengan $X_C = 100 \Omega$ dihubungkan seri pada sumber tegangan bolak-balik. Beda fase antara arus dan tegangan pada rangkaian adalah sebesar....

- A. 90°
B. 60°
C. 45°
D. 30°

19. Cahaya terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan yang dipancarkan dari sumbernya ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi. Pendapat ini dikemukakan oleh...

- A. Christian Huygens
B. Isaac Newton
C. Leonardo da Vinci
D. Max Planck



20. Berikut ini yang bukan keuntungan pemantulan teratur bagi penglihatan manusia adalah....

- A. Kita dapat melihat benda dari berbagai arah
- B. Mengurangi kesilauan sinar matahari
- C. Membantu pengemudi saat malam hari yang gelap
- D. Dapat melihat semua benda di malam hari

PENUTUP

Dengan telah ditulisnya modul kelompok kompetensi G bagian Profesional, mudah-mudahan dapat membantu Anda, khususnya guru-guru fisika SMA dalam meningkatkan pemahaman terhadap materi-materi untuk proses pembelajaran di kelas nantinya.

Rasanya materi dalam modul ini tidaklah terlalu sulit untuk dipahami, dipelajari, dan juga mungkin tidak terlalu asing bagi Anda. Namun untuk kesempurnaan pemahaman lebih lanjut, tentunya pula Anda lebih mengetahuinya dalam hal cara mencari sumber aslinya.

Sebagai saran penulis, setelah mempelajari dan berlatih dari soal-soal yang telah disajikan, untuk penguasaan lebih dalam mohon dikembangkan dalam bentuk latihan sesuai dengan karakteristik materinya.

Terakhir, mudah-mudahan dengan adanya modul ini Anda merasa terbantu dalam upaya peningkatan pengembangan profesionalisme dan juga pengembangan pembelajaran yang berkualitas. Dan tentu, tak ada gading yang tak retak, saran- saran yang konstruktif, membangun untuk perbaikan lebih lanjut, penulis mengharapkannya, sekian dan terima kasih, semoga sukses, dan mendapat ridhoNya.



DAFTAR PUSTAKA

Cutnell, J.D., Johnson, K.W. (1995). *Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Giancoli, D.C. (2005). *Physics: Principles with Applications 6th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.

Halliday, D., Resnick, R. (1988). *Fundamentals of Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

R.A. Serway, J.W. Jewett. (2004). *Physics for Scientists and Engineers, 6th Edition*. Thomson Brooks/Cole, Pomona.



GLOSARIUM

Alternating current(ac)	: arus listrik yang besarnya berubah terhadap waktu dan dapat mengalir dalam dua arah.
Arus eddy	: arus di dalam inti besi yang lintasanya melingkar.
Daya listrik	: energi listrik per satuan waktu.
Faktor daya	: Harga cosinus dari sudut fase antara arus dan tegangan pada rangkaian RLC seri, $\cos \phi = \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z}$
Fasor	: berasal dari bahasa Inggris Phasor, akronim dari kata phase vector. Fasor merupakan sebuah gambar anak panah yang digunakan untuk menyatakan suatu besaran bolak-balik, misalnya tegangan dan arus bolak-balik.
Frekuensi resonansi	: Frekuensi pada rangkaian RLC seri yang terjadi pada saat tegangan sefase dengan arus.
Generator	: alat pembangkit listrik. Ada dua jenis generator, yaitu generator searah dan generator bolak-balik.
GGL induksi (gaya gerak listrik induksi)	: beda potensial yang terjadi pada ujung-ujung kumparan.
Hukum Faraday	: besarnya ggl induksi yang timbul pada ujung-ujung kumparan sebanding dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya.
Hukum Lenz	: polaritas ggl induksi adalah sedemikian rupa sehingga menghasilkan arus induksi yang menimbulkan fluks magnetik yang menentang perubahan fluks magnetik penyebabnya.
Impedansi	: merupakan hasil bagi antara tegangan efektif (rms) dan kuat arus efektif (rms).



Induksi elektromagnetik	: peristiwa timbulnya ggl pada ujung-ujung kawat penghantar bila terjadi laju perubahan jumlah garis-garis gaya magnet yang dilingkupi kumparan dinamakan.
Induktansi bersama	: peristiwa munculnya ggl dalam sebuah kumparan akibat adanya perubahan arus di dalam kumparan lain yang berada didekatnya.
Induktansi diri	peristiwa munculnya ggl dalam sebuah kumparan yang terisolasi.
Kehilangan energi resistif	: berubahnya energi listrik menjadi panas akibat adanya hambatan pada kawat transmisi.
Kehilangan energi induktif	: kehilangan energi akibat induksi arus eddy yang terjadi di dalam inti besi transformator.
Motor	: alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
Osiloskop	: alat ukur yang dapat mengukur nilai sesaat dan nilai maksimum dari arus dan tegangan bolak-balik serta sekaligus menampilkan bentuk grafik arus atau tegangan terhadap waktu.
Rangkaian induktif murni	: rangkaian listrik yang hanya berisi sumber tegangan V dan induktor L .
Rangkaian kapasitif murni	: rangkaian listrik yang hanya berisi sumber tegangan V dan kapasitor C .
Rangkaian resistif murni	: rangkaian listrik yang hanya berisi sumber tegangan dan hambatan R .
Reaktansi	: hasil bagi antara tegangan dan kuat arus pada saat tegangan dan arus memiliki beda sudut fase 90° .
Root mean square (rms)	: nilai efektif dari arus atau tegangan merupakan nilai yang akan menghasilkan usaha yang sama dengan usaha yang dihasilkan oleh tegangan dan arus searah.
Transformator	: alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (ac).
Transmisi daya	: sistem penyaluran daya listrik mulai dari pusat pembangkit listrik sampai ke konsumen.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016