



SMA MUHAMMADIYAH 1 YOGYAKARTA
Sekolah Kader Muhammadiyah dan Pemimpin Bangsa



Modul Pembelajaran
FISIKA

Disusun oleh :
Tim Guru Fisika

Untuk Kalangan Sendiri

KELAS
XII
Semester 1

KATA PENGANTAR KEPALA SEKOLAH SMA MUHAMMADIYAH 1 YOGYAKARTA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berbagai nikmat karunia kepada kita semua, sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya sampai akhir zaman.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 22 Tahun 2016 tentang Standar Proses Pendidikan Dasar dan Menengah disebutkan guru dalam menyusun perencanaan pembelajaran meliputi penyusunan rencana pelaksanaan pembelajaran dan penyiapan media dan sumber belajar, perangkat penilaian pembelajaran, dan skenario pembelajaran.

Salah satu bentuk sumber belajar dan bahan ajar adalah buku, modul, ensiklopedia, dan bentuk cetakan lainnya. Modul sebagai salah satu bahan ajar berbentuk cetak maupun *softfile* sangat baik digunakan dalam pembelajaran terutama saat pembelajaran *online*. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penyusunan modul yang dilakukan oleh guru SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta bertujuan agar peserta didik dapat belajar secara mandiri. Dengan pembelajaran *online* karena kondisi pandemi covid 19 ini, keberadaan modul diharapkan dapat membantu siswa belajar.

Modul yang disusun berdasarkan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta pada kondisi khusus (darurat pandemi covid 19). Selain membantu peserta didik dapat belajar secara mandiri dan disusun memuat materi pembelajaran yang jelas dan terperinci, peserta didik juga dapat melakukan evaluasi pembelajaran sehingga dapat mengetahui sejauh mana kemampuan penguasaan materi dari pembelajaran yang sudah mereka lakukan sendiri serta dapat digunakan sebagai salah satu rujukan atau referensi untuk materi pelajaran tertentu dan yang berkaitan.

Kepada Bapak/Ibu guru SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta yang sudah menyelesaikan penyusunan modul ini kami ucapkan selamat dan terimakasih, semoga modul ini dapat digunakan oleh peserta didik sebagai sumber belajar dan bahan ajar sehingga peserta didik SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta dapat belajar secara mandiri untuk mengembangkan potensi akademiknya. Semoga Allah SWT meridhloi kita semua. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Kepala Sekolah,



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur Modul Fisika Kelas XII dapat diselesaikan dengan baik. Modul ini disusun teruntuk ananda SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta dari kami Tim Guru Fisika Muhi guna menunjang pembelajaran dan pemahaman ananda dalam belajar fisika.

Fisika untuk kebanyakan orang dipandang sebagai mata pelajaran yang sulit. Di dalam modul ini kami sajikan fisika yang aplikatif dalam kehidupan sehari-hari dan sering kalian jumpai dalam kehidupan, bahkan kami sangat bangga dan apresiasi kepada Ananda yang nantinya bisa mengembangkan penerapan fisika menjadi sebuah karya atau produk.

Oleh karenanya, mari belajar dan pahami dengan sebaik mungkin ilmu fisika. Insya Allah dapat memberi kebermanfaatan bagi kalian dan pola pikir serta sudut pandang kalian dalam menyelesaikan masalah. Mereka yang ingin berhenti belajar dan menuntut ilmu akan menjadi pemilik masa lalu, tetapi mereka yang terus giat belajar akan menjadi pemilik masa depan.

Yogyakarta, Juni 2021

Tim Fisika SMA Muhi Yk

DAFTAR ISI

COVER : FISIKA XII SEMESTER 1	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR KEPALA SEKOLAH	iii
KATA PENGANTAR	iiii
DAFTAR ISI	iv
PENDAHULUAN	vi
BAB 1. LISTRIK ARUS SEARAH	1
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	1
Tujuan	1
A. Arus Listrik	2
B. Hukum Ohm.....	2
C. Hukum Kirchhoff.....	5
D. Jembatan Wheatstone	8
E. Alat Ukur Listrik.....	9
F. Energi Listrik	11
G. Daya Listrik.....	11
Uji Kompetensi	13
BAB 2. LISTRIK STATIS	17
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	17
Tujuan	17
A. Interaksi Elektrostatik	18
B. Medan Listrik	19
C. Energi Potensial dan Potensial Listrik	20
D. Kapasitor	22
E. Rangkaian Kapasitor	22
Uji Kompetensi	25
BAB 3. MEDAN MAGNET	28
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	28
Tujuan	28
A. Medan Magnet.....	29
B. Gaya Lorentz	32
Uji Kompetensi	36
BAB 4. INDUKSI ELEKTROMAGNETIK	40
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	40
Tujuan	40
A. Gaya Gerak Listrik Induksi	41
B. Induktor.....	44
C. Penerapan Induksi Elektromagnetik	45
Uji Kompetensi	47
BAB 5. LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK	50
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	50
Tujuan	50
A. Arus dan Tegangan Bolak-balik	51
B. Rangkaian Arus Bolak-balik	52
C. Sifat Rangkaian Arus Bolak-balik.....	56
D. Daya pada Rangkaian Arus Bolak-balik	57

Uji Kompetensi	58
BAB 6. RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK	61
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi.....	61
Tujuan	61
A. Radiasi Gelombang Elektromagnetik.....	62
B. Hipotesa Maxwell	63
C. Percobaan Hertz	63
D. Spektrum Gelombang Elektromagnetik	64
Uji Kompetensi.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70



PENDAHULUAN

1. Deskripsi

Modul Fisika kelas XII Semester 1 ini terdiri dari 6 materi pembelajaran yang disusun dengan kegiatan dan metode pembelajaran yang telah disesuaikan dengan Kurikulum yang berlaku saat ini. Harapannya modul ini memberikan penguatan bagi peserta didik dalam kegiatan pembelajaran daring, luring maupun tatap muka sehingga terciptanya proses belajar mengajar yang efisien dan efektif. Materi pembelajaran tersebut meliputi Listrik Arus Searah, Listrik Statis, Medan Magnet, Induksi Elektromagnetik, Listrik Arus Bolak-Balik, dan Radiasi Gelombang Elektromagnetik.

Modul ini disusun sebagai implementasi pengembangan kurikulum SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta guna memperkaya dan meningkatkan produktivitas serta kreativitas guru dalam menyiapkan media pembelajaran yang menarik, relevan bagi peserta didik. Modul ini dapat dipakai khususnya di semester satu pada mata pelajaran Fisika.

2. Prasyarat

Kemampuan awal yang dipersyaratkan dalam modul ini peserta didik sudah memiliki kemampuan dasar matematika, dan keinginan untuk berproses dalam mempelajari fisika.

3. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini disusun sebagai suplemen dan penguatan bagi peserta didik dalam mempelajari, memahami serta menyelesaikan masalah fisika dalam kehidupan sehari-hari. Petunjuk penggunaan modul ini sangat sederhana. Langkah-langkah belajar yang ditempuh, peserta didik dapat mempelajari dari uraian materi beserta petunjuk demonstrasi sederhana sesuai dengan arahan atau petunjuk pada materi yang akan memberi ruang untuk lebih mengeksplorasi dan berfikir. Materi didukung dengan virtual lab yang diutsertakan dengan link dalam materi sehingga peserta didik memiliki gambaran praktikum secara real, serta didukung dengan video pembelajaran baik yang dibuat oleh guru sendiri atau mengambil dari youtube. Modul dilengkapi dengan latihan soal, tes formatif dan petunjuk praktikum sederhana yang dapat dicoba oleh ananda dalam meningkatkan kompetensi pengetahuan dan keterampilan fisika.

BAB 1. LISTRIK ARUS SEARAH

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.1 Menganalisis prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) dalam kehidupan sehari-hari	3.1.1 Menghitung arus berdasarkan muatan yang mengalir. 3.1.2 Menentukan hambatan jenis kawat. 3.1.3 Menentukan arus dan tegangan pada rangkaian hambatan seri dan parallel. 3.1.4 Menganalisis hukum I dan II Kirchhoff. 3.1.5 Menggunakan alat ukur listrik. 3.1.6 Menentukan energy dan daya listrik. 3.1.7 Menentukan besar energy listrik dalam pemakaian sehari-hari.
4.1 Mempresentasikan hasil percobaan tentang prinsip kerja rangkaian listrik searah (DC)	4.1.1 Mengukur besaran-besaran pada rangkaian arus searah (DC). 4.1.2 Menyajikan data hasil percobaan hukum Ohm. 4.1.3 Merangkai susunan hambatan seri dan parallel. 4.1.4 Mempresentasikan percobaan sumber tegangan yang disusun seri dan parallel. 4.1.5 Mempresentasikan hasil percobaan hukum Kirchhoff.

Tujuan Pembelajaran

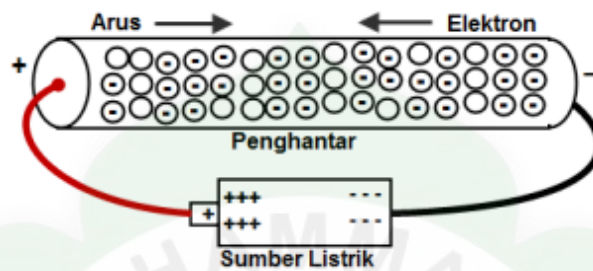
Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan, mendisain, melakukan percobaan, dan mempresentasikan hasil percobaan untuk menganalisis Rangkaian Listrik Arus Searah, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

LISTRIK ARUS SEARAH

Dalam kehidupan sehari-hari, kita dapat mendengarkan radio, menonton televisi, menggunakan kulkas, setrika listrik dan lain-lain. Penggunaan alat-alat tersebut memerlukan listrik. Pada materi ini kita akan membahas tentang listrik

A. Arus Listrik

Arus listrik merupakan gerakan kelompok partikel bermuatan listrik dalam arah tertentu. *Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah (berlawanan arah dengan gerak elektron)*. Muatan listrik dalam jumlah tertentu yang menembus suatu penampang dari suatu penghantar dalam satuan waktu tertentu disebut sebagai kuat arus listrik.



Gambar 1. Arah aliran arus listrik dan arah aliran muatan elektron.

<https://zoniaelektro.net/besaran-listrik-arus-tegangan-hambatan-dan-daya-listrik/>

Berdasarkan gambar 1, arus listrik bergerak dari terminal positif (+) ke terminal negatif (-), sedangkan aliran listrik dalam kawat logam terdiri dari aliran elektron yang bergerak dari terminal negatif (-) ke terminal positif(+), artinya arah arus listrik dianggap berlawanan dengan arah gerakan elektron.

"1 ampere arus adalah mengalirnya elektron sebanyak $6,24 \times 10^{18}$ atau sama dengan 1 Coulomb per detik melewati suatu penampang konduktor". Arus listrik bisa dirumuskan sebagai:

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

Keterangan:

I = kuat arus (ampere, A)

Q = muatan listrik (coulomb, C)

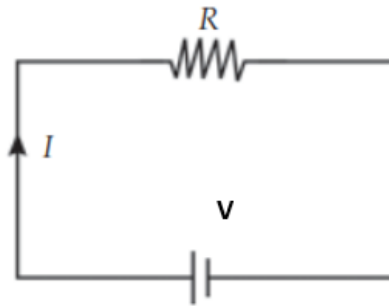
t = waktu (sekon, s)

Dari konsep hubungan arus dan muatan di atas, maka Ananda bisa mencoba contoh soal berikut:

- 1) Jika sebuah kawat penghantar listrik dialiri muatan listrik sebesar 360 coulomb dalam waktu 3 menit, tentukan kuat arus listrik yang melintasi kawat penghantar tersebut!

B. Hukum Ohm

Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar berbanding lurus dengan beda potensial antar kedua ujung penghantar tersebut dan berbanding terbalik dengan hambatannya.



Gambar 2. Rangkaian listrik sederhana.

Hukum Ohm dirumuskan dengan:

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

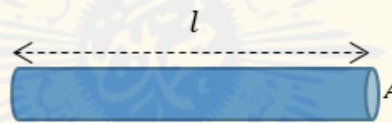
Keterangan:

V = tegangan (V)

R = hambatan (Ω)

1. Hambatan

Hambatan atau resistansi berguna untuk mengatur besarnya kuat arus listrik yang mengalir melalui suatu rangkaian listrik. Dalam radio dan televisi, resistansi berguna untuk menjaga kuat arus dan tegangan pada nilai tertentu dengan tujuan agar komponen-komponen listrik lainnya dapat berfungsi dengan baik. Gambar penampang kawat adalah seperti gambar berikut.



Gambar 3. Kawat dengan panjang l dan luas penampang A .

Besar kecilnya hambatan suatu penghantar tergantung kepada jenis kawat, panjang kawat, dan luas penampang kawat, dapat dirumuskan seperti berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Keterangan:

ρ = hambatan jenis (Ωm)

l = panjang penghantar (m)

A = luas penampang (m^2)

Hambatan jenis (ρ) suatu penghantar bertambah besar secara linear karena kenaikan suhu. Hambatan penghantar (R) juga merupakan fungsi linear dari suhu.

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$$

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta t)$$

Keterangan:

α = koefisien suhu ($1/^\circ\text{C}$)

Δt = kenaikan suhu ($^\circ\text{C}$)

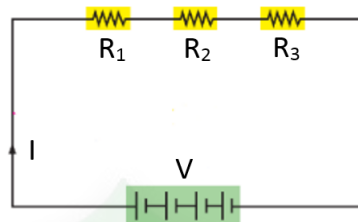
Dari konsep hambatan di atas, maka Ananda bisa mencoba contoh soal berikut:

2) Seutas kawat yang panjangnya 50 cm, luas penampangnya 2 mm², ternyata hambatannya 100 ohm. Tentukan hambatan jenis kawat tersebut!

2. Rangkaian Hambatan

1. Rangkaian Seri

Rangkaian seri adalah rangkaian komponen listrik yang disusun secara berderet dengan tidak ada cabang pada sumber arus listrik.



Gambar 4. Rangkaian hambatan seri.

Besar hambatan total pada rangkaian seri adalah:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Besar arus pada rangkaian seri adalah sama (konsep SI), yaitu:

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

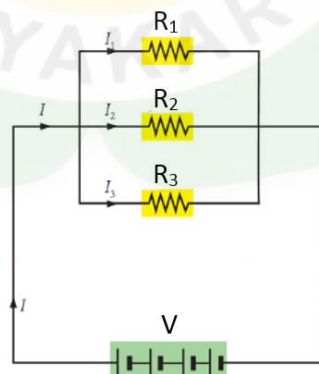
$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

Besar tegangan pada rangkaian seri adalah:

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel adalah rangkaian komponen listrik yang disusun secara sejajar sehingga terbentuk cabang diantara sumber arus listrik.



Gambar 5. Rangkaian hambatan paralel.

Besar hambatan pada rangkaian paralel dirumuskan adalah:

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

Besar arus pada rangkaian parallel adalah:

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

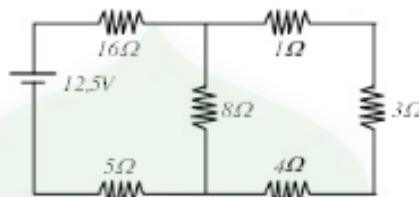
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Besar tegangan pada rangkaian parallel adalah sama (konsep PV), yaitu:

$$V_p = V_1 = V_2 = V_3$$

Dari konsep rangkaian hambatan seri dan parallel dan mengingat kembali konsep SI-PV, maka Ananda bisa mencoba contoh soal berikut:

3) Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut.



Tentukan:

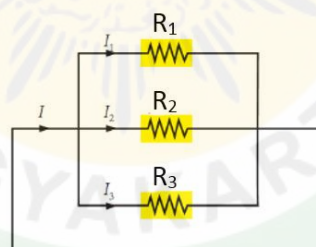
- Kuat arus total yang mengalir dalam rangkaian
- Besar arus dan tegangan pada masing-masing hambatan

C. Hukum Kirchoff

1. Hukum I Kirchoff

Pada setiap titik percabangan dalam sirkuit listrik, jumlah dari arus yang masuk kedalam titik itu sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut.

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$



Gambar 6. Percabangan arus listrik.

Arus pada percabangan rangkaian di Gambar 6 dirumuskan sebagai berikut:

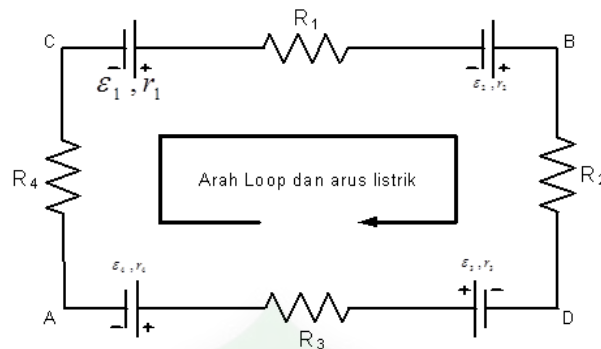
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Analogi Hukum I Kirchoff dalam kehidupan sehari-hari seperti halnya pemasukan dan pengeluaran. Hal yang selalu ada dan sifatnya sirkulatif seperti arus listrik adalah rizki. Setiap pemasukan selalu diimbangi pengeluaran dengan cara yang di ridhoi Allah SWT. Pengeluaran selain untuk kebutuhan pribadi, juga untuk kesejahteraan sesama umat dalam bentuk zakat, infaq dan sadaqah.

Hukum II Kirchoff

Di dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik (ε) dengan penurunan tegangan (IR) sama dengan nol.

$$\sum \varepsilon + \sum (IR) = 0$$



Gambar 7. Rangkaian tertutup satu loop.

Pada rangkaian tertutup sederhana dengan satu loop, arus listrik yang mengalir adalah sama, yaitu I . Dalam menyelesaikan persoalan di dalam loop perhatikan hal-hal berikut ini!

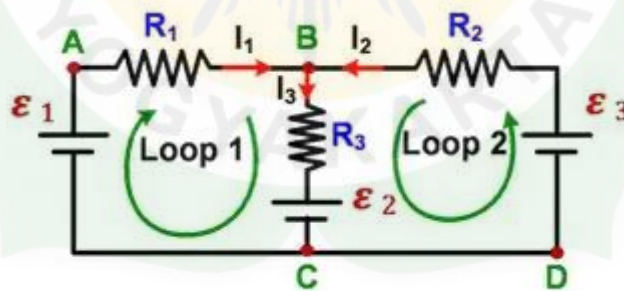
- Kuat arus bertanda positif jika searah dengan loop dan bertanda negatif jika berlawanan dengan arah loop.
- GGL bertanda positif jika kutub positifnya lebih dulu di jumpai loop dan sebaliknya GGL bertanda negatif jika kutub negatif lebih dulu di jumpai loop.

Berdasarkan gambar 5, maka penyelesaian rangkaian loop menggunakan Hukum II Kirchoff adalah:

$$IR_4 - \varepsilon_1 + Ir_1 + IR_1 - \varepsilon_2 + Ir_2 + IR_2 - \varepsilon_3 + Ir_3 + IR_3 + \varepsilon_4 + Ir_4 = 0$$

$$I(R_4 + r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + r_3 + R_3 + r_4) - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 = 0$$

Untuk rangkaian 2 loop seperti gambar berikut.



Gambar 8. Rangkaian tertutup dua loop.

<https://www.dosenpendidikan.co.id/hukum-kirchoff/>

Penyelesaian rangkaian pada gambar 8 adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan Hukum I Kirchoff

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

- Berdasarkan Hukum II Kirchoff untuk Loop 1

$$\sum \varepsilon + \sum (IR) = 0$$

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 0$$

- Berdasarkan Hukum II Kirchoff untuk Loop 2

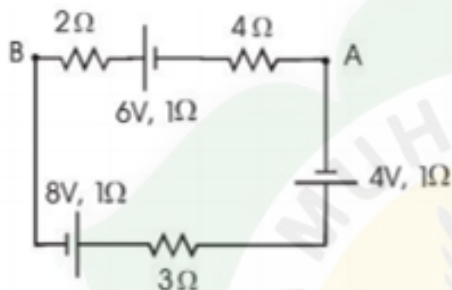
$$\sum \varepsilon + \sum (IR) = 0$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 0$$

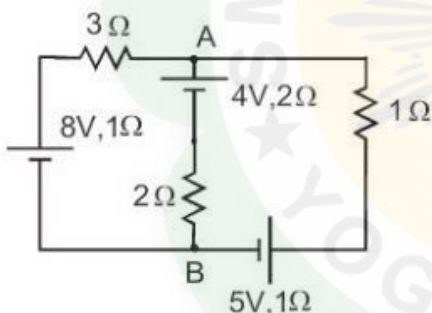
Dari ketiga persamaan diatas bisa diselesaikan dengan cara matematis sehingga diperoleh nilai I_1 , I_2 , dan I_3 .

Nah, setelah memahami tentang Hukum I dan II Kirchoff, mari mencoba kerjakan soal berikut:

- 4) Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut. Tentukan potensial antara titik B dan A!



- 5) Perhatikan rangkaian listrik berikut. Tentukan arus yang mengalir pada hambatan 2 ohm.



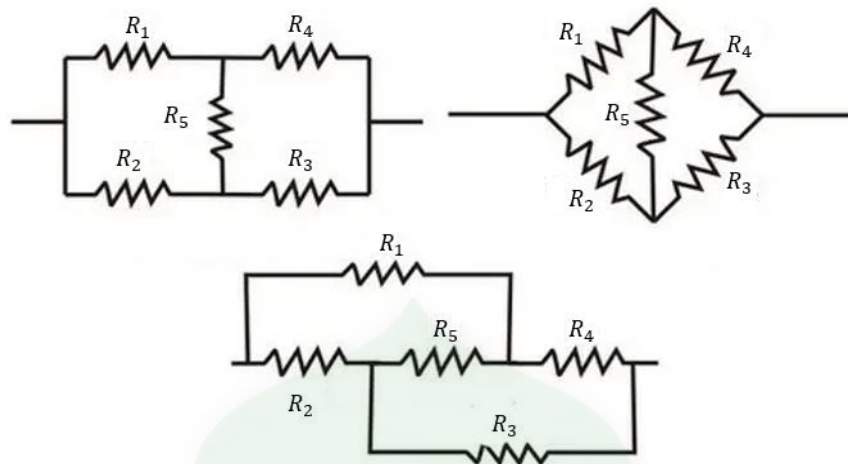
Penjelasan tentang Hukum Kirchoff juga bisa ananda lihat pada video berikut:

https://www.youtube.com/watch?v=Ls6aF2_b_s

Analogi Hukum II Kirchoff mempunyai esensi hidup ini selalu melewati hambatan dan rintangan sebagai ujian dari Allah SWT. Ujian dari Allah SWT merupakan proses penyeleksian, penyucian dan peninggian derajat. Sifat sabar yang ditunjukkan oleh seseorang dalam menghadapi ujian akan membawanya pada pembersihan jiwa yang akan mendekatkannya kepada Allah SWT, yang pada akhirnya membawanya ke derajat yang lebih tinggi.

D. Jembatan Wheatstone

Jembatan Wheatstone adalah susunan rangkaian listrik guna mengukur suatu tahanan yang tidak diketahui besarnya. Fungsi dari Jembatan Wheatstone yaitu guna mengukur nilai suatu hambatan dengan cara arus yang mengalir galvanometer sama dengan nol sebab potensial ujungnya sama besar. Sehingga bisa dirumuskan dengan perkalian silang.



Gambar 9. Macam-macam rangkaian Jembatan Wheatstone.

Untuk mendapatkan besarnya suatu hambatan pengganti pada tiap susunan hambatan jembatan Wheatstone bisa memakai aturan dan rumus berikut:

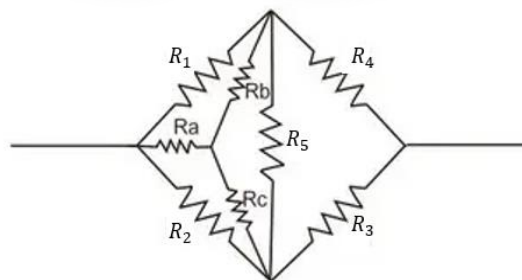
1. Jika $R_1R_3 = R_2R_4$, maka arus yang mengalir pada R_5 sama dengan nol, sehingga R_5 bisa diabaikan.



Gambar 10. Rangkaian Jembatan Wheatstone jika R_5 diabaikan.

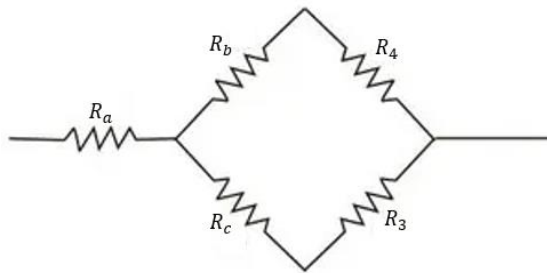
Berdasarkan gambar 10, maka rangkaian maka penyelesaian rangkaian untuk mencari hambatan pengganti menjadi lebih sederhana, menggunakan rangkaian seri dan parallel biasa.

2. Jika $R_1R_3 \neq R_2R_4$, maka hambatan harus diganti dengan hambatan baru hingga susunan hambatannya menjadi seperti di bawah ini.



Gambar 11. Rangkaian untuk mencari pengganti hambatan.

Sehingga rangkaiannya menjadi seperti gambar di bawah ini.



Gambar 12. Rangkaian pengganti

Dengan rumus untuk mencari rangkaian pengganti adalah:

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_b = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_c = \frac{R_2 R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

Selanjutnya untuk mencari hambatan pengganti, hanya melanjutkan dengan prinsip rangkaian seri dan paralel hambatan.

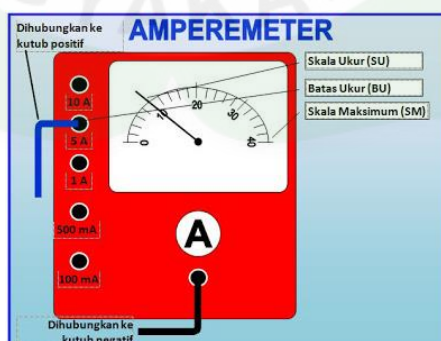
E. Alat Ukur Listrik

1. Amperemeter

- Berfungsi untuk mengukur besarnya arus listrik.
- Dipasang seri dalam rangkaian.

Cara membaca hasil pengukuran pada Amperemeter:

$$\text{Hasil Ukur} = \frac{\text{Skala Ukur}}{\text{Skala Maksimum}} \times \text{Batas Ukur}$$

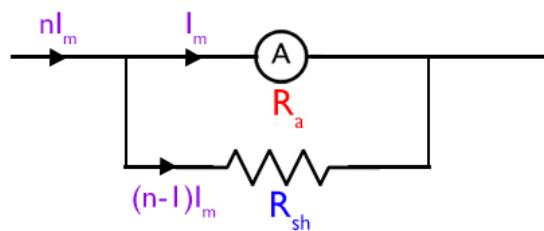


Gambar 13. Bagian-bagian pada Amperemeter

<http://fisienal.blogspot.com/2013/07/pengukuran-kuat-arus-listrik.html>

- Untuk mengukur kuat arus yang sangat besar (melebihi batas ukurnya) dipasang tahanan *Shunt* paralel dengan Amperemeter (Amperemeter dengan tahanan *Shunt* disebut Ammeter). Misalnya kita mau mengukur arus yang lebih n kali dari batas ukur

ammeter I_m , maka $I = nI_m$. Kita harus memasang hambatan shunt R_{sh} sehingga arus terbagi menjadi I_m yang masuk ke dalam ammeter dan sisanya ke hambatan shunt ini.



Gambar 14. Rangkaian hambatan shunt

<http://smarterindo.com/fisika/elektrodinamika.html>

Karena rangkaian tersusun secara paralel, maka tegangannya sama sehingga:

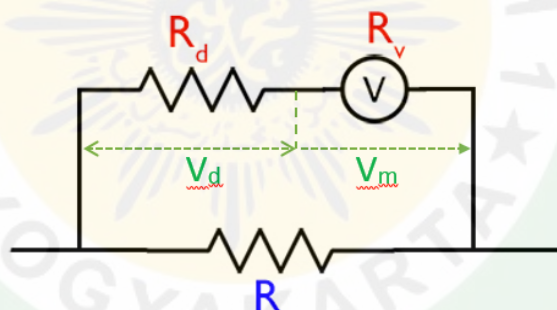
$$V_a = V_{sh}$$

$$I_m R_a = (n - 1) I_m R_{sh}$$

$$R_{sh} = \frac{1}{n - 1} R_a$$

2. Voltmeter

- Berfungsi untuk mengukur besarnya tegangan dalam rangkaian listrik.
- Dipasang paralel dalam rangkaian.
- Voltmeter memiliki batas maksimum tegangan yang bisa diukur. Jika voltmeter dipasang pada tegangan yang lebih tinggi dari batas maksimumnya maka voltmeter akan rusak. Untuk mengukur beda potensial yang melebihi batas ukurnya, dipasang tahanan depan seri dengan Voltmeter.



Gambar 15. Rangkaian dengan pemasangan hambatan depan untuk memperbesar batas ukur voltmeter.

<http://smarterindo.com/fisika/elektrodinamika.html>

Hal ini bisa diatasi dengan cara yang sederhana. Misalnya kita ingin mengukur komponen yang kira-kira tegangannya 100 V tetapi voltmeter kita memiliki batas maksimum 10 V. Kita bisa mengatasi hal ini dengan membagi tegangan 100 V sehingga yang melewati voltmeter tetap 10 V. Hal ini dilakukan dengan memasang hambatan depan bernilai R_d yang dipasang seri dengan voltmeter untuk mengambil tegangan 90 V. Mengapa dirangkai secara seri? Karena tegangan terbagi saat dirangkai secara seri. Berapakah nilai R_d yang perlu kita pasang?

Untuk menuliskan hal ini secara matematis, kita memisalkan tegangan yang akan diukur bernilai n kali dari batas maksimum voltmeternya (V_m) sehingga $V = nV_m$. Karena hambatan R_d ini dirangkai seri dengan voltmeter dan voltmeter ini paralel dengan komponen yang akan kita ukur, maka berlaku:

$$V = V_d + V_m$$

$$nV_m = V_d + V_m$$

$$V_d = (n - 1)V_m$$

R_d dirangkai seri dengan voltmeter maka arus yang melewati adalah sama (I_m). Maka dalam persamaan menjadi:

$$I_m R_d = (n - 1)I_m R_V$$

Maka nilai hambatan yang harus dipasang seri dengan voltmeter:

$$R_d = (n - 1)R_V$$

Coba dikerjakan contoh soal tentang alat ukur listrik berikut:

- 6) Batas pengukuran maksimum pada sebuah amperemeter sebesar 500 mA yang mempunyai hambatan dalam 30 ohm. Hitung hambatan shunt yang harus dipasang untuk mengukur arus pada rangkaian sebesar 3 ampere?

Video cara membaca alat ukur listrik bisa dilihat pada link youtube berikut:

<https://www.youtube.com/watch?v=HWVsdS4pbA4>

Kalian bisa mencoba merangkai hambatan secara seri, parallel, dan mengukur besar arus dan tegangan melalui *Virtual Lab: Construction Kit DC*, pada link berikut:

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_en.html

F. Energi Listrik

Energi listrik berguna untuk kita karena dapat dengan mudah diubah menjadi energi bentuk lain. Misalnya motor listrik merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi listrik adalah energi yang ditimbulkan oleh arus listrik pada suatu penghantar yang dapat diubah menjadi energi bentuk lain. Energi listrik dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$W = VIt = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t$$

Dalam sistem SI, energi listrik (W) dinyatakan dalam satuan joule (J).

Energi listrik lebih mudah digunakan oleh manusia karena energi ini dapat diubah menjadi energi lain dalam sekejap. Contohnya energi listrik dapat diubah menjadi energi kalor (pada setrika listrik dan *rice cooker*) dan energi mekanik (pada kipas angin dan pompa air). Dalam sebuah kegiatan, Joule mendapat angka kesetaraan antara energi mekanik dan energi kalor yang disebut dengan tara kalor mekanik yang besarnya adalah 1 joule = 0,24 kalori atau 1 kalori = 4,2 joule.

G. Daya Listrik

Daya listrik adalah laju energi listrik yang dipindahkan atau energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Dalam sistem SI, daya listrik (P) dinyatakan dalam satuan joule per detik atau watt (W). Satuan yang lebih besar adalah $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ dan $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$.

Jadi, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Energi listrik juga dinyatakan dalam kWh (kilo watt hours).

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kWh} \times 1 \text{ J}$$

$$= 1 \text{ kW} \times 1 \text{ jam}$$

$$= 1.000 \text{ W} \times 3.600 \text{ s}$$

$$= 3.600.000 \text{ Ws}$$

$$\text{Jadi, } 1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

Untuk lebih memahami tentang energy dan daya listrik, coba Ananda kerjakan soal berikut:

- 7) Kuat arus listrik sebesar 2 ampere mengalir dalam konduktor yang berhambatan 5 ohm selama 5 menit. Hitunglah:
- Energi listrik
 - Energi kalor yang timbul
 - Daya listrik
- 8) Sebuah rumah tangga menggunakan 4 lampu masing-masing 50 W dan dinyalakan 10 jam per hari, televisi 100 W dinyalakan rata-rata 12 jam per hari, dan sebuah mesin pompa air 125 W dinyalakan rata-rata 2 jam per hari. Jika harga 1 kWh energi listrik yang terpakai Rp. 500,- maka hitunglah rekening listrik yang harus dibayar oleh keluarga tersebut selama sebulan (30 hari).

UJI KOMPETENSI

- Jumlah muatan yang berpindah melalui penampang kawat penghantar dengan kuat arus 2 ampere selama 15 menit adalah....
A. 30 C
B. 75 C
C. 450 C
D. 900 C
E. 1.800 C

- Tabel di bawah ini merupakan hasil percobaan lima jenis kawat yang mempunyai hambatan sama.

Kawat	Panjang	Luas Penampang
1	x	y
2	2x	y
3	0,5x	3y
4	0,2x	2y
5	5x	$\frac{1}{2}y$

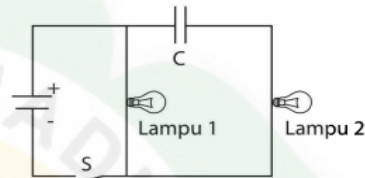
Berdasarkan table di atas, kawat yang mempunyai hambatan jenis terbesar adalah....

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Dua buah kawat tembaga dengan Panjang yang sama memiliki diameter 1 mm dan 2 mm. Kedua kawat dihubungkan dengan sumber tegangan yang sama besar. Rasio antara arus listrik yang mengalir pada kawat berdiameter 1 mm dan kawat berdiameter 2 mm adalah.... (SBMPTN 2016)
A. 1 : 1
B. 1 : 2
C. 1 : 4
D. 2 : 1
E. 4 : 1
 - Seutas kawat panjangnya 100 cm, luas penampangnya 5 mm², hambatan kawat

tersebut 100 ohm. Maka hambatan jenisnya adalah....

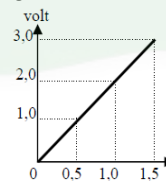
- $1 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$
- $2 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$
- $2 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$
- $5 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$
- $5 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$

- Dua buah lampu dihubungkan dengan sebuah sumber tegangan dan sebuah kapasitor seperti pada gambar. Setelah saklar S ditutup dalam jangka waktu yang Panjang, yang akan terjadi adalah.... (SBMPTN 2018)



- Kedua lampu tetap menyala
- Lampu 1 bertambah terang, lampu 2 tidak menyala
- Lampu 1 meredup, lampu 2 tidak menyala
- Lampu 1 meredup, lampu 2 bertambah terang
- Lampu 1 bertambah terang, lampu 2 meredup

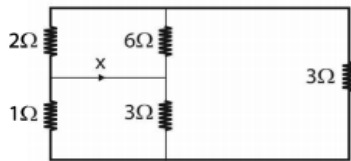
- Dari hasil suatu percobaan hukum Ohm diperoleh grafik hubungan antara tegangan V dan kuat arus I seperti gambar di bawah ini.



Nilai hambatan yang digunakan dalam percobaan tersebut adalah....

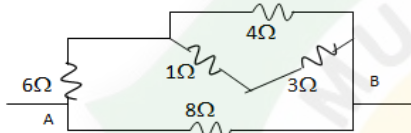
- 0,5 Ω
- 1,0 Ω
- 1,5 Ω
- 2,0 Ω
- 2,5 Ω

7. Sebuah rangkaian listrik diperlihatkan pada gambar. Agar energi yang diserap oleh hambatan $6\ \Omega$ setiap sekonnnya 1,5 joule, beda tegangan x yang harus dipasang adalah.... (SBMPTN 2015)



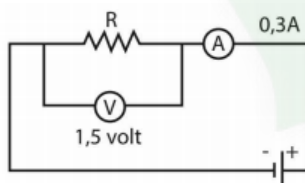
- A. 4 V
B. 5,4 V
C. 6,2 V
D. 8 V
E. 8,5 V

8. Dari rangkaian di bawah ini, besar hambatan pengganti antara A dan B adalah....



- A. 1 Ω
B. 2 Ω
C. 3 Ω
D. 4 Ω
E. 5 Ω

9. Metode ampere-voltmeter dipasang seperti gambar untuk mengetahui besar hambatan R . Maka nilai R adalah.... (SBMPTN 2014)



- A. 0,4 Ω
B. 4,5 Ω
C. 5,0 Ω
D. 5,5 Ω
E. 6,0 Ω

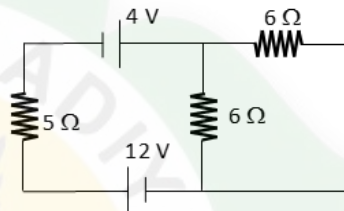
10. Rangkaian sederhana terdiri dari 3 hambatan seperti pada gambar.



Jika beda potensial $V_{AB} = 16$ volt, maka beda potensial V_{AC} adalah....

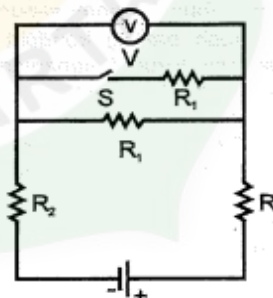
- A. 20 V
B. 24 V
C. 28 V
D. 32 V
E. 36 V

11. Jika hambatan 5 ohm pada rangkaian diganti dengan hambatan 7 ohm, perbandingan arus total yang mengalir pada rangkaian sebelum dengan setelah pengantian adalah....



- A. 3 : 2
B. 2 : 3
C. 5 : 4
D. 4 : 5
E. 3 : 4

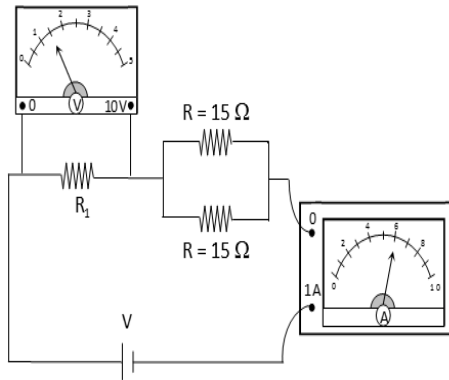
12. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah voltmeter V dirangkai seperti yang terdapat pada gambar. Jika saklar S ditutup, yang akan terjadi adalah....

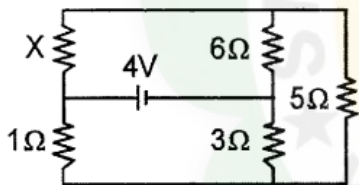
- A. Tidak ada perubahan tegangan yang terbaca pada voltmeter
B. Voltmeter tidak dilalui arus
C. Arus pada voltmeter mengecil
D. Tegangan yang terbaca pada voltmeter berkurang
E. Hubungan singkat pada voltmeter

13. Amperemeter dan Voltmeter digunakan untuk mengukur kuat arus dan tegangan pada suatu rangkaian seperti gambar.



Besar hambatan R_1 adalah....

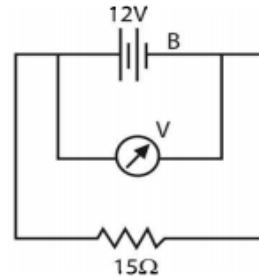
- A. 1 ohm
 B. 2 ohm
 C. 3 ohm
 D. 4 ohm
 E. 5 ohm
14. Sebuah rangkaian listrik diperlihatkan pada gambar. Agar tidak ada energi yang diserap oleh hambatan 5Ω , hambatan X yang harus dipasang adalah....



- A. 2Ω
 B. 4Ω
 C. 6Ω
 D. 8Ω
 E. 10Ω

15. Sebuah Voltmeter mempunyai hambatan dalam $3 \text{ k}\Omega$, dapat mengukur tegangan maksimal 5 Volt. Jika ingin memperbesar batas ukur Voltmeter menjadi 100 Volt, hambatan muka yang harus dipasang secara seri pada Voltmeter adalah....
- F. $42 \text{ k}\Omega$
 G. $47 \text{ k}\Omega$
 H. $52 \text{ k}\Omega$
 I. $57 \text{ k}\Omega$
 J. $62 \text{ k}\Omega$

16. Dalam rangkaian listrik ini, GGL baterai B sebesar 12 volt akan diukur dengan voltmeter V yang bertahanan dalam sangat besar. Pembacaan voltmeter V memberikan hasil sebesar 10,5 volt sehingga besar arus listrik yang melewati baterai B adalah.... (UM UGM 2013)

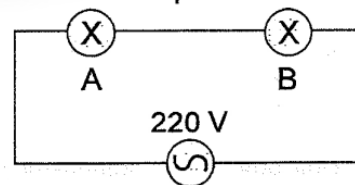


- A. 0,05 A
 B. 0,1 A
 C. 0,3 A
 D. 0,7 A
 E. 0,9 A

17. Tiga buah hambatan masing-masing 2, 4 dan 6 ohm dirangkai seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan 12 volt. Daya listrik pada hambatan 2 ohm sebesar

- A. 0,5 W
 B. 1 W
 C. 2 W
 D. 4 W
 E. 6 W

18. Dua buah lampu listrik A dan B disusun seri dan dipasang pada tegangan 220 V seperti gambar di bawah. Spesifikasi lampu A adalah 36 W;220 V dan lampu B yaitu 18 W;220V. Jumlah daya pada kedua lampu adalah....



- A. 6 W
 B. 12 W
 C. 16 W
 D. 20 W
 E. 24 W

19. Pemanas A dapat menaikkan suhu 200 gram air sebesar 20°C dalam waktu 105 detik. Pemanas B yang berdaya 200 watt digunakan untuk memanaskan 200 gram air sebesar 20°C dalam waktu 140 detik. Jika pemanas B memiliki efisiensi 75% dari efisiensi pemanas A dan kalor jenis air $4,2 \text{ J/g.K}$, maka daya pemanas A adalah....
- A. 300 watt
 - B. 280 watt
 - C. 250 watt
 - D. 220 watt
 - E. 200 watt

20. Lima buah alat listrik masing-masing bertuliskan:
- P = refrigerator 230 V, 80 W
 - Q = AC (Air Conditioner) 230 V, 1.500 W
 - R = setrika listrik 230 V, 1.000 W
 - S = pompa air 110 V, 750 W
 - T = lampu 12 V, 60 W
- Dari kelima alat tersebut yang mempergunakan energi listrik dalam setiap satuan waktu paling besar adalah
- A. P
 - B. S
 - C. Q
 - D. T
 - E. R



BAB 2. LISTRIK STATIS

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.2 Menganalisis muatan listrik, gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik serta penerapannya pada berbagai kasus	3.2.1 Menganalisis gaya elektrostatik. 3.2.2 Menganalisis medan listrik. 3.2.3 Menganalisis permasalahan potensial listrik listrik. 3.2.4 Menganalisis rangkaian kapasitor dan energinya.
4.2 Melakukan percobaan berikut presentasi hasil percobaan kelistrikan (misalnya pengisian dan pengosongan kapasitor) dan manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari	4.2.1 Melakukan percobaan tentang kapasitas kapasitor. 4.2.2 Menyajikan hasil percobaan kapasitas kapasitor. 4.2.3 Mempresentasikan hasil percobaan tentang kapasitas kapasitor.

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan dan mempresentasikan hasil diskusi untuk menganalisis Listrik Statis, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

LISTRIK STATIS

Sesungguhnya fenomena elektrostatik merupakan pemandangan yang sering kita saksikan sehari-hari. Mungkin di antara kalian pernah mengalami peristiwa ketika menyetrika kain wool, begitu selesai disetrika maka kain wool tersebut menarik rambut-rambut di badan kalian saat kain tersebut didekatkan ke tubuh. Beberapa dari kalian mungkin pernah iseng menggosokkan penggaris plastik pada tangan kalian kemudian mendekatkannya ke rambut temanmu hingga nampak beberapa helai rambut berdiri karenanya. Atau coba kalian lakukan dengan menggunakan balon, gosokkan ke rambut kalian kemudian tempelkanlah pada dinding, lihatlah apa yang terjadi? Balon akan menempel pada dinding. Dalam skala yang besar fenomena elektrostatik sering kalian lihat pada timbulnya petir akibat loncatan muatan listrik statis di ionosfer. Beberapa contoh tersebut adalah salah satu dari sekian banyak fenomena elektrostatik yang sudah menjadi perhatian manusia sejak ribuan tahun lalu.

A. Interaksi Elektrostatik

1. Muatan Listrik

Pernahkah kalian terkejut ketika tangan anda menyentuh layar TV? Apakah yang menyebabkan peristiwa sengatan yang kadang-kadang disertai rasa sakit itu? Sengatan itu merupakan akibat yang ditimbulkan oleh listrik statis. Petir yang sering Anda lihat pada saat hari hujan itu juga merupakan contoh peristiwa alam yang disebabkan listrik statis. Apakah listrik statis itu? Muatan yang diam dinamakan *muatan listrik statis atau muatan listrik diam*. Muatan listrik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *muatan positif dan muatan negatif*. Sebuah muatan menjadi positif jika kehilangan elektron, sebaliknya muatan menjadi negatif jika kedatangan elektron. Dua muatan yang sejenis jika didekatkan akan saling tolak-menolak, sebaliknya jika dua muatan berlainan jenis didekatkan maka akan saling tarik-menarik. Interaksi antara benda-benda bermuatan listrik disebut *interaksi elektrostatik*.

"Maha Suci Tuhan yang telah menciptakan pasangan-pasangan semuanya baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka maupun dari apa-apa yang mereka tidak ketahui." (QS Yasin: 36).

Seperti halnya muatan listrik, ada muatan positif dan negatif. Konsep muatan sejenis akan tolak menolak dan berlainan jenis akan tarik menarik. Demikian pula fitrah manusia, akan tertarik dan berpasangan dengan yang berlainan jenis. Ini merupakan salah satu bentuk rasa syukur dan keimanan terhadap Allah SWT.

2. Gaya Coulomb

Gaya elektrostatik antara dua muatan listrik berbanding lurus dengan besar masing-masing muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan. Gaya Coulomb merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai dan arah. Besar gaya Coulomb dirumuskan sebagai berikut:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Keterangan:

F = gaya Coulomb (N)

q_1 dan q_2 = muatan (C)

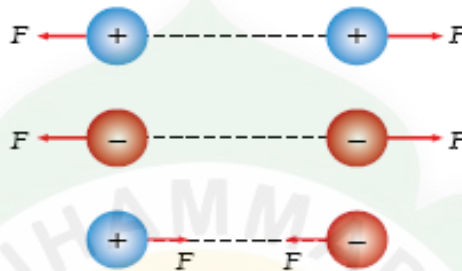
r = jarak antarmuatan (m)

k = konstanta perbandingan di udara atau ruang hampa

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

ϵ_0 = permitivitas listrik = $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

Arah gaya Coulomb ditentukan dari muatan masing-masing. Untuk muatan sejenis, maka arah gaya Coulomb nya saling menjauh, sedangkan untuk muatan yang berlainan jenis akan saling tarik-menarik.



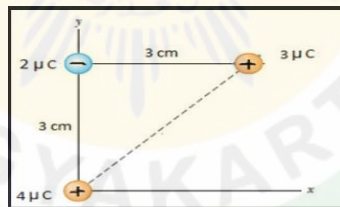
Gambar 1. Arah gaya Coulomb antara dua muatan.

Untuk melihat simulasi arah gaya Coulomb bisa mencoba dengan membuka link berikut:

https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_en.html

Nah ananda, setelah memahami tentang konsep gaya Coulomb, coba kerjakan soal berikut:

- 1) Tiga titik muatan listrik diletakkan pada titik-titik sudut seperti pada gambar. Jika tetapan elektrostatis $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$, berapakah besar gaya elektrostatis yang dialami muatan negatif?

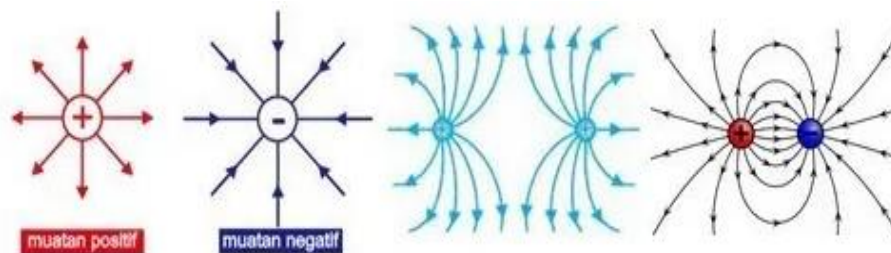


B. Medan Listrik

Medan listrik adalah ruang di sekitar benda-benda bermuatan listrik, di mana setiap titik bermuatan listrik yang berada di dalamnya mengalami gaya elektrostatis.

1. Kuat Medan Listrik

Kuat medan listrik atau biasa disebut medan listrik di suatu titik didefinisikan sebagai gaya elektrostatis yang dialami oleh satu satuan muatan positif yang diletakkan di titik itu. Medan listrik merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai dan arah. Arah medan listrik yang ditimbulkan oleh satu muatan diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Arah medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan positif dan negatif.
<https://www.amongguru.com/pengertian-medan-listrik-dan-cara-menghitung-kuat-medan-listrik/>

Berdasarkan gambar 2, kuat medan listrik pada muatan positif arahnya keluar dan muatan negatif arahnya masuk. Sedangkan besar kuat medan listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{F}{q'} = k \frac{q}{r^2}$$

Keterangan:

E = kuat medan listrik (N/C)

q' = muatan listrik (C)

2. Hukum Gauss

Hukum Gauss menyatakan bahwa: jumlah seluruh garis medan listrik yang menembus permukaan tertutup sama dengan jumlah aljabar muatan-muatan listrik yang dilingkupi permukaan tertutup itu.

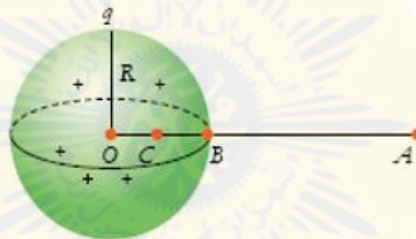
$$E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Keterangan:

E_{total} = jumlah medan listrik pada permukaan Gauss (N/C)

Q = jumlah muatan dalam permukaan Gauss (C)

3. Kuat Medan Listrik pada Bola Konduktor Bermuatan



Gambar 3. Bola konduktor bermuatan.

- Di luar bola: $E_A = k \frac{q}{r_A^2}$
- Di permukaan bola: $E_B = k \frac{q}{r_B^2} = k \frac{q}{R^2}$
- Di dalam bola: $E_C = 0$

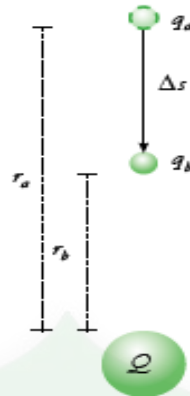
Setelah memahami konsep medan listrik, cobalah untuk mengerjakan soal berikut:

- 2) Dua buah muatan positif masing-masing $q_1 = 32 \mu\text{C}$ dan $q_2 = 72 \mu\text{C}$ terpisah sejauh 20 cm satu sama lain. Bila di titik P yang terletak diantara kedua muatan resultan besar kuat medan listriknya = nol, tentukan letak titik tersebut dari muatan q_1 .

C. Energi Potensial dan Potensial Listrik

1. Energi Potensial Listrik

Energi potensial listrik adalah usaha untuk memindahkan muatan listrik q dari titik a yang berjarak r_a ke titik b yang berjarak r_b .



Gambar 4. Usaha W , memindahkan muatan q dari titik a ke titik b .

$$W_{a \rightarrow b} = kQq \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right)$$

Bila $r_a = \infty$ dan $r_b = r$ maka:

$$W = k \frac{Qq}{r}$$

Keterangan:

W = energi potensial listrik (J)

2. Potensial Listrik

Potensial listrik adalah energi potensial per satuan muatan.

$$V = \frac{W}{q} = k \frac{Q}{r}$$

Dengan demikian, usaha untuk memindahkan q dari a ke b dalam medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan Q dapat ditulis sebagai berikut:

$$W_{a \rightarrow b} = q \left(\frac{kQ}{r_b} - \frac{kQ}{r_a} \right) = q(V_b - V_a)$$

Keterangan:

V = potensial listrik (J/C = volt)

3. Potensial Listrik yang Ditimbulkan oleh Beberapa Muatan

Karena potensial listrik adalah besaran skalar, jumlah potensial di titik P sama dengan jumlah aljabar potensial terhadap masing-masing muatan.

$$V = k \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Dari konsep potensial listrik yang sudah dipahami, coba kerjakan soal berikut:

- 3) Potensial listrik di suatu titik yang berjarak r dari suatu muatan q adalah 600 volt. Jika besar medan listrik di titik tersebut adalah 400 N/C, tentukan besar muatan q !

D. Kapasitor

Kapasitor atau sering juga disebut *kondensator* adalah alat (*komponen*) yang dibuat sedemikian sehingga mampu menyimpan muatan listrik.

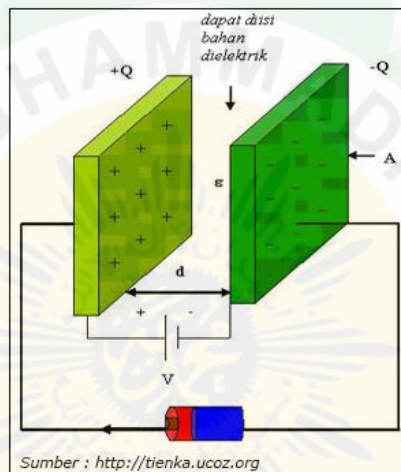
1. Kapasitas kapasitor

Kapasitas kapasitor adalah perbandingan antara besarnya muatan listrik yang dapat disimpan tiap satu satuan beda potensial bidang bidangnya.

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

Kapasitas kapasitor lempeng sejajar bisa dirumuskan:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Gambar 5. Kapasitor keping sejajar.

Keterangan:

C = kapasitas kapasitor (F)

A = luas pelat (m^2)

d = jarak antarplat sejajar (m)

2. Dielektrik

Pada kapasitor, ruang antarkepingnya biasa disisipi suatu bahan isolator, seperti kaca, plastik, mika, kertas, atau kayu, bahan ini disebut dengan **dielektrik**.

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d} \quad \text{dengan} \quad \epsilon = K\epsilon_0$$

Keterangan:

ϵ = permitivitas bahan

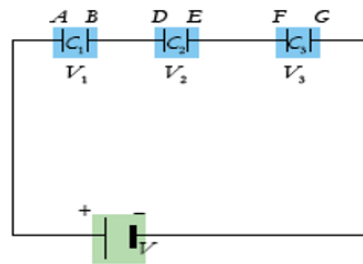
ϵ_0 = permitivitas hampa udara

K = konstanta dielektrik

E. Rangkaian Kapasitor

1. Rangkaian Seri

Rangkaian kapasitor secara seri akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin kecil.



Gambar 6. Rangkaian kapasitor seri.

Pada rangkaian kapasitor yang dirangkai secara seri berlaku:

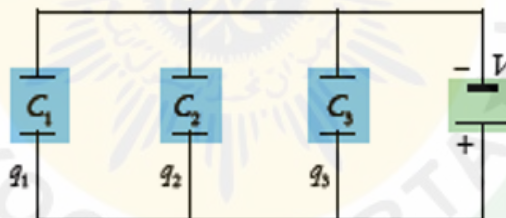
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$q = q_1 = q_2 = q_3$$

2. Rangkaian Paralel

Rangkaian kapasitor secara paralel akan mengakibatkan nilai kapasitansi pengganti semakin besar.



Gambar 7. Rangkaian kapasitor paralel.

Pada rangkaian kapasitor yang dirangkai secara paralel berlaku:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

3. Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor

Sebuah kapasitor akan menyimpan energi dalam bentuk medan jika dihubungkan dengan sumber tegangan. Besarnya energi listrik yang tersimpan oleh kapasitor sama dengan usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik dari sumber tegangan tersebut ke dalam kapasitor. Energi yang tersimpan dalam kapasitor dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

Keterangan:

W = energi yang tersimpan dalam kapasitor (J)

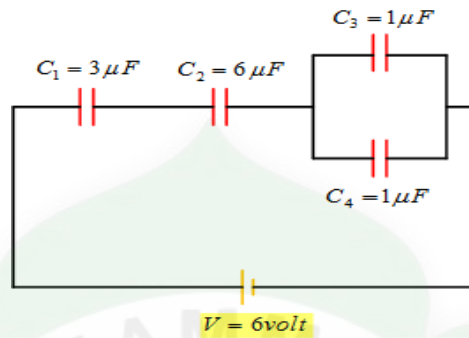
q = muatan listrik (C)

V = potensial kapasitor (V)

C = kapasitas kapasitor (F)

Setelah memahami rangkaian kapasitor, coba kerjakan soal berikut:

- 4) Perhatikan rangkaian kapasitor berikut. Tentukan energi yang tersimpan pada masing-masing kapasitor.



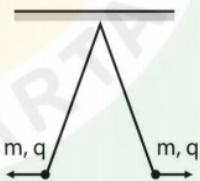
Penjelasan tentang Gaya Coulomb, Medan Listrik, dan Kapasitor bisa dilihat pada video berikut: <https://www.youtube.com/watch?v=O-HR7FfAsYM>

Simulasi untuk kapasitor bisa dibuka pada link berikut:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/capacitor-lab>

https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html

UJI KOMPETENSI

- Dua muatan Q_1 dan Q_2 tolak-menolak dengan besar gaya sebesar F jika jarak pisah antar muatan R , maka....
 - Besar gaya tolak menjadi $2F$ jika kedua muatan menjadi dua kali semula
 - besar gaya tolak menjadi $4F$ jika kedua muatan menjadi menjadi dua kali semula
 - besar gaya tolak menjadi $4F$ jika jarak antar muatan menjadi dua kali semula
 - besar gaya tolak menjadi $2F$ jika jarak antar muatan menjadi dua kali semula
 - besar gaya tolak tetap F jika jarak antar muatan menjadi dua kali semula
- Jumlah muatan dari dua buah muatan q_1 dan q_2 adalah $6 \mu\text{C}$. Jika kedua muatan tersebut dipisahkan sejauh 3 m , maka masing-masing muatan akan merasakan gaya listrik sebesar 8 mN . Besar q_1 dan q_2 berturut-turut adalah.... (SBMPTN 2013)
 - $3 \mu\text{C}$ dan $3 \mu\text{C}$
 - $5 \mu\text{C}$ dan $1 \mu\text{C}$
 - $8 \mu\text{C}$ dan $-2 \mu\text{C}$
 - $4 \mu\text{C}$ dan $2 \mu\text{C}$
 - $-4 \mu\text{C}$ dan $10 \mu\text{C}$
- Dua buah muatan masing-masing 5 C dan 4 C berjarak 3 m satu sama lain. Jika diketahui $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$ maka besar gaya Coulomb yang dialami kedua muatan adalah....
 - $2 \times 10^9 \text{ N}$
 - $6 \times 10^9 \text{ N}$
 - $2 \times 10^{10} \text{ N}$
 - $6 \times 10^{10} \text{ N}$
 - $2 \times 10^{11} \text{ N}$
- Empat muatan titik masing-masing (+) Q ditempatkan pada titik-titik sudut suatu bujur sangkar dengan Panjang sisi-sisinya a . Besar gaya yang dialami oleh masing-masing muatan adalah ($k =$ tetapan Coulomb).... (UM UGM 2016)
 - $2 \frac{Q^2}{a^2}$
 - $\sqrt{2} \frac{Q^2}{a^2}$
 - $\left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) \frac{Q^2}{a^2}$
 - $\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{Q^2}{a^2}$
 - $\left(\sqrt{2} - \frac{1}{2}\right) \frac{Q^2}{a^2}$
- Jarak dua muatan $A = -300 \mu\text{C}$ dan $B = 600 \mu\text{C}$ adalah 4 m . Titik C berada di antara kedua muatan berjarak 1 m dari A , maka besar kuat medan di titik C pengaruh dari kedua muatan adalah....
 - $9 \times 10^5 \text{ N/C}$
 - $18 \times 10^5 \text{ N/C}$
 - $33 \times 10^5 \text{ N/C}$
 - $45 \times 10^5 \text{ N/C}$
 - $54 \times 10^5 \text{ N/C}$
- Dua muatan yang sejenis dengan besar muatan sama, yaitu $q = 10 \mu\text{C}$ dan besarnya massa masing-masing sama, yaitu $m = 10 \text{ g}$, masing-masing diikat pada seutas tali panjangnya masing-masing sama, yakni $L = 1,5 \text{ m}$. Akibat tolakan gaya Coulomb dan tarikan gaya berat, kedua partikel dalam keadaan setimbang. Berapa besar jarak antara kedua muatan? (UM UNDIP 2009)
 - $2,46 \text{ m}$
 - $2,16 \text{ m}$
 - $1,86 \text{ m}$
 - $1,66 \text{ m}$
 - $1,26 \text{ m}$
- Titik A terletak dalam medan listrik. Kuat medan listrik di titik $A = 0,5 \text{ N/C}$. Jika di titik A diletakkan benda bermuatan listrik $0,25 \text{ C}$, maka pada benda tersebut bekerja gaya Coulomb sebesar....
 - $0,125 \text{ N}$
 - $0,25 \text{ N}$
 - $0,35 \text{ N}$
 - $0,40 \text{ N}$
 - $0,70 \text{ N}$

8. Pada percobaan Milikan, butiran-butiran oli bermuatan negatif disemprotkan pada ruang tak bertekanan yang diberi medan listrik sebesar $E = 3 \times 10^4 \text{ V.m}$ ke bawah. Sebuah butiran bermassa $m = 2 \times 10^{-15} \text{ kg}$ teramati bergerak ke atas sejauh 2,5 cm dalam waktu 0,1 s dari keadaan diam. Muatan listrik butiran tersebut adalah....
- $1,0 \times 10^{-18} \text{ C}$
 - $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
 - $3,0 \times 10^{-18} \text{ C}$
 - $3,0 \times 10^{-19} \text{ C}$
 - $1,6 \times 10^{-17} \text{ C}$
9. Sebutir debu massanya 1 miligram dapat mengapung di udara karena adanya medan listrik yang menahan debu tersebut. Bila muatan debu tersebut 0,5 μC dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 , besar kuat medan listrik yang dapat menahan debu tersebut adalah....
- 5 N/C
 - 10 N/C
 - 20 N/C
 - 25 N/C
 - 40 N/C
10. Dua buah bola masing-masing bermassa 1 gram diberi muatan yang sama besar lalu diletakkan sejauh 3 cm satu sama lain. Ketika dilepaskan, masing-masing bola mengalami percepatan sebesar 144 m/s^2 . Besar muatan yang diberikan pada masing-masing bola adalah....
- $6,4 \times 10^{-7} \text{ C}$
 - $3,6 \times 10^{-7} \text{ C}$
 - $2,5 \times 10^{-7} \text{ C}$
 - $1,2 \times 10^{-7} \text{ C}$
 - $8,0 \times 10^{-8} \text{ C}$
11. Jika dua buah muatan sama besar yang terpisah sejauh 8 cm memberikan besar gaya Coulomb 0,625 N, maka besar masing-masing muatan adalah....
- 0,7 μC
 - 2,0 μC
 - 2,2 μC
 - 4,0 μC
 - 24 μC
12. Sebuah bola konduktor dengan jari-jari R memiliki rongga berbentuk bola yang berjari-jari a dihitung dari pusat bola konduktor, dengan $a > \frac{R}{2}$. Di pusat bola konduktor diletakkan sebuah muatan titik +Q. Jika $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ dengan ϵ_0 adalah permitivitas listrik dalam udara, maka besar kuat medan listrik sebuah titik berjarak $\frac{R}{2}$ dari pusat bola konduktor adalah....
- 0
 - $\frac{kQ}{R^2}$
 - $\frac{4kQ}{R^2}$
 - $\frac{8kQ}{R^2}$
 - $\frac{kQ}{(R+a)^2}$
13. Dua buah bola A dan B bermuatan listrik masing-masing 20 μC dan -5 μC keduanya terpisah pada jarak 10 cm. Jika di tengah-tengah antara kedua muatan terdapat titik P, dengan $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, maka besar kuat medan listrik di titik P adalah....
- $1,82 \times 10^7 \text{ N/C}$
 - $6,8 \times 10^7 \text{ N/C}$
 - $7,2 \times 10^7 \text{ N/C}$
 - $9,0 \times 10^7 \text{ N/C}$
 - $9,6 \times 10^7 \text{ N/C}$
14. Tiga buah muatan 4q, Q dan q terletak pada sumbu x masing-masing pada posisi 0, L/2 dan L sedemikian. Agar gaya coulomb pada q sama dengan nol, maka muatan Q harus sama dengan....
- 4q
 - $\frac{1}{2} q$
 - 2 q
 - $\frac{1}{4} q$
 - q
15. Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan positif yang besarnya 20 C dari suatu titik yang potensialnya 30 V ke titik lain yang potensialnya 80 V adalah....
- 600 J
 - 700 J

- C. 800 J
D. 900 J
E. 1.000 J
16. Tiga buah kapasitor dengan kapasitansi masing-masing 1 mF, 2 mF, dan 3 mF dirangkai secara seri dan diberi tegangan 1 volt pada ujung-ujungnya. Perhatikan pernyataan berikut:
- 1) Masing-masing kapasitor memiliki muatan listrik yang sama banyak
 - 2) Kapasitor yang besarnya 1 mF menyimpan energi listrik terbesar
 - 3) Pada kapasitor 3 mF bekerja tegangan terkecil
 - 4) Ketiga kapasitor Bersama-sama membentuk sebuah kapasitor ekuivalen dengan muatan tersimpan sebesar $\frac{6}{11}C$
- Pernyataan yang benar adalah.... (SNMPTN 2011)
- A. 1, 2, dan 3
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 4
 - D. 4
 - E. 1, 2, 3, dan 4
17. Sebuah kapasitor mempunyai kapasitas sebesar 5 μF bila ada udara di antara keeping-kepingnya dan 30 μF bila diantara keeping-kepingnya ditempatkan lembaran porselen, maka permitivitas porselen adalah....
- A. 0,17
 - B. 6
 - C. 25
 - D. 35
 - E. 150
18. Kapasitor 5 μF ddiberi muatan dengan baterai 20 V lalu diisolasi. Selanjutnya kapasitor ini dihubungkan secara parallel dengan kapasitor 20 μF yang mula-mula tidak bermuatan. Besar muatan akhir yang dimiliki oleh kapasitor 5 μF sekarang adalah....
- A. 100 μC
 - B. 80 μC
 - C. 60 μC
 - D. 40 μC
 - E. 20 μC
19. Sebuah kapasitor keeping sejajar yang tebalnya d mempunyai kapasitansi C_0 . Ke dalam kapasitor ini dimasukkan dua bahan dielektrik yang masing-masing tebalnya $d/2$ dengan konstanta dielektrik k_1 dan k_2 , sehingga kapasitasnya menjadi....
- A. $\frac{k_1 k_2 C_0}{k_1 + k_2}$
 - B. $\frac{2k_1 k_2 C_0}{k_1 + k_2}$
 - C. $\frac{4k_1 k_2 C_0}{k_1 + k_2}$
 - D. $\frac{k_1 k_2 C_0}{2(k_1 + k_2)}$
 - E. $\frac{k_1 k_2 C_0}{4(k_1 + k_2)}$
20. Supaya sebuah kapasitor 2 mF memiliki energy 2,5 J, maka kapasitor harus dihubungkan ke sumber tegangan....
- A. 50 V
 - B. 100 V
 - C. 150 V
 - D. 200 V
 - E. 250 V

BAB 3. MEDAN MAGNET

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.2 Menganalisis medan magnetik, induksi magnetik, dan gaya magnetik pada berbagai produk teknologi	3.3.1 Menganalisis medan magnet di sekitar kawat berarus. 3.3.2 Menganalisis gaya Lorentz pada kawat lurus. 3.3.3 Menganalisis gaya Lorentz pada muatan bergerak. 3.3.4 Menganalisis gaya Lorentz pada kawat sejajar. 3.3.5 Menganalisis gerak muatan titik dalam medan magnet.
1.3 Melakukan percobaan tentang induksi magnetik dan gaya magnetik disekitar kawat berarus listrik berikut presentasi hasilnya	4.3.1 Melakukan percobaan induksi magnet pada kawat berarus listrik. 4.3.2 Melakukan percobaan gaya Lorentz pada kawat berarus listrik. 4.3.3 Mempresentasikan hasil percobaan induksi magnet dan gaya Lorentz. 4.3.4 Menyajikan penerapan gaya Lorentz.

Tujuan Pembelajaran

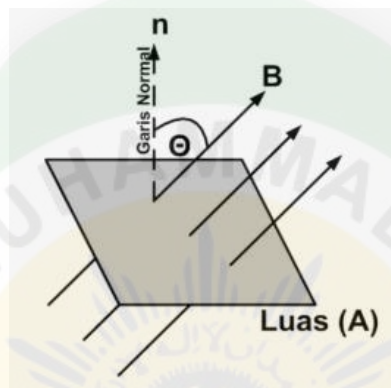
Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan dan mempresentasikan hasil diskusi untuk menganalisis Medan Magnet, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

MEDAN MAGNET

A. Medan Magnet

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak pernah terlepas dari peralatan-peralatan elektronika. Magnet merupakan bagian tak terpisahkan dari alat-alat elektronik dan teknik kelistrikan, karena tidak sedikit konstruksi alat-alat listrik tergantung pada magnet. Alat-alat listrik yang menggunakan magnet antara lain dinamo listrik pada sepeda, generator pembangkit tenaga listrik, motor-motor listrik, dan alat-alat kendali (kontrol) listrik. Hampir pada seluruh pesawat elektronika fenomena kemagnetan mudah kita temui.

Medan magnet adalah ruangan di sekitar benda-benda yang menimbulkan gaya magnet. Garis gaya magnet adalah garis khayal yang merupakan lintasan kutub utara magnet-magnet kecil apabila dapat bergerak dengan bebas. Besar kecilnya medan magnet digambarkan dengan garis gaya atau disebut fluks magnet Φ (fluks) dengan satuan weber (Wb). Jumlah garis gaya yang menembus tegak lurus bidang seluas 1 m^2 disebut rapat fluks magnet (B).



Gambar 1. Fluks magnet yang menembus suatu bidang datar.

<https://thecakeboutiquect.com/>

Fluks magnet dirumuskan dengan:

$$\Phi = BA \cos \theta$$

Keterangan:

Φ = jumlah garis gaya (Wb)

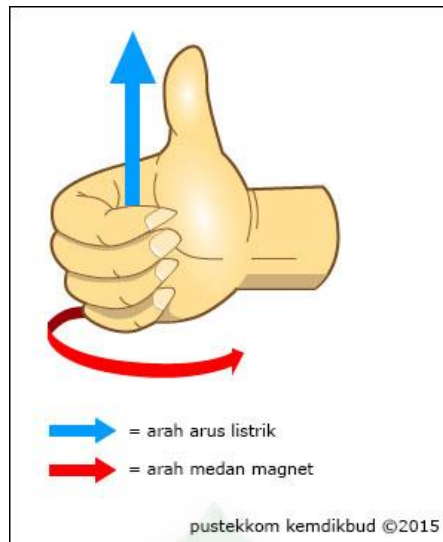
B = rapat fluks magnet (Wb/m^2) atau (tesla)

A = luas bidang (m^2)

θ = sudut antara arah B dengan garis normal bidang

1. Medan Magnetik pada Kawat Lurus Berarus Listrik

Medan magnet di sekitar penghantar berarus digambarkan dengan garis-garis gaya magnet yang melingkari penghantar dengan pusat lingkaran pada setiap titik di sepanjang penghantar tersebut. Pada kawat yang dialiri listrik terdapat garis-garis gaya magnet yang melingkarinya. Medan magnet merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai dan arah. Dengan *kaidah Tangan Kanan Fleming*, diketahui bahwa garis gaya magnet yang terbentuk tersebut memiliki arah tertentu. Bila kawat berarus listrik tersebut digenggam dengan tangan kanan, dan ibu jari mengarah ke arah aliran arus, maka keempat jari lainnya menunjukkan arah garis gaya magnet.



Gambar 2. Aturan tangan kanan untuk arah arus listrik dan medan magnet pada kawat lurus.

<https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Medan-Magnetik-2015/konten6.html>

Besar kuat medan magnet disekitar kawat berarus listrik dirumuskan dengan:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Keterangan:

B = medan magnet di sekitar kawat lurus berarus listrik (Wb/m^2)

I = kuat arus (A)

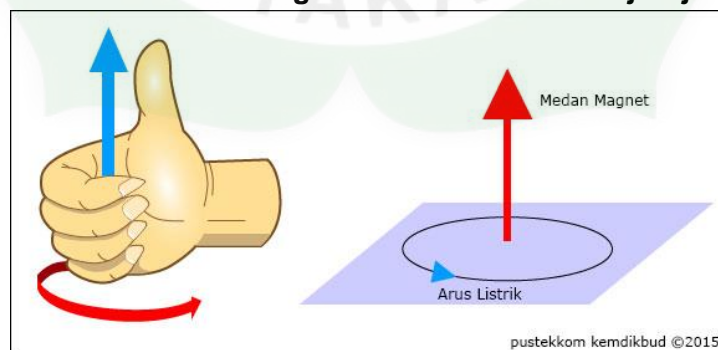
a = jarak titik terhadap arus (m)

μ_0 = permeabilitas ruang hampa = $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$

Setelah memahami konsep medan magnet pada kawat luru, coba Ananda mengerjakan soal berikut:

- 1) Dua buah kawat lurus berarus listrik searah dan sama besar 3 A terpisah pada jarak 0,5 m. Tentukan besar dan arah kuat medan magnet di titik P yang berjarak 0,1 m dari kawat pertama.

2. Medan Magnetik di Sekitar Kawat Melingkar Berarus Listrik Berjari-jari a



Gambar 3. Aturan tangan kanan untuk arah arus listrik dan medan magnet pada kawat melingkar.

<https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Medan-Magnetik-2015/konten6.html>

Besar kuat medan magnet di pusat kawat melingkar dirumuskan dengan:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

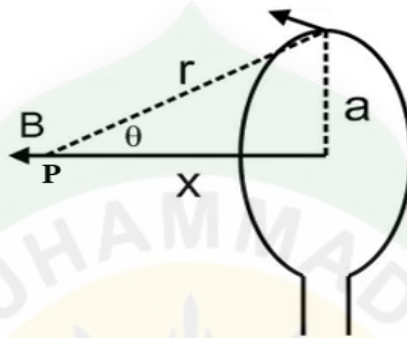
Kuat medan magnet di luar kawat melingkar dirumuskan dengan:

$$B_p = \frac{\mu_0 I a \sin \theta}{2r^2}$$

Keterangan:

θ = sudut antara sumbu kawat dan garis hubung P ke titik pada lingkaran kawat ($^\circ$)

r = jarak P ke lingkaran kawat (m)

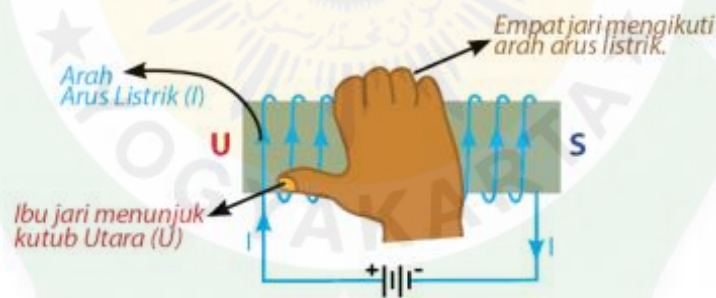


Gambar 4. Medan magnet di luar kawat melingkar.

<https://rumushitung.com/2015/01/24/medan-elektromagnet/>

3. Medan Magnetik pada Solenoida dengan Panjang l dan Jumlah Lilitan N .

Solenoida adalah kumparan kawat berbentuk tabung panjang dengan lilitan yang sangat rapat.



Gambar 5. Aturan tangan kanan untuk arah arus listrik dan medan magnet pada kawat solenoida.

<https://idschool.net/smp/kaidah-tangan-kanan/>

a. Besar medan magnet di ujung solenoida

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2l}$$

b. Besar medan magnet di tengah-tengah solenoida

$$B = \frac{\mu_0 IN}{l}$$

4. Medan Magnet di dalam Toroida dengan Jari-jari a

Toroida adalah solenoida yang dilengkungkan sehingga sumbunya berbentuk lingkaran. Besar medan magnet pada toroida dirumuskan dengan:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2\pi a}$$

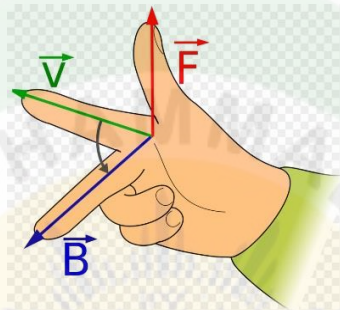
Nah, coba Ananda kerjakan soal berikut:

- 2) Besar medan magnetik di sumbu toroida yang dialiri arus 0,9 A dan jari-jari 30 cm adalah $21 \times 10^{-6} \text{ Wb/m}^2$. Hitunglah jumlah lilitan toroida tersebut.

B. Gaya Lorentz

Muatan yang bergerak di dalam medan magnet akan mengalami gaya yang biasa disebut gaya Lorentz. Gaya Lorentz merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai dan arah.

1. Gaya Magnet/Gaya Lorentz pada Muatan yang Bergerak



Gambar 6. Aturan tangan kanan untuk menentukan arah Gaya Lorentz pada muatan yang bergerak.

<https://www.pngdownload.id/png-jybv13/>

Besar gaya Lorentz pada muatan yang bergerak dirumuskan dengan:

$$F = Bqv \sin \theta$$

Keterangan:

F = gaya magnet atau gaya Lorentz (N)

q = muatan (C)

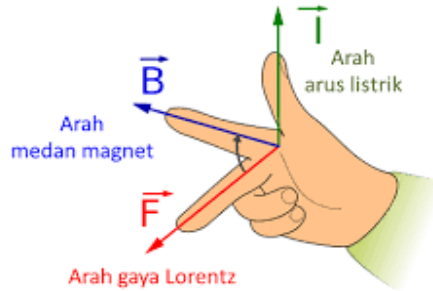
v = kecepatan gerak muatan (m/s)

θ = sudut antara v dan B ($^\circ$)

Coba kerjakan soal berikut:

- 3) Dalam pengaruh besar medan magnet $2,5 \times 10^{-3} \text{ T}$, sebuah partikel bergerak dengan besar kecepatan $3 \times 10^6 \text{ m/s}$ dan membentuk sudut 30° terhadap arah medan magnet. Jika muatan partikel $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, tentukan besar gaya magnet yang dialami partikel tersebut!

2. Gaya Magnet pada Penghantar Berarus Listrik



Gambar 7. Aturan tangan kanan untuk menentukan arah gaya Lorentz pada penghantar berarus listrik.

<https://wirahadie.com/penjelasan-dan-cara-menghitung-rumus-gaya-lorentz/>

Besar gaya Lorentz pada muatan penghantar berarus listrik dirumuskan dengan:

$$F = BIl \sin \theta$$

Keterangan:

l = panjang kawat (m)

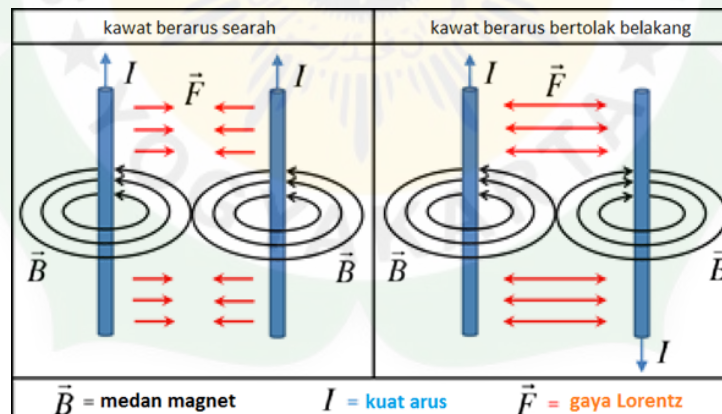
θ = sudut yang terbentuk dari perpotongan garis gaya (B) dengan kawat

Mari kerjakan soal berikut sebagai latihan.

- 4) Dalam suatu medan magnet homogen sebesar $2,4 \times 10^{-2}$ T diletakkan sebuah kawat sepanjang 1 m yang dialiri arus sebesar 2 A. Sudut yang dibentuk antara arah arus dan arah medan magnet adalah 30° . Tentukan besar gaya Lorentz yang timbul pada kawat!

3. Gaya Magnet pada Kawat Sejajar Berarus Listrik

Dua kawat berarus diletakkan sejajar dan berdekatan. Bagaimana besar dan arah gaya yang dialami kedua kawat itu. Perhatikan Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Arah gaya Lorentz pada dua kawat lurus sejajar.

<https://www.studiobelajar.com/gaya-lorentz/>

Dapat disimpulkan jika dua kawat sejajar yang terpisah sejauh a , dialiri arus I_1 dan I_2 dengan arah arus yang sama maka kedua kawat akan tarik menarik dengan gaya persatuan panjang yang sama besar yaitu:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

Keterangan:

F/l = gaya magnet per satuan panjang kawat (N/m)

I_1, I_2 = kuat arus (A)

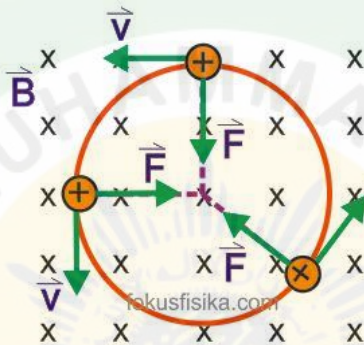
a = jarak kedua kawat (m)

Ayo mari kita lebih memahami konsep gaya Lorentz dengan mengerjakan soal berikut:

- 5) Dua buah kawat panjang diletakkan sejajar pada jarak 20 cm. Kedua kawat tersebut dialiri arus yang searah masing-masing 1,5 A dan 2 A ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb (Am)}^{-1}$).
- Gambarlah arah gaya Lorentz kedua kawat tersebut.
 - Tentukan besar gaya Lorentz per satuan panjang kawat yang bekerja pada kawat tersebut.

4. Gerak Muatan Titik dalam Medan Magnetik

Untuk partikel yang bergerak tegak lurus garis medan magnetik dapat ditentukan bahwa gaya Lorentz yang terjadi selalu tegak lurus terhadap kecepatan. Dengan demikian, gaya Lorentz hanya mengubah arah kecepatan partikel, tidak mengubah kelajuannya. Gaya Lorentz berfungsi sebagai gaya sentripetal sehingga fenomena gerak yang berhubungan dengan gaya Lorentz ini adalah gerak melingkar beraturan.



Gambar 9. Gerak muatan titik dalam medan magnetik.

<https://fokusfisika.com/lintasan-partikel-yang-bergerak-tegak-lurus-garis-medan-magnetik/>

Jari-jari lintasan gerak muatan dirumuskan sebagai berikut:

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

Keterangan:

r = jari-jari lingkaran (m)

m = massa partikel (kg)

Terakhir, mari kerjakan soal berikut:

- 6) Sebuah proton bermuatan $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ dan bermassa $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ bergerak dalam lintasan lingkaran dengan jari-jari 14 cm dalam sebuah medan magnet 0,35 T yang tegak lurus dengan kecepatan proton. Tentukan laju linier proton!

Alam semesta memiliki magnet dan sifat kemagnetannya dengan berbagai cara. Medan magnet tersebut mempengaruhi gerakan-gerakan seluruh makhluk termasuk di bumi, termasuk juga manusia. Manusia dan makhluk hidup lainnya memiliki medan magnetnya masing-masing yang beragam intensitasnya – otak manusia memproduksi medan magnet yang sangat kuat – dan kedua medan magnet tersebut saling berpengaruh satu sama lain. Oleh karena itu, kita senantiasa berusaha untuk selalu berbuat baik karena akan berpengaruh baik pula untuk makhluk lainnya.

“Dan Kami menjadikan langit itu sebagai atap yang terpelihara, sedang mereka berpaling dari segala tanda-tanda (kekuasaan Allah) yang ada padanya,”(Al-Anbiya: 32).

Firman Allah SWT di atas selaras dengan penelitian modern yang telah menemukan bahwa langit yang terdiri dari tujuh lapis udara adalah pelindung Bumi dan seisinya.

Dalam ilmu sains telah diketahui bahwa medan magnet bumi menangkal partikel bermuatan dari matahari yang membahayakan kehidupan manusia. Selain itu terdapat atmosfer yang berfungsi untuk melingkupi Bumi dari meteor atau pun benda langit lainnya jatuh ke permukaan. Atmosfer juga menyaring cahaya atau radiasi sinar matahari yang berbahaya agar tidak masuk ke Bumi namun tetap memungkinkan sinar ultraviolet dan gelombang radio yang diperlukan manusia untuk tetap masuk. Inilah bukti bahwa langit sebagai atap yang terpelihara.

UJI KOMPETENSI

1. Sebuah kawat lurus yang panjang berarus listrik 10 A. Sebuah titik berada 4 cm dari kawat. Jika $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Amp.m, maka besar kuat medan magnet dititik tersebut adalah

- A. $0,5 \times 10^{-4}$ Wb/m²
 B. $1,0 \times 10^{-4}$ Wb/m²
 C. $3,14 \times 10^{-4}$ Wb/m²
 D. $4,0 \times 10^{-4}$ Wb/m²
 E. $5,0 \times 10^{-4}$ Wb/m²

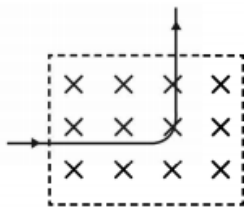
2. Seutas kawat penghantar dibentuk seperti pada gambar. Bagian yang melengkung merupakan seperempat lingkaran. Hitung medan magnet di titik A yang merupakan titik pusat lingkaran. Tentukan arahnya! (UM UGM 2014)

- A. $\frac{\mu_0 i(R-r)}{8\pi Rr}$, keluar dari bidang gambar
 B. $\frac{\mu_0 i(R-r)}{8\pi Rr}$, masuk ke dalam bidang gambar
 C. $\frac{\mu_0 i}{8\pi(R-r)}$, keluar dari bidang gambar
 D. $\frac{\mu_0 i}{8\pi(R-r)}$, masuk ke dalam bidang gambar
 E. nol

3. Sebuah kawat dibentuk menjadi 2/3 lingkaran dengan jari-jari 5 cm. Jika kawat dialiri arus 30 A, maka besar induksi magnet di titik P yang berada di pusat lingkaran adalah....

- A. $8\pi \times 10^{-2}$ T
 B. $8\pi \times 10^{-3}$ T
 C. $8\pi \times 10^{-4}$ T
 D. $8\pi \times 10^{-5}$ T
 E. $8\pi \times 10^{-6}$ T

4. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah proton bergerak dengan kecepatan 1,2 km/s memasuki medan

magnet dengan arah tegak lurus terhadap medan magnet. Proton keluar medan magnet dengan arah tegak lurus terhadap arah datangnya. Proton bergerak sejauh 3,14 cm selama di medan magnet. Besar medan magnet tersebut adalah.... ($m_p = 1,6 \times 10^{-27}$ kg, $q_p = 1,6 \times 10^{-19}$ C) (SIMAH UI 2011)

- A. 6×10^{-4} T
 B. 6×10^{-3} T
 C. 6×10^{-2} T
 D. 3×10^{-3} T
 E. 3×10^{-2} T

5. Sebuah solenoid panjangnya 50 cm terdiri atas 1.500 lilitan. Jika solenoid tersebut dialiri arus sebesar 15 A, maka besar induksi magnet di pusat solenoid adalah....

- A. $1,8\pi \times 10^{-2}$ T
 B. $2,4\pi \times 10^{-2}$ T
 C. $1,8\pi \times 10^{-3}$ T
 D. $2,4\pi \times 10^{-3}$ T
 E. $3,2\pi \times 10^{-3}$ T

6. Sebuah eletron bergerak ke arah sumbu X positif memasuki daerah yang memiliki medan listrik E ke arah sumbu Z positif. Agar eletron tadi tetap bergerak lurus dan tidak dibelokkan, maka di daerah tadi ditambahkan dengan medan magnet tertentu berarah pada.... (UM UGM 2013)

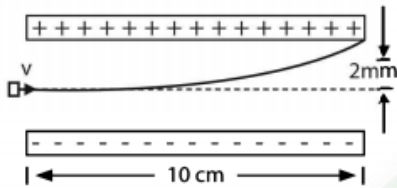
- A. Sumbu Z positif
 B. Sumbu Z negatif
 C. Sumbu X positif
 D. Sumbu X negatif
 E. Sumbu Y negatif

7. Dua buah kawat sejajar satu sama lain berjarak 10 cm. Pada kedua kawat mengalir arus yang sama besar. Bila diantara kedua kawat timbul gaya tolak-menolak sebesar 2×10^{-4} N, maka besar kuat arus pada masing-masing kawat adalah

- A. 10 A
 B. 15 A

- C. 20 A
- D. 25 A
- E. 30 A

8. Berkas electron berkecepatan $v = 10^6$ m/s memasuki celah antara dua plat kapasitor sehingga berkas menyimpang sejauh 2 mm ketika keluar dari pelat kapasitor. Besar kuat medan magnet dan arah yang harus diberikan adalah.... (SBMPTN 2014)



- A. $9,12 \times 10^{-4}$ T, ke kanan
- B. $4,56 \times 10^{-4}$ T, ke bawah
- C. $4,56 \times 10^{-4}$ T, ke atas
- D. $2,28 \times 10^{-4}$ T, ke luar bidang
- E. $2,28 \times 10^{-4}$ T, menembus ke dalam bidang

9. Partikel bermuatan q bergerak dengan kelajuan tetap memasuki medan magnetik dan medan listrik secara tegak lurus (medan listrik tegak lurus medan magnetik). Apabila besar induksi magnetik 0,2 T dan kuat medan listrik 6×10^4 V/m, maka kelajuan gerak partikel adalah....
- A. 2×10^5 m/s
 - B. 3×10^5 m/s
 - C. $1,2 \times 10^6$ m/s
 - D. 2×10^6 m/s
 - E. $3,2 \times 10^6$ m/s

10. Sebuah partikel bermassa m dan bermuatan q bergerak dengan kecepatan v memasuki suatu daerah medan magnetik homogen B sehingga membentuk lintasan lingkaran berdiameter d . Jika medan magnet diperbesar tiga kali dari semula, diameter yang dibentuk adalah.... (SNMPTN 2012)
- A. $3d$
 - B. $2d$
 - C. d
 - D. $d/2$

E. $d/3$

11. Dua kawat lurus yang panjangnya 2 m berjarak 1 m satu sama lain. Kedua kawat dialiri arus yang sama besar dan arahnya berlawanan. Jika besar gaya yang timbul pada kawat $1,5 \times 10^{-7}$ N/m, maka kuat arus yang mengalir pada kedua kawat tersebut adalah....

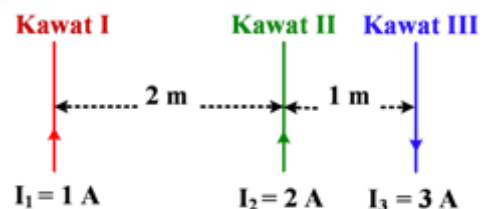
- A. 0,31 A
- B. 0,41 A
- C. 0,51 A
- D. 0,61 A
- E. 0,71 A

12. Dua kawat persegi Panjang ditempatkan seperti pada gambar. Apabila arus listrik I pada kawat luar mengalir berlawanan dengan arah jarum jam dan berkurang, maka arus listrik induksi pada kawat dalam akan.... (SBMPTN 2017)



- F. Mengalir searah jarum jam dan mengecil
- G. Mengalir searah jarum jam dan membesar
- H. Mengalir berlawanan arah jarum jam dan membesar
- I. Mengalir berlawanan arah jarum jam dan mengecil
- J. Mengalir berlawanan arah jarum jam dan konstan

13. Tiga buah kawat tersusun seperti gambar!

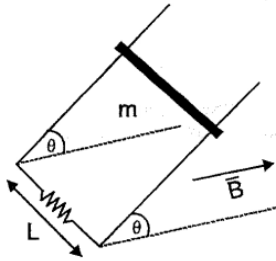


Besar dan arah gaya magnetik pada kawat II untuk panjang kawat 1 meter adalah....

- A. $1,4 \times 10^{-6}$ N ke kiri
- B. $1,4 \times 10^{-6}$ N ke kanan
- C. $1,4 \times 10^{-7}$ N ke kiri

- D. $1,4 \times 10^{-7}$ N ke kanan
- E. $1,4 \times 10^{-8}$ N ke kiri

14. Perhatikan gambar berikut!



Dua buah kawat inductor yang sejajar dan berjarak $L = 1$ m dipasang membentuk sudut $\theta = 30^\circ$ terhadap bidang horizontal. Ujung bawah kedua kawat terhubung dengan sebuah resistor $R = 3 \Omega$. Sebuah batang konduktor dengan massa m bergeser turun di sepanjang rel, tanpa kehilangan kontak dengan rel sehingga rel dan batang membentuk suatu rangkaian tertutup. Pada daerah tersebut terdapat medan magnetik seragam yang besarnya $B = 2$ T dan berarah horizontal. Jika batang turun dengan laju konstan $v = 3$ m/s, massa batang m adalah....

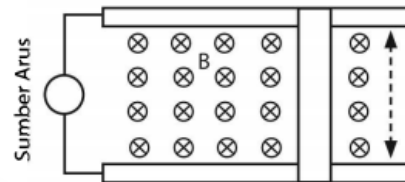
- A. 0,2 kg
- B. 0,4 kg
- C. 0,6 kg
- D. 0,8 kg
- E. 1,0 kg

15. Dua buah muatan masing-masing $q_1 = 2q$ dan $q_2 = q$ dengan massa masing-masing $m_1 = m$ dan $m_2 = 2m$ bergerak dengan kelajuan yang sama memasuki suatu medan magnet homogen B . Perbandingan jari-jari lintasan yang dibentuk muatan q dan $2q$ adalah....

- A. 1 : 1
- B. 1 : 2
- C. 2 : 1
- D. 1 : 4
- E. 4 : 1

16. Sebuah batang logam bermassa $m = 1$ kg dan Panjang $L = 1$ m diletakkan pada suatu rel logam yang terhubung dengan sumber arus konstan sehingga pada rangkaian mengalir arus listrik sebesar $I =$

0,5 A. Rangkaian tersebut berada pada daerah bermedan magnet seragam dengan besar B dan berarah seperti pada gambar. Jika koefisien gesekan statis antara batang dengan rel adalah $\mu_s = 0,25$ dan percepatan gravitasi adalah $g = 10$ m/s², maka nilai B maksimum agar batang tetap diam adalah.... (SBMPTN 2016)

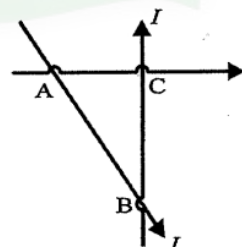


- A. 1 T
- B. 2 T
- C. 3 T
- D. 4 T
- E. 5 T

17. Seutas kawat lurus yang terletak di equator diarahkan sejajar dengan bumi sepanjang arah timur-barat. Induksi magnet di titik itu horisontal dan besarnya 6×10^{-5} T. Jika massa per satuan panjang kawat 6×10^{-3} kg/m dan $g = 10$ m/s², supaya besar gaya yang dialaminya seimbang dengan berat kawat maka arus yang mengalir di dalam kawat adalah...

- A. 200 A
- B. 400 A
- C. 600 A
- D. 800 A
- E. 1000 A

18. Perhatikan gambar berikut!



Tiga kawat cukup Panjang dibentuk seperti pada gambar. Dua kawat dialiri arus I dan satu kawat dialiri arus i . Panjang bagian kawat AB adalah L dan Panjang bagian kawat AC adalah $L/2$. Jika bagian belokan kecil di A, B, dan C

diabaikan, maka besar medan magnetic di titik C adalah....

- A. Nol
- B. $\frac{2\mu_0 I}{\sqrt{3}\pi L}$
- C. $\frac{2\mu_0 i}{\sqrt{3}\pi L}$
- D. $\frac{\mu_0 I}{\sqrt{3}\pi L}$
- E. $\frac{\mu_0 i}{\sqrt{3}\pi L}$

19. Sebuah proton dan sebuah deuteron sama-sama dipercepat melalui beda potensial yang sama dan memasuki medan magnetic melalui garis yang sama. Bila proton bergerak melingkar dengan jari-jari r , maka jari-jari deuteron adalah....

- A. $\frac{1}{2}r\sqrt{2}$
- B. $r\sqrt{2}$
- C. R
- D. $2r$
- E. $2r\sqrt{2}$

20. Satu ampere adalah....

- A. Arus yang menimbulkan gaya Lorentz sebesar 2×10^{-7} N pada dua kawat yang berarus listrik.
- B. Arus kawat yang menimbulkan gaya Lorentz sebesar 2×10^{-7} N pada dua kawat yang berarus listrik.
- C. Arus yang mengalir pada dua kawat sejajar dan jaraknya 1 m sehingga menimbulkan gaya Lorentz sebesar 2×10^{-7} N.
- D. Arus mengalir pada dua kawat sejajar dan jaraknya 1 cm sehingga menimbulkan gaya Lorentz sebesar 2×10^{-7} N.
- E. Arus yang mengalir pada dua kawat sejajar dan jaraknya 1 m sehingga menimbulkan gaya Lorentz sebesar 1 N.



BAB 4. INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.4 Menganalisis fenomena induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari	3.4.1 Menganalisis GGL induksi berdasarkan hukum Faraday dan hukum Lenz. 3.4.2 Menganalisis permasalahan tentang induktansi diri. 3.4.3 Menganalisis penerapan induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.
4.4 Melakukan percobaan tentang induksi elektromagnetik berikut presentasi hasilnya dalam kehidupan sehari-hari	4.4.1 Melakukan percobaan tentang induksi elektromagnetik (Faraday). 4.4.2 Melakukan percobaan hukum Lenz. 4.4.3 Menyajikan data hasil percobaan Faraday dan hukum Lenz. 4.4.4 Mempresentasikan hasil analisis percobaan Faraday dan hukum Lenz.

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan dan mempresentasikan hasil diskusi untuk menganalisis Induksi Elektromagnetik, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

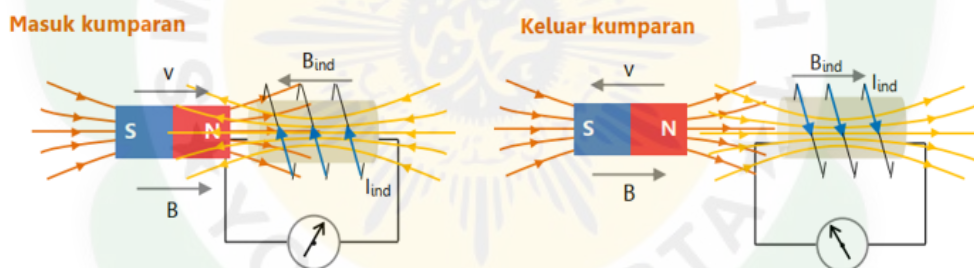
INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Di zaman yang serba teknologi ini, sulit rasanya membayangkan kita hidup tanpa listrik. Mulai dari kulkas, televisi, kipas angin, AC, bahkan *smartphone* yang kita gunakan sehari-hari membutuhkan daya dari listrik. Kita memperoleh listrik dari banyak sumber, seperti batu bara dan tenaga air. Energi tersebut diubah menjadi listrik menggunakan generator yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik.

Induksi elektromagnetik adalah fenomena timbulnya arus listrik karena adanya perubahan fluks magnetik. Fluks magnetik merupakan banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang.

A. Gaya Gerak Listrik Induksi

- Istilah GGL Induksi sering kita dengar dalam metode Induksi Elektromagnetik dengan menggerakkan batang magnet dalam kumparan. Ketika kutub utara batang magnet digerakkan masuk ke dalam kumparan, maka jumlah garis-garis gaya magnet yang terdapat pada kumparan akan bertambah banyak. Bertambahnya jumlah garis gaya pada ujung-ujung kumparan inilah yang dinamakan Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi.
- Hukum Lenz menjelaskan arus induksi, menyatakan bahwa arus induksi yang timbul dalam kumparan menghasilkan medan magnet yang berlawanan arah dengan medan magnet yang menghasilkan arus induksi tersebut.
- Percobaan Faraday menjelaskan bahwa menggerakkan magnet keluar-masuk kumparan menyebabkan penyimpangan pada jarum galvanometer. Hukum Faraday menjelaskan GGL induksi berhubungan dengan laju perubahan fluks magnet. Besar GGL induksi yang timbul dalam suatu rangkaian sama dengan laju perubahan fluks magnet yang terjadi pada rangkaian tersebut.



Gambar 1. Percobaan Faraday menunjukkan penyimpangan pada jarum galvanometer.

<http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>

Untuk melihat simulasi tentang percobaan Faraday bisa dibuka pada link berikut:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/faradays-law>

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/faraday>

- Besar GGL induksi bergantung pada jumlah lilitan pada kumparan. Dengan demikian, besar GGL induksi yang dihasilkan adalah:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Keterangan:

ε = GGL induksi (volt)

$\Delta\Phi$ = perubahan fluks (Wb)

Δt = selang waktu (s)

N = jumlah lilitan

Tanda negatif pada persamaan diatas menunjukkan arah GGL induksi, sesuai dengan *Hukum Lenz*.

- GGL induksi dipengaruhi oleh perubahan laju fluks magnet, oleh karena itu, GGL induksi juga dipengaruhi oleh perubahan luas bidang kumparan.

$$\varepsilon = -NB \cos \theta \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

- GGL induksi juga dipengaruhi oleh perubahan induksi magnet (medan magnet).

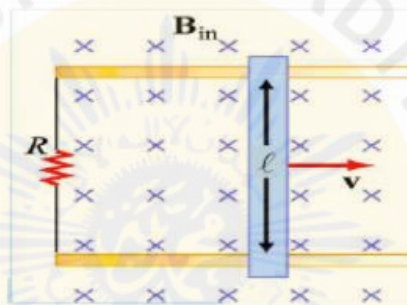
$$\varepsilon = -NA \cos \theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

- GGL induksi juga dipengaruhi oleh perubahan orientasi sudut kumparan terhadap medan magnet.

$$\varepsilon = -NBA \frac{\cos \theta_2 - \cos \theta_1}{\Delta t}$$

- GGL induksi dipengaruhi oleh kawat yang bergerak dalam medan magnet (mengakibatkan perubahan luas bidang kumparan).

a. Pada kawat bergerak lurus



Gambar 2. Kawat yang bergerak dalam medan magnet.

<http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>

GGL induksi dirumuskan:

$$\varepsilon = Blv \sin \theta$$

Perhatikan gambar 2, dengan adanya hambatan R, maka berlaku Hukum Ohm, yaitu:

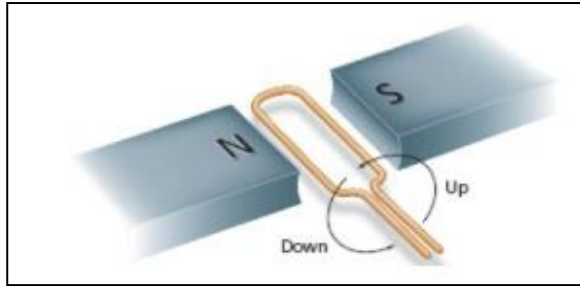
$$I = \frac{V}{R}$$

dimana $V = \varepsilon$ (GGL induksi), sehingga pada arus induksi berlaku persamaan:

$$I = \frac{Blv \sin \theta}{R}$$

Arah arus I ditentukan dengan ukuran gaya Lorentz mengalir dari B ke A, dengan arah kecepatan gerak ke kanan, maka arah gaya Lorentz ke kiri, sesuai dengan Hukum Lenz.

b. Pada Kawat berputar



Gambar 3. Kumparan yang berputar dalam medan magnet.
<http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>

GGL induksi dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} B \omega l^2$$

Arus induksi dirumuskan:

$$I_{\text{ind}} = \frac{1}{2} \frac{B \omega l^2}{R}$$

Keterangan:

A = luas bidang kumparan (m^2)

B = medan magnet (Wb/m^2)

Δt = perubahan waktu (s)

l = panjang kawat (m)

v = kecepatan gerak kawat (m/s)

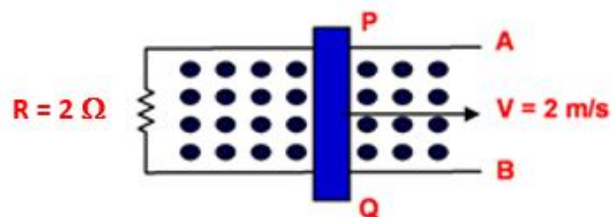
θ = sudut yang terbentuk antara arah arus I dengan arah medan magnet B

R = hambatan (Ω)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

Setelah memahami konsep GGL induksi, coba Ananda kerjakan soal berikut:

- 1) Pada suatu kumparan yang terdiri dari 300 lilitan terjadi perubahan fluks magnetik dari 0,5 Wb menjadi 0,2 Wb dalam waktu 5 sekon. Tentukan besar GGL induksi yang terjadi!
- 2) Fluks magnetik yang menembus melalui bidang berubah terhadap waktu menurut persamaan $\Phi = (4t^2 + 5t + 2)$ Weber. Tentukanlah GGL induksi saat $t = 4$ sekon jika kumparan mempunyai 100 lilitan!
- 3) Kawat PQ panjang 50 cm digerakkan tegak lurus sepanjang kawat AB memotong medan magnetik serba sama 0,02 Tesla seperti pada gambar.



Tentukan :

- a. besar GGL induksi
- b. besar dan arah arus yang mengalir pada kawat PQ
- c. besar dan arah gaya Lorentz pada PQ

B. Induktor

- Induktor adalah alat penghasil medan magnet yang dapat digunakan untuk menghasilkan GGL induksi. Induktor biasanya merupakan kawat penghantar, kawat melingkar, solenoida, atau toroida.
- Hukum Henry menjelaskan tentang GGL induksi terhadap arus listrik, yaitu: “besar GGL induksi yang timbul sebanding dengan laju perubahan arus terhadap waktu”. GGL induksi induktor (GGL induktansi diri) menurut hukum Henry dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{dI}{dt}$$

Keterangan:

L = induktansi diri (Henry atau V.s/A)

ΔI = perubahan kuat arus listrik (A)

Δt = perubahan waktu (s)

- Induktansi diri (L) adalah kemampuan suatu induktor dalam menghasilkan GGL induktansi diri dari laju perubahan arus listrik yang terjadi.

Induktansi diri pada kumparan dirumuskan:

$$L = \frac{N\phi}{I}$$

Induktansi diri pada solenoida dan toroida berisi udara/vakum dirumuskan:

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

Induktansi diri pada solenoida dan toroida berisi bahan dirumuskan:

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

Keterangan:

μ_0 = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

l = panjang solenoida (m) = keliling toroida, $2\pi r$ (m)

- Energi induktor yang tersimpan di dalamnya yang berupa medan magnet dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{1}{2} LI^2$$

Setelah memahami induktansi diri pada induktor, coba kerjakan soal berikut:

- 4) Suatu kumparan memiliki jumlah lilitan sebanyak 125 lilitan. Jika arus listrik yang mengalir pada kumparan tersebut sebesar 5 A dan fluks magnet yang terbentuk sebesar 6 Wb, tentukan besar induktansi diri kumparan tersebut!

C. Penerapan Induksi Elektromagnetik

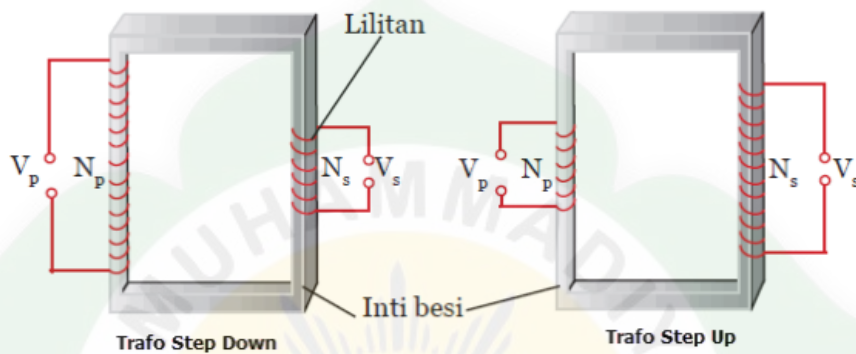
a. Generator (dinamo)

Generator (dinamo) adalah alat yang dapat menimbulkan GGL induksi atau arus listrik induksi berdasarkan pada konsep perubahan medan magnetik yang dapat menimbulkan GGL induksi. Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. GGL induksi yang dihasilkan generator adalah:

$$\varepsilon = NBA\omega \sin \omega t$$

b. Transformator (trafo)

Transformator atau kadang disebut trafo adalah alat untuk mengubah besarnya tegangan listrik bolak-balik. Transformator bekerja berdasarkan perubahan induksi magnetik pada sebuah kumparan yang diinduksikan pada kumparan lain. Transformator dapat difungsikan jika tegangan masukan (*input*) merupakan tegangan bolak-balik.



Gambar 4. Komponen pada trafo.

<https://www.mikirbae.com/2016/01/penerapan-induksi-elektromagnetik.html>

- Tegangan pada Transformator

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

Keterangan:

V_p dan V_s = tegangan primer/input dan tegangan sekunder/output (V)

N_p dan N_s = jumlah lilitan primer/input dan jumlah lilitan sekunder/output (V)

I_p dan I_s = arus primer/input dan arus sekunder/output (A)

- Efisiensi Trafo

Efisiensi atau daya guna trafo adalah presentase keidealan suatu trafo dalam menaikkan tegangan, yaitu berdasarkan jumlah daya yang tidak hilang.

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\% = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100\%$$

Keterangan:

η = efisiensi trafo (%)

P_p dan P_s = daya primer/input dan daya sekunder/output (W)

- Jenis-jenis trafo

Trafo step-up	Trafo step-down
Penaik tegangan	Penurun tegangan
$V_s > V_p$	$V_s < V_p$
$N_s > N_p$	$N_s < N_p$
$I_s < I_p$	$I_s > I_p$

Untuk lebih memahami penerapan induksi elektromagnetik dalam penggunaan sehari-hari, coba kerjakan soal berikut ini.

- 5) Suatu generator AC sederhana memiliki luas kumparan sebesar 1.000 cm^2 yang terdiri atas 100 lilitan diletakkan dalam suatu medan magnet dengan induksi magnet sebesar $1,2 \text{ Wb/m}^2$ kemudian kumparan tersebut di putar. Waktu yang dibutuhkan kumparan untuk berputar dalam satu periode adalah 1 s. Selama kumparan berputar terjadi perubahan orientasi bidang terhadap medan magnet. Tentukan besar GGL saat $t = 5 \text{ s}$!
- 6) Sebuah trafo mempunyai tegangan primer dan sekunder masing-masing 220 V dan 55 V. Jika kuat arus yang mengalir pada kumparan primer sebesar 0,5 A dan sekunder 1,5 A, berapakah efisiensi trafo?

Salah satu manfaat dari penerapan induksi elektromagnetik yaitu tercantum dalam surah An-Nur ayat 35 dijelaskan bahwa terdapat hal yang menarik yaitu “.... *Yang tumbuh tidak di sebelah timur dan tidak pula di sebelah barat...*”. Apabila kita memperhatikan arah mata angin, jika bukan arah timur dan barat, berarti utara dan selatan. Sedangkan utara dan selatan adalah kutub magnet, magnet (elektromagnetik) berguna sebagai pembangkit induksi listrik untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan kajian ayat tersebut bahwa semua ciptaan Allah adalah kebenaran mutlak yang penuh dengan hikmah dan manfaat.

UJI KOMPETENSI

1. Suatu generator menghasilkan tegangan GGL induksi sebesar \mathcal{E} . Jika generator tersebut kumparannya diubah sehingga jumlah lilitannya menjadi dua kali semula, dan laju fluksnya menjadi tiga kali semula, besar perbandingan GGL sekarang dan GGL mula-mula adalah....
 - A. 1 : 6
 - B. 1 : 3
 - C. 2 : 3
 - D. 3 : 2
 - E. 6 : 1
2. Sebuah kawat tertutup berbentuk persegi dengan luas $0,02 \text{ m}^2$ diletakkan pada bidang datar. Medan magnet seragam diberikan pada bidang tersebut dengan arah menembus ke dalam bidang secara tegak lurus menjauhi pembaca. Medan magnet tersebut diturunkan dengan laju tetap $2 \times 10^{-4} \text{ T/s}$. Jika hambatan kawat $0,1 \Omega$, maka besar dan arah arus induksi yang timbul adalah.... (SNMPTN 2007)
 - A. $1 \times 10^5 \text{ A}$ berlawanan arah jarum jam
 - B. $1 \times 10^5 \text{ A}$ searah jarum jam
 - C. $2 \times 10^5 \text{ A}$ berlawanan arah jarum jam
 - D. $4 \times 10^5 \text{ A}$ searah jarum jam
 - E. $4 \times 10^5 \text{ A}$ berlawanan arah jarum jam
3. Kumparan pertama dengan jumlah lilitan sebesar 200 lilitan mengalami perubahan fluks magnetik sebesar $0,06 \text{ Wb}$ dalam waktu $0,4 \text{ s}$. Kumparan kedua mempunyai jumlah lilitan setengah dari kumparan pertama dan mengalami perubahan fluks magnetik sebesar $0,08 \text{ Wb}$ dalam waktu $0,2 \text{ s}$. Perbandingan GGL induksi kumparan pertama dan kedua adalah....
 - A. 2 : 3
 - B. 3 : 1
 - C. 3 : 4
 - D. 3 : 5
 - E. 3 : 8
4. Sebuah kumparan mempunyai induksi 700 mH . Besar GGL induksi yang dibangkitkan dalam kumparan itu jika ada perubahan arus listrik dari 200 mA menjadi 80 mA dalam waktu $0,02 \text{ sekon}$ secara beraturan adalah.... (SNMPTN 2011)
 - A. $8,4 \text{ V}$
 - B. $4,2 \text{ V}$
 - C. $2,8 \text{ V}$
 - D. $1,4 \text{ V}$
 - E. $0,7 \text{ V}$
5. Perhatikan pernyataan di bawah ini!
 - (1) banyaknya lilitan
 - (2) kuat arus yang melalui kumparan
 - (3) luas bidang kumparan
 - (4) hambatan kumparanFaktor-faktor yang memengaruhi besarnya GGL induksi generator adalah
 - A. (1), (2), (3), dan (4)
 - B. (1), (2), dan (4)
 - C. (1) dan (3) saja
 - D. (2) dan (4) saja
 - E. (4) saja
6. Kumparan kawat luasnya A terdiri dari N lilitan. Kumparan tersebut berputar dengan kecepatan sudut ω dalam medan magnet homogen yang memiliki rapat fluks magnetnya B sehingga menghasilkan GGL induksi maksimum \mathcal{E} . jika GGL maksimum menjadi 6 kali semula, maka....
 - A. ω diperbesar 2 kali dan A diperbesar 3 kali
 - B. N diperbanyak 3 kali dan kecepatan sudutnya diperbesar 3 kali

- C. N dan kecepatan sudutnya diperbesar 2 kali
 D. A diperkecil $1/3$ kali dan kecepatan sudut diperbesar 4 kali
 E. N dan luas kumparan diperkecil $1/6$ kali
7. Sebuah batang konduktor yang panjangnya 40 cm diputar dengan salah satu ujungnya sebagai sumbu putar di dalam medan magnet 0,3 T dengan frekuensi 4 Hz. GGL induksi yang terjadi pada batang konduktor adalah....
 A. $0,184\pi$ V
 B. $0,284\pi$ V
 C. $0,384\pi$ V
 D. $0,438\pi$ V
 E. $0,538\pi$ V
8. Kumparan generator AC memiliki 100 lilitan dengan penampang lintang luasnya $0,05$ m² dengan hambatan 100 Ω . Rotor diputar dalam medan magnet 2 tesla dengan frekuensi 50 Hz. Arus maksimum yang diinduksikan adalah.... (SBMPTN 2014)
 A. 0,314 A
 B. 3,140 A
 C. 6,280 A
 D. 31,400 A
 E. 62,800 A
9. Sebuah solenoida memiliki 500 lilitan dan panjang 10 cm. Jari-jari penampang solenoida adalah 5 cm. Induktansi solenoida tersebut adalah....
 A. 5 mH
 B. 10 mH
 C. 15 mH
 D. 20 mH
 E. 25 mH
10. Besar kuat arus listrik yang mengalir pada suatu kumparan berubah dari 10 A menjadi 1 A dalam waktu 0,4 s. Jika GGL induksi yang terjadi 45 V, maka induktansi kumparannya sebesar....
 A. 1 H
 B. 2 H
 C. 3 H
 D. 4 H
 E. 5 H
11. Panas yang terbangun pada suatu trafo ketika dihubungkan dengan alat listrik yang mengkonsumsi daya 40 watt adalah 10 joule/sekon. Efisiensi trafo pada keadaan ini adalah....
 A. 90%
 B. 85%
 C. 80%
 D. 75%
 E. 60%
12. Sebuah generator listrik terdiri dari sebuah loop persegi 10 lilitan dengan rusuk 50 cm. Loop kemudian diputar sebanyak 60 putaran/detik. Jika dihasilkan induksi maksimum sebesar 270 V, maka besar induksi magnetik yang diperlukan adalah....
 A. $\frac{0,3}{\pi}$ T
 B. $\frac{0,6}{\pi}$ T
 C. $\frac{0,9}{\pi}$ T
 D. $\frac{1,2}{\pi}$ T
 E. $\frac{1,5}{\pi}$ T
13. Data spesifik dua buah generator tertera pada tabel di bawah ini.
- | Generator | Jumlah Lilitan | Induksi Magnetik |
|-----------|----------------|------------------|
| A | 1.200 | 0,05 T |
| B | 6.000 | 0,03 T |
- Jika generator berputar dengan frekuensi sama, maka perbandingan GL maksimum antara generator A dan B adalah....
 A. 5 : 3
 B. 3 : 5
 C. 3 : 1
 D. 1 : 3
 E. 1 : 5
14. Seorang siswa menginginkan arus listrik 1,6 A. Dia menghubungkan transformator yang efisiensinya 80% dan jumlah lilitannya 100 dan 200 dengan

sumber arus 1 A dari baterai. Ternyata dia tidak mendapatkan arus listrik yang diharapkan. Dia mendapatkan arus listrik sebesar.... (SBMPTN 2015)

- A. 2 A karena menghubungkan lilitan 200 dengan sumber arus
- B. 1,6 A karena menghubungkan lilitan 100 dengan sumber arus
- C. 0,4 A karena menghubungkan lilitan 100 dengan sumber arus
- D. 0 A karena menghubungkan lilitan 200 dengan sumber arus

E. 2 A karena menghubungkan lilitan 100 dengan sumber arus

15. Sebuah trafo memiliki efisiensi 75%. Tegangan input dan outputnya masing-masing 220 V dan 110 V. Jika kuat arus primer yang mengalir 2 A, maka kuat arus sekundernya adalah....

- A. 2 A
- B. 3 A
- C. 4 A
- D. 5 A
- E. 6 A



BAB 5. LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.5 Menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) serta penerapannya	3.5.1 Menentukan tegangan, dan sumber arus bolak-balik. 3.5.2 Menganalisis macam-macam rangkaian listrik arus bolak-balik. 3.5.3 Menghitung frekuensi resonansi rangkaian listrik arus bolak-balik. 3.5.4 Menganalisis daya pada rangkaian listrik arus bolak-balik.
4.5 Mempresentasikan prinsip kerja penerapan rangkaian arus bolak-balik (AC) dalam kehidupan sehari-hari	4.5.1 Menyajikan informasi tentang besaran-besaran pada arus bolak-balik (AC). 4.5.2 Mempresentasikan hasil percobaan tentang rangkaian seri RLC. 4.5.3 Mempresentasikan prinsip kerja pemanfaatan rangkaian RLC untuk <i>tuning</i> frekuensi radio.

Tujuan Pembelajaran

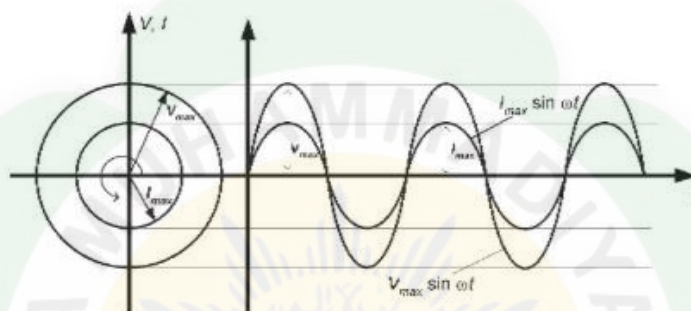
Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan, mendisain, melakukan percobaan, dan mempresentasikan hasil percobaan untuk menganalisis Rangkaian Arus Bolak-balik, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK

Arus bolak-balik adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan arus searah di mana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida. Secara umum, listrik bolak-balik diterapkan pada penyaluran listrik dari sumbernya (misalnya PLN) ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk. Namun ada pula contoh lain seperti sinyal-sinyal radio atau audio yang disalurkan melalui kabel, yang juga merupakan listrik arus bolak-balik.

A. Arus dan Tegangan Bolak-balik

Sumber arus bolak-balik adalah generator arus bolak-balik. Prinsip dasar generator arus bolak-balik adalah sebuah kumparan berputar dengan kecepatan sudut ω yang berada di dalam medan magnet. Generator ini menghasilkan gaya gerak listrik induksi (tegangan) dan arus listrik induksi (tegangan) dan arus listrik induksi yang berbentuk sinusoida.



Gambar 1. Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu pada listrik arus bolak-balik.
<http://fisikazone.com/pengertian-arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/>

Dengan demikian arus dan tegangan bolak-balik bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$I = I_m \sin \omega t$$

$$V = V_m \sin \omega t$$

Keterangan:

I = arus sesaat (A)

V = tegangan sesaat (V)

I_m = arus maksimum (A)

V_m = tegangan maksimum (V)

ω = sudut fase (rad/s) = $2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

f = frekuensi (Hz)

T = periode (s)

Dalam rangkaian arus bolak-balik, baik tegangan maupun kuat arusnya berubah-ubah secara periodik. Oleh sebab itu untuk penggunaan yang praktis diperlukan besaran listrik bolak-balik yang tetap, yaitu harga efektif. Harga efektif arus bolak-balik ialah harga arus bolak-balik yang dapat menghasilkan panas yang sama dalam penghantar yang sama dan dalam waktu yang seperti arus searah.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

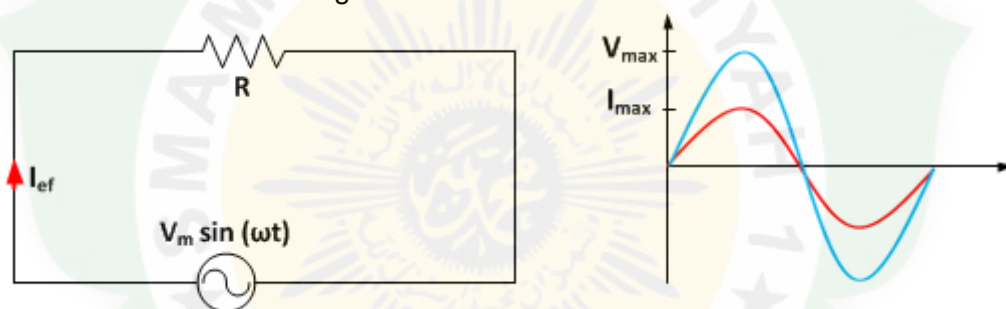
$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Setelah memahami tentang arus dan tegangan pada listrik bolak-balik, coba kerjakan soal berikut:

- 1) Sebuah generator AC menghasilkan tegangan sebagai fungsi waktu sebagai berikut: $V = 200\sqrt{2} \sin(50t)$ volt. Hitunglah:
- Tegangan maksimum
 - Tegangan puncak ke puncak
 - Tegangan efektif
 - Frekuensi sudut
 - Periode
 - Frekuensi
 - Tegangan pada saat $0,01\pi$ s

B. Rangkaian Arus Bolak-balik

- a. Rangkaian Hambatan Murni dengan Arus Bolak-Balik

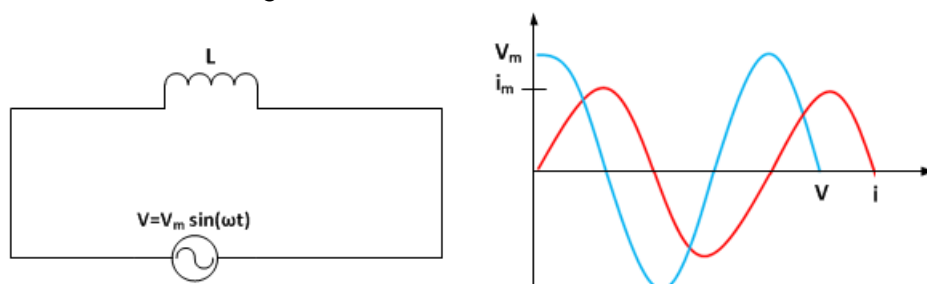


Gambar 2. Rangkaian hambatan murni dan grafik arus dan tegangan terhadap waktu.
<http://www.fisikasekolah.com/2016/11/rangkaian-arus-bolak-balik-ac.html>

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R} \sin \omega t$$

$$I_m = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$

- b. Rangkaian Induktor Murni dengan Arus Bolak-Balik



Gambar 3. Rangkaian induktor murni dan grafik arus dan tegangan terhadap waktu.
<http://www.fisikasekolah.com/2016/11/rangkaian-arus-bolak-balik-ac.html>

Dari grafik dapat dikatakan bahwa arus pada induktor murni tertinggal 90° dari tegangannya. Rumus pada rangkaian induktor murni adalah:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

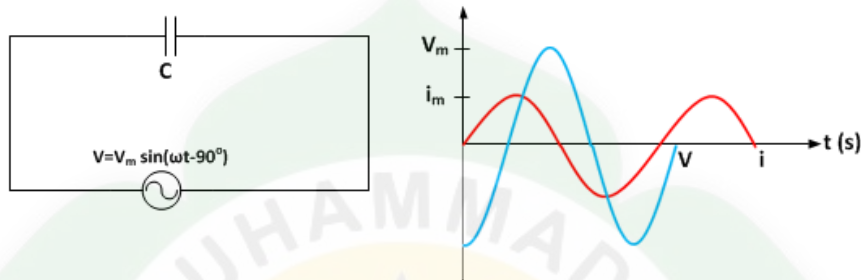
$$I = \frac{V_m}{X_L} \sin(\omega t - 90^\circ) = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Keterangan:

X_L = reaktansi induktif (Ω)

L = induktor (henry = H)

c. Rangkaian Kapasitor Murni dengan Arus Bolak-Balik



Gambar 4. Rangkaian kapasitor murni dan grafik arus dan tegangan terhadap waktu.

<http://www.fisikasekolah.com/2016/11/rangkaian-arus-bolak-balik-ac.html>

Dari grafik dapat dikatakan bahwa arus pada induktor murni mendahului 90° dari tegangannya. Rumus pada rangkaian induktor murni adalah:

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

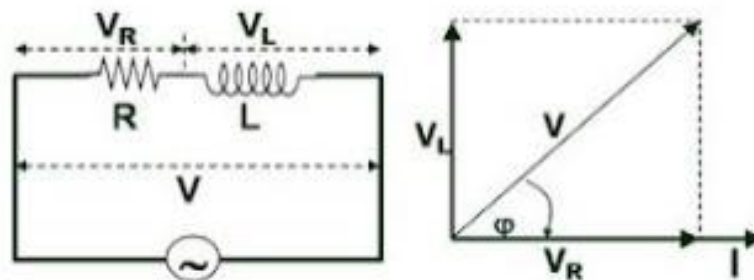
$$I = \frac{V_m}{X_C} \sin(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Keterangan:

X_C = reaktansi kapasitif (Ω)

C = kapasitas kapasitor (farad = F)

d. Rangkaian Seri Hambatan dan Induktor (RL)



Gambar 5. Rangkaian seri RL dan diagram fasornya.

<http://nyarifisika.blogspot.com/2017/10/rangkaian-seri-rl-rc-dan-rlc-pada.html>

Impedansi (Z) adalah ukuran hambatan listrik pada sumber arus bolak-balik (AC). Impedansi listrik juga sering disebutkan sebagai jumlah hambatan listrik sebuah komponen elektronik terhadap aliran arus dalam rangkaian pada frekuensi tertentu. Impedansi pada rangkaian RL seri dirumuskan dengan:

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

Tegangan rangkaian dirumuskan dengan:

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

Arus yang mengalir dalam rangkaian dirumuskan dengan:

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} \quad \text{dan} \quad I_m = \frac{V_m}{Z}$$

Beda fase antara arus dan tegangan dirumuskan dengan:

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R} = \frac{V_L}{V_R}$$

Keterangan:

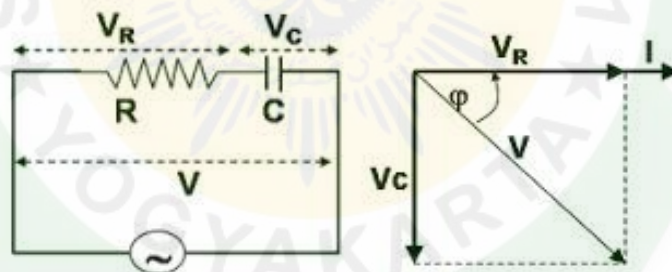
Z = impedansi rangkaian (Ω)

V_R = tegangan pada resistor (V)

V_L = tegangan pada inductor (V)

θ = sudut fase antara arus dan tegangan

e. Rangkaian Seri Hambatan dan Kapasitor (RC)



Gambar 6. Rangkaian seri RC dan diagram fasornya.

<http://nyarifisika.blogspot.com/2017/10/rangkaian-seri-rl-rc-dan-rlc-pada.html>

Impedansi pada rangkaian dirumuskan dengan:

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

Tegangan rangkaian dirumuskan dengan:

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

Arus yang mengalir dalam rangkaian dirumuskan dengan:

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} \quad \text{dan} \quad I_m = \frac{V_m}{Z}$$

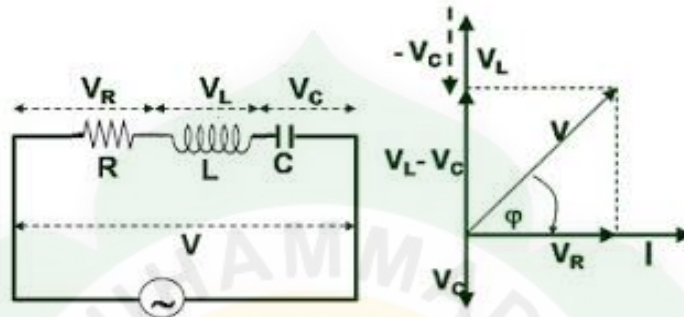
Beda fase antara arus dan tegangan dirumuskan dengan:

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

Keterangan:

V_C = tegangan pada kapasitor (V)

f. Rangkaian Seri Hambatan, Induktor, dan Kapasitor (RLC)



Gambar 7. Rangkaian seri RLC dan diagram fasornya.

<http://nyarifisika.blogspot.com/2017/10/rangkaian-seri-rl-rc-dan-rlc-pada.html>

Impedansi pada rangkaian dirumuskan dengan:

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

Tegangan rangkaian dirumuskan dengan:

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

Besarnya tegangan jepit pada rangkaian seri RLC dapat dicari dengan menggunakan diagram fasor sebagai berikut :

$$V_R = I_m R \sin \omega t = V_m \sin \omega t$$

$$V_L = I_m X_L \sin(\omega t + 90^\circ) = V_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$V_C = I_m X_C \sin(\omega t - 90^\circ) = V_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Arus yang mengalir dalam rangkaian dirumuskan dengan:

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} \quad \text{dan} \quad I_m = \frac{V_m}{Z}$$

Beda fase antara arus dan tegangan dirumuskan dengan:

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

Untuk lebih memahami tentang macam-macam rangkaian listrik arus bolak-balik, mari kerjakan soal berikut:

- 2) Sebuah kapasitor $50 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik. Arus yang mengalir pada rangkaian adalah $I = 4 \sin(100t)$ ampere. Tentukan persamaan tegangan pada kapasitor tersebut!
- 3) Tiga buah komponen R, L dan C dengan nilai masing-masing 300Ω , $0,9 \text{ H}$, dan $2 \mu\text{F}$ dirangkai secara seri dan diberi tegangan efektif AC sebesar 50 V pada frekuensi sudut 1000 rad/s . Tentukan:
 - a. Impedansi rangkaian
 - b. Arus efektif
 - c. Tegangan pada induktor
 - d. Tegangan pada kapasitor

Untuk mencoba rangkaian seri RLC dengan virtual lab, bisa melalui link berikut:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>

C. Sifat Rangkaian Arus Bolak Balik

Pada rangkaian seri RLC, ada beberapa kemungkinan yang terjadi, yaitu:

- a. Jika nilai $X_L > X_C$ maka rangkaian bersifat induktif (bersifat seperti induktor) dimana tegangan mendahului arus dengan besar sudut fase θ yaitu:

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R}$$

- b. Jika nilai $X_L < X_C$ maka rangkaian bersifat kapasitif (bersifat seperti kapasitor) dimana arus mendahului tegangan dengan besar sudut fase θ yaitu:

$$\tan \theta = \frac{X_C - X_L}{R}$$

- c. Jika nilai $X_L = X_C$ maka besar impedansi sama dengan nilai hambatannya ($Z = R$). Hal ini akan menyebabkan resonansi pada rangkaian dengan frekuensi sebesar:

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

Prinsip resonansi ini merupakan dasar pembuatan rangkaian osilator dan rangkaian penala. Rangkaian osilator adalah rangkaian yang dapat menghasilkan getaran listrik dengan frekuensi radio, sedangkan rangkaian penala adalah rangkaian yang berfungsi untuk memilih satu gelombang radio yang diinginkan dari beberapa gelombang radio yang ditangkap oleh antena.

Nah, setelah paham tentang rangkaian resonansi mari kerjakan soal berikut:

- 4) Pada frekuensi berapakah sebuah rangkaian RLC seri yang dihubungkan pada tegangan bolak-balik akan beresonansi jika $R = 80 \Omega$, $L = 1 \text{ H}$, dan $C = 1 \mu\text{F}$?

D. Daya pada Rangkaian Arus Bolak-Balik

Daya pada rangkaian arus bolak-balik terbagi menjadi:

a. Daya Semu

Daya semu atau daya total adalah daya yang tertulis dalam suatu alat listrik sesungguhnya yang dibutuhkan oleh beban. Daya semu dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan beban-beban listrik, dirumuskan dengan:

$$P = I_{ef}^2 Z$$

b. Daya Sesungguhnya/Daya Rata-Rata

Daya nyata adalah daya sebenarnya yang digunakan, dan biasanya nilainya rendah dari daya semu.

$$P = I_{ef}^2 R$$

Daya sesungguhnya memiliki nilai yang lebih kecil dari daya semu. Perbandingan antara daya sesungguhnya dengan daya semu disebut dengan **faktor daya ($\cos \theta$)**.

$$\cos \theta = \frac{\text{daya sesungguhnya}}{\text{daya semu}} = \frac{I_{ef}^2 R}{I_{ef}^2 Z} = \frac{R}{Z}$$

$$P = V_{ef} I_{ef} \cos \theta$$

Terakhir, untuk memahami konsep daya pada rangkaian arus bolak-balik, kerjakanlah soal berikut:

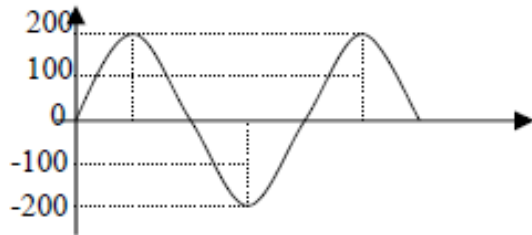
- 5) Sebuah rangkaian RLC seri dengan nilai $R = 30 \Omega$, $L = 0,6 \text{ H}$, dan $C = 500 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik dengan $V = 300 \sin(100t)$ volt. Tentukan:
- Impedansi rangkaian
 - Daya rata-rata yang diserap rangkaian

Energi listrik yang paling murni adalah dari petir. Energi listrik yang ditimbulkan dari sekali sambaran petir adalah sebesar 280 kWh, cukup untuk menghidupkan AC kamar selama 2 minggu. Padahal setiap detik terjadi 100 lompatan petir di muka bumi. Namun yang diperoleh manusia dari petir selama ini masih dalam bentuk musibah kebakaran maupun kerusakan alat-alat elektronik.

Fabi ayyi ala'i rabbikuma tukadziban, "Maka nikmat Tuhanmu mana yang kamu dustakan?"

UJI KOMPETENSI

1. Perhatikan grafik tegangan bolak-balik terhadap waktu di bawah ini.

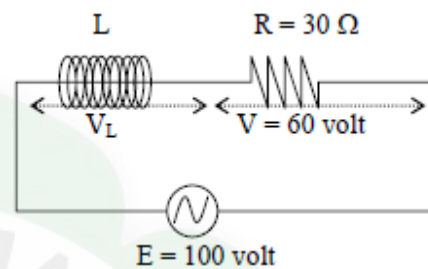


Grafik tersebut menyatakan bahwa....

- A. $V_{\text{maks}} = 200\sqrt{2}$ volt
 B. $V_{\text{maks}} = \frac{200}{\sqrt{2}}$ volt
 C. $V_{\text{ef}} = 100\sqrt{2}$ volt
 D. $V_{\text{ef}} = 100$ volt
 E. $V_{\text{ef}} = \frac{100}{\sqrt{2}}$
2. Suatu rangkaian listrik RLC seri dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik dengan tegangan maksimum 100 V. Bila amplitude tegangan V_R , V_L , dan V_C ketiganya sama besar satu sama lain, maka $V_R = \dots$ (UM UGM 2013)
- A. 33 V
 B. 50 V
 C. 67 V
 D. 87 V
 E. 100 V
3. Suatu sumber tegangan bolak-balik menghasilkan tegangan sesuai dengan fungsi: $V = 140 \cos 120\pi t$ volt. Tegangan efektif dan frekuensi sumber tegangan bolak-balik tersebut adalah....
- A. 198 volt dan 120 Hz
 B. 99 volt dan 120 Hz
 C. 198 volt dan 60 Hz
 D. 99 volt dan 60 Hz
 E. 198 volt dan 120π Hz
4. Sumber arus bolak-balik memiliki amplitude tegangan 200 V dan frekuensi sudut 25 Hz mengalir melalui hambatan $R = 200 \Omega$ dan kapasitor $C = \frac{100}{\pi} \mu\text{F}$ yang disusun seri. Kuat arus yang melalui kapasitor tersebut adalah.... (SBMPTN 2017)

- A. $\frac{1}{4}\sqrt{2}$ A
 B. $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ A
 C. $\sqrt{2}$ A
 D. $2\sqrt{2}$ A
 E. $5\sqrt{2}$ A

5. Suatu rangkaian R-L seri pada sumber arus bolak-balik digambarkan sebagai berikut.



Besar reaktansi induktif adalah....

- A. 40 Ω
 B. 50 Ω
 C. 60 Ω
 D. 80 Ω
 E. 100 Ω
6. Resistor 5 Ω , inductor 50 mH, dan kapasitor 20 μF terhubung secara seri serta dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik yang memiliki nilai efektif sebesar 100 V. Bila dianggap dalam rangkaian mengalir arus listrik maksimum, maka besar frekuensi sudut sumber tegangan yang dilakui adalah.... (UM UGM 2014)
- A. 10^5 rad/s
 B. 10^4 rad/s
 C. 10^3 rad/s
 D. 10^2 rad/s
 E. 10 rad/s
7. Suatu kumparan mempunyai induktansi 0,14 H dirangkai seri dengan resistor 2 ohm dihubungkan dengan tegangan 110 V pada frekuensi $25/\pi$ Hz. Impedansi rangkaian adalah....
- A. 50,5 ohm
 B. 45,2 ohm
 C. 20,1 ohm
 D. 10,5 ohm
 E. 7,3 ohm

8. Pada frekuensi 10 Hz reaktansi sebuah kapasitor dan sebuah induktor masing-masing 400Ω dan 100Ω . Jika kapasitor dan induktor dipasang seri pada rangkaian AC maka akan terjadi resonansi pada frekuensi....
- 40 Hz
 - 100 Hz
 - 200 Hz
 - 400 Hz
 - 1000 Hz
9. Rangkaian seri hambatan ($R = 60 \Omega$) dan induktor dialiri arus bolak-balik dengan kuat arus 2 A. Apabila beda fase antara tegangan dan arus pada rangkaian tersebut θ ($\tan \theta = 3/4$), maka tegangan induktor adalah....
- 72 V
 - 120 V
 - 200 V
 - 90 V
 - 160 V
10. Sebuah hambatan dan kumparan dihubungkan seri pada sumber tegangan bolak-balik 100 volt. Tegangan antara kedua ujung kumparan V volt dan antara kedua ujung hambatan $\frac{3}{4}$ volt. Nilai V adalah....
- 25 V
 - 57,1 V
 - 75 V
 - 80 V
 - 175 V
11. Rangkaian RLC seri dengan $R = 40 \text{ ohm}$; $X_C = 20 \text{ ohm}$ dan $X_L = 50 \text{ ohm}$ dihubungkan dengan tegangan bolak-balik 100 V, maka besar arus listrik adalah
- 0,2 A
 - 2 A
 - 2,5 A
 - 20 A
 - 25 A
12. Suatu rangkaian seri RC dengan $R = 50$ dan $C = 4 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik berfrekuensi 125 rad/s. Besar induktansi suatu induktor yang harus dipasang seri pada rangkaian agar terjadi resonansi adalah....
- 16 H
 - 10 H
 - 8 H
 - 6 H
 - 4 H
13. Suatu sumber tegangan bolak-balik menghasilkan tegangan sesuai dengan fungsi: $V = 100 \sin 120\pi t$ volt (t dalam sekon). Jika sumber tegangan ini dihubungkan seri dengan resistor 5 maka:
- Arus efektif yang mengalir pada resistor adalah $10\sqrt{2}$ A
 - Frekuensi sumber tegangan tersebut adalah 60 Hz
 - Daya rata-rata yang terdisipasi pada resistor 1000 watt
 - Tegangan maksimum pada resistor adalah $100\sqrt{2}$ volt
- Pernyataan yang benar adalah....
- 1, 2, dan 3
 - 1 dan 3
 - 2 dan 4
 - 4 saja
 - 1, 2, 3, dan 4
14. Suatu kapasitor murni dengan kapasitansi $2 \mu\text{F}$ dihubungkan seri dengan sumber tegangan bolak-balik yang tegangan maksimumnya 100 volt dan frekuensi sudutnya 50 rad/s. Pernyataan yang benar adalah....
- reaktansi kapasitif kapasitor adalah 100 ohm
 - arus maksimum pada kapasitor adalah 1 ampere
 - daya rata-rata yang terdisipasi pada kapasitor adalah 0,5 watt
 - arus efektif pada kapasitor adalah 0,5 ampere
 - frekuensi sumber tegangan adalah 100 Hz

15. Perhatikan pernyataan berikut.
- 1) frekuensi resonansi rangkaian mendekati 800 kHz
 - 2) pada keadaan resonansi impedansi rangkaian 500 ohm
 - 3) pada keadaan resonansi arus efektif yang mengalir 2 mA
 - 4) pada keadaan resonansi faktor dayanya maksimum.
- Suatu rangkaian penerima radio memakai rangkaian R-L-C seri yang

dihubungkan dengan tegangan efektif bolak-balik sebesar 1 volt. Jika $R = 500 \Omega$, $L = 0,4 \text{ mH}$, dan $C = 100 \text{ pF}$ maka pernyataan yang benar adalah....

- A. 1, 2, dan 3
- B. 1 dan 3
- C. 2 dan 4
- D. 4 saja
- E. 1, 2, 3, dan 4



BAB 6. RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.6 Menganalisis fenomena radiasi elektromagnetik, pemanfaatannya dalam teknologi, dan dampaknya pada kehidupan	3.6.1 Menjelaskan hipotesis Maxwell. 3.6.2 Menganalisis sifat-sifat dan spectrum gelombang elektromagnetik. 3.6.3 Menganalisis bahaya radiasi elektromagnetik. 3.6.4 Menganalisis manfaat radiasi elektromagnetik.
4.6 Mempresentasikan manfaat radiasi elektromagnetik dan dampaknya pada kehidupan sehari-hari	4.6.1 Menyajikan informasi tentang hipotesis Maxwell. 4.6.2 Menyajikan informasi tentang sifat dan spektrum gelombang elektromagnetik. 4.6.3 Mempresentasikan manfaat gelombang elektromagnetik. 4.6.4 Menyajikan hasil analisis tentang dampak radiasi elektromagnetik.

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik terampil dalam memecahkan berbagai permasalahan, mendisain, melakukan percobaan, dan mempresentasikan hasil percobaan untuk menganalisis Radiasi Elektromagnetik, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Peranan teknologi dalam kehidupan sehari-hari hampir tak dapat dipisahkan. Di dalam gelombang elektromagnetik banyak teknologi untuk kehidupan manusia, fisika banyak memegang peranan penting. Studi tentang gelombang banyak melahirkan teknologi-teknologi baru yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Dalam bidang telekomunikasi, pengetahuan tentang gelombang elektromagnetik sangat diperlukan. Televisi, radio, telepon seluler, dan riset luar angkasa semuanya memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Apakah gelombang elektromagnetik itu? Dimanfaatkan dalam hal apa saja?

A. Radiasi Gelombang Elektromagnetik

- Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium dalam merambat.
- Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang beresilasi dan merambat lewat ruang dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain.
- Gejala-gejala kelistrikan dan kemagnetan yang saling berhubungan ada 3, yaitu:
 1. Muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik di sekitarnya, yang sesuai Hukum Coulomb, dengan persamaan:

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

2. Arus listrik atau muatan yang mengalir dapat menghasilkan medan magnet di sekitarnya, yang sesuai Hukum Biot Savart, dengan persamaan:

$$B = \frac{\mu_0 I dl \sin \theta}{4\pi r^2}$$

3. Perubahan medan magnet dapat menimbulkan GGL yang dapat menghasilkan medan listrik, yang sesuai Hukum Induksi Faraday, dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$$

Keterangan:

E = kuat medan listrik (N/C)

k = konstanta pembandingan di udara atau di ruang hampa = $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

q = muatan (C)

r = jarak titik dari muatan (m)

B = kuat medan magnet (Wb/m^2 , T)

μ_0 = permeabilitas ruang hampa = $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb}/\text{Am}$

I = arus listrik (A)

dl = perubahan elemen panjang (m)

θ = sudut antara elemen berarus dan jarak ke titik yang ditentukan besar medan magnetiknya

ε = ggl induksi (V)

$d\Phi$ = perubahan fluks (Wb)

dt = selang waktu (s)

B. Hipotesa Maxwell

- Menurut hipotesa Maxwell tentang kelistrikan dan kemagnetan adalah karena perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, maka sebaliknya perubahan medan listrik pun akan dapat menimbulkan medan magnet.
- Gejala perubahan kelistrikan dan kemagnetan selalu berdampingan, jika ada perubahan medan magnet akan menimbulkan perubahan medan listrik demikian juga sebaliknya. Inilah yang mendasari pola gelombang elektromagnetik yang merupakan interaksi perubahan medan listrik dan medan magnet secara sinusoida.



Gambar 1. Bentuk gelombang elektromagnetik.

<https://www.studiobelajar.com/gelombang-elektromagnetik/>

- Gelombang elektromagnetik merupakan jenis gelombang transversal karena medan listrik dan medan magnet selalu saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang.
- Hubungan cepat rambat gelombang dengan permitivitas listrik dan permeabilitas magnet dirumuskan dengan :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Keterangan:

ϵ_0 = permitivitas listrik = $8,85 \times 10^{-12}$ C/Nm²

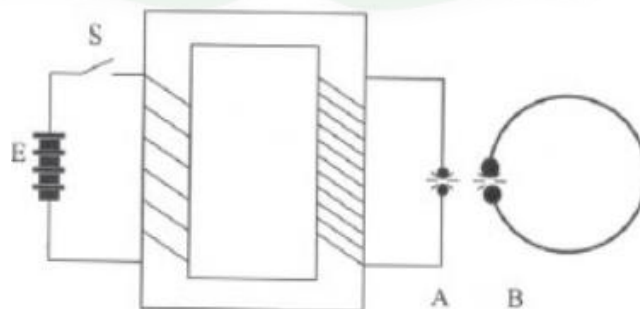
μ_0 = permeabilitas magnet = $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am

c = cepat rambat gelombang elektromagnetik

Sehingga diperoleh nilai c adalah $2,998 \times 10^8$ m/s. Karena nilai c sama dengan nilai cepat rambat cahaya dalam vakum, maka dapat disimpulkan bahwa cahaya adalah gelombang elektromagnetik.

C. Percobaan Hertz

- Heinrich Hertz menguji hipotesa Maxwell dengan rangkaian berikut.



Gambar 2. Percobaan Hertz dengan menggunakan Kumparan Ruhmkorf untuk membangkitkan dan mendeteksi gelombang elektromagnetik.

<http://gipeng.blogspot.com/2015/08/percobaan-gelombang-elektromagnetik.html>

Dengan menggetarkan saklar S, kumparan akan menginduksikan pulsa tegangan pada kedua elektroda bola di sisi A sehingga terjadi percikan bunga api karena adanya pelepasan muatan. Ternyata elektroda pada kedua loop kawat di sisi B juga menampilkan percikan bunga api. Berarti terjadi pemindahan energi gelombang elektromagnetik dari sisi A sebagai loop pengirim ke sisi B sebagai penerima.

- Dari percobaan-percobaan Hertz, diperoleh beberapa hal tentang:
 1. Cepat rambat gelombang elektromagnetik, yaitu sesuai dengan nilai yang diramalkan oleh Maxwell.
 2. Sifat-sifat gelombang elektromagnetik, yaitu:
 - a. Dapat merambat dalam ruang hampa udara
 - b. Merupakan gelombang transversal
 - c. Dapat mengalami polarisasi
 - d. Dapat mengalami pemantulan (refleksi)
 - e. Dapat mengalami pembiasan (refraksi)
 - f. Dapat mengalami interferensi
 - g. Dapat mengalami difraksi
 - h. Merambat dalam arah lurus
- Pembiasan gelombang elektromagnetik adalah pembelokan arah perambatan gelombang elektromagnetik pada bidang batas antara dua medium yang memiliki sifat yang berbeda dalam merambatkan gelombang.
- Interferensi gelombang elektromagnetik adalah perpaduan antara dua gelombang elektromagnetik atau lebih yang koheren di suatu tempat pada saat yang bersamaan.
- Difraksi gelombang elektromagnetik adalah penghamburan atau pelenturan gelombang elektromagnetik yang disebabkan adanya penghalang berupa celah sempit.

D. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang dirumuskan dengan:

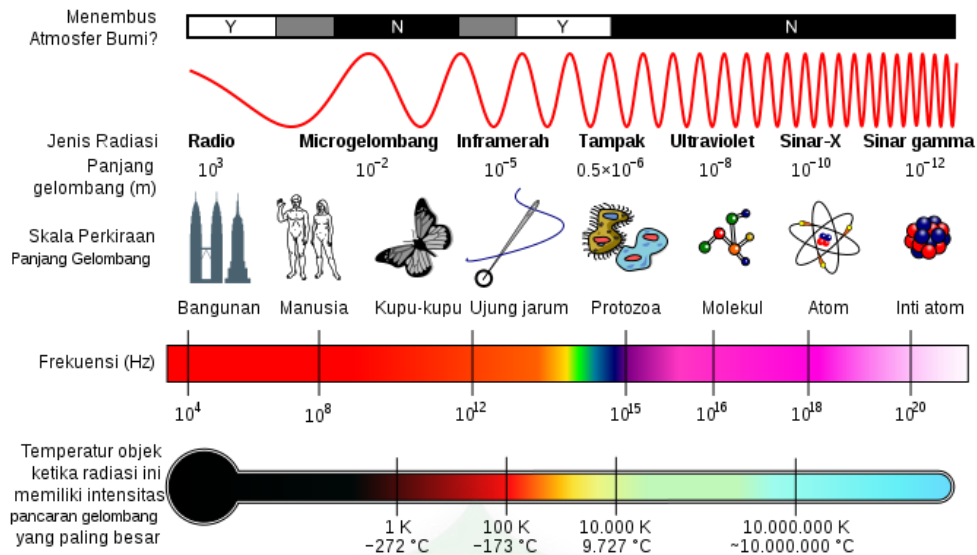
$$c = f\lambda$$

Keterangan:

f = frekuensi (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik.



Gambar 3. Spektrum gelombang elektromagnetik

https://id.wikipedia.org/wiki/Spektrum_elektromagnetik

Spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi terendah adalah sebagai berikut:

1. Gelombang Radio

- Rentang frekuensi $5 \times 10^5 - 2 \times 10^7$ Hz
 - Panjang gelombang $6 \times 10^{12} - 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$
 - Dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang dipercepat melalui kawat penghantar.
 - Pembangkit muatan-muatan listrik pada rangkaian elektronika disebut osilator.
- a. Gelombang Medium
- Rentang frekuensi 1 MHz
 - Digunakan sebagai alat komunikasi.
 - Mudah dipantulkan oleh lapisan atmosfer bumi dimana lapisan pemantul ini disebut sebagai ionosfer.
 - Informasi bunyi yang dibawa dalam bentuk perubahan amplitudo sehingga disebut dengan Amplitudo Modulation (AM).
- b. Gelombang VHF (Very High Frequency)
- Rentang frekuensi 30 MHz – 300 MHz
 - Gelombang VHF tidak dipantulkan oleh lapisan atmosfer bumi karena dapat menembus lapisan atmosfer bumi.
 - Pengaruhnya terhadap sistem komunikasi adalah dibutuhkan stasiun penghubung (relay) yang dapat memancarkan kembali gelombang yang diterima.
 - Informasi bunyi yang dibawa dalam bentuk perubahan frekuensi sehingga disebut dengan Frequency Modulation (FM).

2. Gelombang TV

- Rentang frekuensi $4 \times 10^7 - 2 \times 10^8$ Hz
- Panjang gelombang $7,5 \times 10^{10} - 1,5 \times 10^{10} \text{ m}$
- Dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang dipercepat melalui kawat penghantar.
- Cara pancarannya adalah merambat lurus.
- Gelombang TV tidak dipantulkan oleh lapisan atmosfer bumi karena dapat menembus lapisan atmosfer bumi.

- Pengaruhnya terhadap sistem komunikasi adalah dibutuhkan stasiun penghubung (relay) yang dapat memancarkan kembali gelombang yang diterima.

3. Gelombang Mikro

- Rentang frekuensi $10^9 - 3 \times 10^{11}$ Hz
- Panjang gelombang $3 \times 10^9 - 1,5 \times 10^{10} \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh alat seperti Klystron, magnetron, TWT (Travelling Wave Tube).
- Contohnya adalah RADAR (Radio Detection and Ranging) yang berarti mencari atau menentukan jejak sebuah benda dengan menggunakan gelombang mikro.
- Cara kerja RADAR adalah sebuah antenna memancarkan seberkas sinar tipis gelombang mikro dalam bentuk pulsa-pulsa pendek sehingga dengan mudah dipantulkan oleh sebuah benda yang kemudian pulsa tersebut dipantulkan oleh benda tersebut. Sebagian pantulan tersebut akan diterima kembali oleh antenna radar.
- Untuk mengetahui jarak sasaran ke pusat RADAR digunakan persamaan:

$$s = \frac{c\Delta t}{2}$$

Keterangan:

s = jarak benda dari pusat radar (m)

Δt = selang waktu antara pancaran dan penerimaan (s)

4. Sinar Infra Merah

- Rentang frekuensi $3 \times 10^{11} - 4,3 \times 10^{14}$ Hz
- Panjang gelombang $10^7 - 7 \times 10^3 \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh benda-benda panas, seperti matahari
- Radiasi infra merah adalah radiasi yang tidak dapat dilihat tetapi dapat dideteksi di atas spektrum merah.
- Radiasi infra merah dihasilkan oleh getaran atom-atom dalam suatu molekul yang akan memancarkan gelombang elektromagnetik.
- Cara kerja radiasi infra merah untuk mendeteksi suatu benda adalah setiap benda hangat memancarkan radiasi infra merah yang tergantung dari suhu dan warna benda. Dengan menggunakan pelat foto yang peka terhadap infra merah, satelit pengamat mampu mendeteksi benda tersebut.
- Manfaat sinar infra merah antara lain untuk remote TV dan transfer data di ponsel.

5. Cahaya Tampak

- Rentang frekuensi $7,5 \times 10^{14} - 4,3 \times 10^{14}$ Hz
- Panjang gelombang $7 \times 10^3 - 4 \times 10^3 \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh matahari dan lampu.
- Spektrum warna dari panjang gelombang kecil sampai ke panjang gelombang besar adalah ungu, biru, hijau, kuning, jingga dan merah.
- Cahaya tampak digunakan sebagai penerangan ketika malam hari atau di tempat gelap. Selain sebagai penerangan, cahaya tampak digunakan juga pada tempat-tempat hiburan, rumah sakit, industri, dan telekomunikasi.

6. Sinar Ultraviolet

- Rentang frekuensi $7,5 \times 10^{14} - 10^6$ Hz
- Panjang gelombang $4 \times 10^3 - 3 \times 10^2 \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh benda yang sangat panas seperti matahari.
- Pengaruh sinar ultra violet terhadap suatu benda atau makhluk hidup adalah:
 - a. Memendarkan barium, platina, cianida
 - b. Menghitamkan pelat foto yang berlapis perak bromida
 - c. Membunuh kuman, terutama untuk penyakit kulit.
- Manfaat sinar ultraviolet adalah sebagai sumber utama vitamin D, mengurangi kolesterol darah, oenawar infeksi, pembunuh bakteri, mengurangi gula darah, meningkatkan kebugaran pernafasan, membantu membentuk dan memperbaiki tulang, serta meningkatkan kekebalan tubuh.
- Paparan sinar ultraviolet yang berlebihan akan menimbulkan berbagai penyakit pada manusia, terutama pada kulit.

7. Sinar X

- Rentang frekuensi $10^{16} - 3 \times 10^{20}$ Hz
- Panjang gelombang $3 \times 10^2 - 10^2 \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh tembakan electron pada keeping logam.
- Sifat sinar X adalah:
 - a. Mempunyai daya tembus yang tinggi
 - b. Dapat menghitamkan pelat foto
- Manfaat sinar X antara lain untuk melihat organ tubuh menggunakan foto Rontgen, memeriksa retakan dalam struktur plastik, dan menyiasati rekahan dalam pipa logam.

8. Sinar Gamma

- Rentang frekuensi $10^{18} - 5 \times 10^{24}$ Hz
- Panjang gelombang $3 - 6 \times 10^{-7} \text{ \AA}$
- Dihasilkan oleh reaksi nuklir (inti atom yang tidak stabil).
- Sifat sinar gamma adalah:
 - a. Mempunyai frekuensi terbesar
 - b. Dapat menembus pelat besi.
- Manfaat sinar gamma antara lain untuk mengetahui struktur logam, membuat bibit unggul, membuat radioisotop, mengobati kanker, dan mensterilisasi peralatan rumah sakit.

Simulasi spektrum gelombang elektromagnetik bisa dilihat pada link berikut:

<https://interactives.ck12.org/simulations/physics/light-wave/app/index.html?screen=sandbox>

"Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya Allah adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus, yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang banyak berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat (nya) yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang Dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu" (QS. An-Nur: 35)

UJI KOMPETENSI

- Sebuah stasiun radio VHF menyiarkan programnya pada frekuensi 100 MHz. Jika $c = 3 \times 10^8$ m/s, maka panjang gelombang VHF itu adalah
 - 333 m
 - 300 m
 - 3,3 m
 - 3,0 m
 - 1,0 m
- Yang bukan merupakan sifat gelombang elektromagnetik adalah....
 - Memerlukan medium dalam merambat
 - Tidak menyimpang dalam medan magnet
 - Arah getarnya tegak lurus arah rambatan
 - Dapat dipantulkan dan dibiaskan
 - Dapat menunjukkan gejala polarisasi
- Pernyataan yang benar terkait dengan cahaya biru, cahaya kuning, sinar-X, dan gelombang radio adalah.... (SNMPTN 2009)
 - Cahaya biru mempunyai energi terbesar
 - Cahaya kuning mempunyai momentum terbesar
 - Gelombang radio mempunyai panjang gelombang terbesar
 - Di ruang hampa, kecepatan sinar-X lebih besar daripada kecepatan gelombang radio
 - Cahaya kuning memiliki kecepatan yang paling rendah
- Dalam spektrum gelombang elektromagnetik makin pendek panjang gelombang maka ...
 - Makin besar kelajuannya
 - Makin rendah frekuensinya
 - Makin kecil kelajuannya
 - Frekuensinya tetap
 - Kelajuannya tetap
- Gelombang elektromagnetik tidak dibelokkan dalam medan listrik maupun dalam medan magnet karena ...
 - Kecepatannya sangat tinggi
 - Tidak bermuatan listrik
 - Tidak bermassa
 - Frekuensinya tinggi
 - Tidak memerlukan medium
- Dari berbagai spektrum gelombang elektromagnetik, satu sama lain mempunyai kesamaan dalam hal ...
 - Frekuensinya
 - Panjang gelombangnya
 - kecepatannya
 - frekuensi dan panjang gelombangnya
 - frekuensi dan kecepatannya

7. Dalam ruang hampa besaran yang sama untuk sinar gamma, sinar-C, dan cahaya tampak adalah.... (UM UGM 2014)
- energi
 - Panjang gelombang
 - Kelajuan
 - Intensitas
 - Frekuensi
8. Perhatikan pernyataan berikut :
- Di udara kecepatannya 3×10^8 m/s
 - Dapat merambat di ruang hampa
 - Dapat mempengaruhi lempeng film
 - Merupakan gelombang longitudinal
- Yang merupakan sifat gelombang elektromagnetik adalah
- (1) dan (2)
 - (1), (2) dan (3)
 - (1) dan (4)
 - (2), (3) dan (4)
 - (3) dan (4)
9. Berikut ini beberapa penggunaan gelombang elektromagnetik :
- Sinar ultraviolet untuk sterilisasi
 - Gelombang radar untuk mengukur kedalaman laut
 - Sinar inframerah untuk keperluan fotografi
 - Sinar-X untuk mempelajari struktur atom
- Pernyataan yang benar adalah
- 1, 2 dan 3
 - 1 dan 3
 - 2 dan 4
 - 4 saja
 - 1, 2, 3 dan 4
10. Perhatikan data berikut.
- Radiasi ultraviolet
 - Gelombang radio
 - Cahaya tampak
 - Sinar-X
 - Radiasi inframerah
- Urutan berkurangnya frekuensi dari gelombang elektromagnetik di atas adalah
- 2 – 5 – 3 – 1 – 4
 - 4 – 3 – 1 – 2 – 5
 - 4 – 1 – 3 – 5 – 2
 - 4 – 3 – 1 – 5 – 2
 - 2 – 5 – 1 – 3 – 4

DAFTAR PUSTAKA

- <https://zoniaelektro.net/besaran-listrik-arus-tegangan-hambatan-dan-daya-listrik/>
- <https://www.dosenpendidikan.co.id/hukum-kirchoff/>
- https://www.youtube.com/watch?v=LSs6aF2_b_s
- <http://fisienal.blogspot.com/2013/07/pengukuran-kuat-arus-listrik.html>
- <http://smarterindo.com/fisika/elektrodinamika.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=HWVsdS4pbA4>
- https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_en.html
- https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_en.html
- <https://www.amongguru.com/pengertian-medan-listrik-dan-cara-menghitung-kuat-medan-listrik/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=O-HR7FfAsYM>
- <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/capacitor-lab>
- https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html
- <https://thecakeboutiquect.com/>
- <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Medan-Magnetik-2015/konten6.html>
- <https://rumushitung.com/2015/01/24/medan-elektromagnet/>
- <https://idschool.net/smp/kaidah-tangan-kanan/>
- <https://www.pngdownload.id/png-iybv13/>
- <https://wirahadie.com/penjelasan-dan-cara-menghitung-rumus-gaya-lorentz/>
- <https://www.studiobelajar.com/gaya-lorentz/>
- <https://fokusfisika.com/lintasan-partikel-yang-bergerak-tegak-lurus-garis-medan-magnetik/>
- <http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>
- <https://phet.colorado.edu/en/simulation/faradays-law>
- <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/faraday>
- <http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>
- <http://eduku1.blogspot.com/2016/12/metoda-GGL-induksi.html>
- <https://www.mikirbae.com/2016/01/penerapan-induksi-elektromagnetik.html>
- <http://fisikazone.com/pengertian-arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/>
- <http://www.fisikasekolah.com/2016/11/rangkaian-arus-bolak-balik-ac.html>
- <http://nyarifisika.blogspot.com/2017/10/rangkaian-seri-rl-rc-dan-rlc-pada.html>
- <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>
- <https://www.studiobelajar.com/gelombang-elektromagnetik/>
- <http://gipeng.blogspot.com/2015/08/percobaan-gelombang-elektromagnetik.html>
- https://id.wikipedia.org/wiki/Spektrum_elektromagnetik
- <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/light-wave/app/index.html?screen=sandbox>
- Murtono, 2008, *Konsep Cahaya dalam Al-Qur'an dan Sains*, Kaunia, Vol. IV, No. 2, 147-158.
- Romlah, 2011, *Ayat-Ayat Al-Qur'an dan Fisika*, Harakindo Publishing, Bandar Lampung.
- Ramlawati, dkk, 2017, *Sumber Belajar Penunjang PLPG 2017 Mata Pelajaran IPA Bab X Kelistrikan dan Kemagnetan*, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Guru dan Tenaga Kependidikan.