

# KAJIAN MATERI FISIKA

SMA KELAS XII

DISUSUN OLEH :  
MAHYANA S.PD. M.PD  
TAMARA SINDI  
ENDA REFISA  
FAJRUL IHSAN

# **KAJIAN MATERI FISIKA SMA KELAS 3**

PENULIS

Mahyana, S.Pd., M.Pd

Tamara Sindi

Enda Refisa

Fajrul Ihsan

Editor

Syamsul Rizal, S.Pd., M.Pd

Dr. Deviyani Rusdiyanti Putri, S.Si



**Penerbit NATURAL ACEH, Banda Aceh – Aceh**

Kajian Materi Fisika SMA Kelas 3

© **Mahyana, Tamara Sindi Enda Refisa, Fajrul Ihsan**

**Penerbit NATURAL ACEH Jalan Tgk. Adee II, No. 8. Gp. Doy, Kec. Ulee Kareng,  
Kota Banda Aceh 23117**

**Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.**

**Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Natural Aceh, Banda Aceh, 2024**

**Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun (seperti cetakan, fotokopi, microfilm, VCD, CD-ROM, dan rekaman suara) tanpa izin tertulis dari pemegang hak cipta/penerbit.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat tuhan yang maha esa atas segala rahmat dan karunia-nya sehingga buku kajian materi fisika sma kelas xii ini dapat disusun dan disajikan sebagai bahan pembelajaran bagi peserta didik tingkat sma kelas xii. Buku ini disusun untuk membantu siswa memahami konsep-konsep fisika secara lebih mendalam, sistematis, dan aplikatif sesuai dengan tuntutan kurikulum merdeka.

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu sains yang mempelajari gejala alam dan hukum-hukum yang mengaturnya. Oleh karena itu, pemahaman konsep yang baik sangat diperlukan agar peserta didik mampu mengaitkan teori dengan fenomena nyata dalam kehidupan sehari-hari. Buku ini tidak hanya berisi penjelasan teori, tetapi juga dilengkapi dengan contoh soal, pembahasan, rangkuman, dan latihan soal pada setiap bab.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan buku ini di masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi siswa, guru, maupun pembaca secara umum.

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>BAB I LISTRIK STATIS</b> .....	<b>2</b>
A. Gaya Listrik.....	3
B. Medan Listrik .....	4
C. Kapasitor Keping Sejajar.....	6
D. Rangkaian Kapasitor .....	7
Latihan Soal .....	9
<b>BAB II LISTRIK ARUS SEARAH</b> .....	<b>13</b>
A. Arus Listrik .....	13
B. Hambatan Ohmik dan Non-Ohmik.....	14
C. Hambatan Jenis .....	15
D. Rangkaian Listrik.....	16
E. Rangkaian Majemuk (Hukum Kirchhoff).....	16
F. Daya Listrik .....	17
Latihan Soal .....	18
<b>BAB III KEMAGNETAN</b> .....	<b>22</b>
A. Medan Magnet .....	22
B. Gaya Magnet .....	24

C. Motor Listrik .....	26
D. Medan Magnet Induksi .....	29
E. Gaya Gerak Listrik (Ggl) Induksi .....	32
F. Generator Listrik.....	35
G. Induktansi Dan Transformator .....	37
Latihan Soal .....	40
<b>BAB IV ARUS BOLAK BALIK.....</b>	<b>44</b>
A. Persamaan Arus Bolak-Balik .....	44
B. Karakteristik Rangkaian Rlc .....	46
C. Resonansi Rangkaian .....	50
Latihan Soal .....	51
<b>BAB V GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK....</b>	<b>55</b>
A. Perambatan Gelombang Elektromagnetik .....	55
B. Spektrum Gelombang Elektromagnetik .....	55
C. Energi Gelombang Elektromagnetik .....	55
D. Penerapan Gelombang Elektromagnetik .....	55
Latihan Soal .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Rangkaian Seri Kapasitor .....	7
Gambar 1.2 Rangkaian Paralel Kapasitor .....	8
Gambar 3.1 Arah Gaya Magnet Muatan Bergerak.....	24
Gambar 3.2 Aturan Tangan Kanan .....	26
Gambar 3.3 Aturan Tangan Kanan Medan Magnet.....	30
Gambar 3.4 Arah Medan Magnet Kawat Melingkar .....	31
Gambar 3.5 Medan Magnet Pada Solenoida.....	32
Gambar 3.6 Fluks Magnet.....	33
Gambar 4.1 Rangkaian Resistor.....	46
Gambar 4.2 Diagram Induktor .....	47
Gambar 4.3 Diagram Kapasitor .....	48
Gambar 4.4 Rangkaian RLS.....	49
Gambar 5.1 Perambatan GEM .....	56
Gambar 5.2 Frekuensi Spektrum GEM.....	57

A decorative graphic at the top of the page features a semi-circular area with a blue and white circuit board pattern. To the right of this area is a solid purple shape. The background is a light beige color with subtle circular patterns.

BAB 1

# LISTRIK STATIS

## **BAB I**

### **LISTRIK STATIS**

Fenomena listrik statis dapat dijumpai dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, mulai dari kejadian sederhana hingga penerapannya pada teknologi modern. Salah satu perangkat teknologi yang memanfaatkan prinsip listrik statis adalah mesin fotokopi dan printer inkjet. Kajian mengenai printer inkjet telah dilakukan sejak dekade 1950-an. Pada tahun 1949, Jean-Antoine Nollet meneliti pengaruh listrik statis terhadap aliran tetesan zat cair berupa tinta. Selanjutnya, Lord Rayleigh mengkaji mekanisme pembentukan tetesan pada sistem inkjet serta interaksi yang terjadi di dalamnya.

Pernahkah Anda merasakan sengatan kecil saat menyentuh gagang pintu besi setelah berjalan di atas karpet? Atau melihat penggaris plastik yang dapat menarik potongan kertas kecil? Ini adalah akibat dari perpindahan elektron.

Materi tersusun atas atom yang memiliki proton (positif) dan elektron (negatif). Benda dikatakan bermuatan jika terjadi ketidakseimbangan jumlah elektron melalui cara:

- Gosokan: Perpindahan elektron karena perbedaan afinitas elektron.
- Konduksi: Sentuhan langsung benda bermuatan dengan benda netral.
- Induksi: Pemisahan muatan pada benda netral dengan mendekatkan benda bermuatan tanpa sentuhan

## A. Gaya Listrik

Gaya listrik adalah gaya yang timbul akibat interaksi antara muatan-muatan listrik. Gaya ini dapat berupa gaya tarik-menarik maupun tolak-menolak, bergantung pada jenis muatan yang berinteraksi. Muatan sejenis akan saling tolak-menolak, sedangkan muatan tidak sejenis akan saling tarik-menarik.

### 1. Hukum Coulomb

Interaksi gaya listrik antara muatan titik pertama kali dikaji oleh ilmuwan asal Prancis, Charles de Coulomb (1736–1806). Atas kontribusinya tersebut, gaya listrik dikenal sebagai gaya Coulomb, sedangkan temuan utamanya dirumuskan dalam Hukum Coulomb.

Hukum Coulomb menyatakan bahwa besar gaya listrik antara dua muatan sebanding dengan hasil kali besar kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut. Secara matematis dirumuskan sebagai:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

Keterangan:

F = gaya listrik (N)

k = konstanta Coulomb ( $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ )

$q_1, q_2$  = besar muatan (C)

r = jarak antar muatan (m)

## **2. Resultan Gaya**

Dalam sistem yang melibatkan lebih dari dua muatan listrik, sebuah muatan dapat mengalami lebih dari satu gaya listrik secara bersamaan. Gaya total yang bekerja pada muatan tersebut disebut resultan gaya listrik.

Penentuan resultan gaya listrik mengikuti prinsip superposisi, yaitu gaya total merupakan penjumlahan vektor dari semua gaya yang bekerja. Jika gaya-gaya berada pada satu garis lurus, resultan gaya dapat dihitung dengan menjumlahkan atau mengurangkan besar gaya sesuai arahnya. Namun, jika gaya-gaya membentuk sudut tertentu, maka perhitungan resultan harus menggunakan metode vektor.

Pemahaman resultan gaya sangat penting dalam menganalisis sistem muatan listrik yang kompleks, seperti susunan muatan pada konduktor atau isolator.

### **B. Medan Listrik**

Medan listrik digunakan untuk menjelaskan bagaimana gaya listrik dapat bekerja tanpa kontak langsung. Medan listrik merupakan daerah di sekitar muatan listrik yang masih mengalami pengaruh gaya listrik.

Medan listrik digambarkan dengan garis-garis medan, yang menunjukkan arah gaya listrik yang akan dialami oleh muatan uji positif. Kerapatan garis medan menunjukkan kuat atau lemahnya medan listrik di suatu titik

## 1. Medan Listrik Muatan Titik

Medan listrik yang ditimbulkan oleh sebuah muatan titik bergantung pada besar muatan dan jarak dari muatan tersebut. Medan listrik didefinisikan sebagai gaya listrik per satuan muatan uji, sehingga dirumuskan:

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.2)$$

Untuk muatan titik, besar medan listrik dapat dituliskan sebagai:

$$E = k \frac{q}{r^2} \quad (1.3)$$

Keterangan:

E = kuat medan listrik (N/C)

q = muatan sumber (C)

r = jarak dari muatan (m)

## 2. Medan Listrik pada Pelat Paralel

Selain muatan titik, medan listrik juga dapat dihasilkan oleh dua pelat logam sejajar yang bermuatan berlawanan. Sistem ini dikenal sebagai pelat paralel dan banyak digunakan dalam perangkat listrik, seperti kapasitor.

Di antara dua pelat paralel, medan listrik yang terbentuk seragam, artinya besar dan arah medan listrik sama di setiap titik. Besar medan listrik pada pelat paralel dinyatakan dengan:

$$E = \frac{V}{d} \quad (1.4)$$

Keterangan:

V = beda potensial antara pelat (V)

d = jarak antar pelat (m)

## C. Kapasitor Keping Sejajar

Kapasitor keping sejajar merupakan salah satu alat listrik yang digunakan untuk menyimpan muatan dan energi listrik. Kapasitor ini tersusun atas dua keping logam yang dipasang sejajar dan dipisahkan oleh suatu bahan isolator yang disebut dielektrik. Ketika kedua keping dihubungkan dengan sumber tegangan, salah satu keping akan bermuatan positif dan keping lainnya bermuatan negatif, sehingga terbentuk medan listrik di antara kedua keping tersebut.

Kemampuan suatu kapasitor untuk menyimpan muatan listrik disebut kapasitansi. Kapasitansi bergantung pada luas keping, jarak antar keping, serta jenis bahan dielektrik yang digunakan. Semakin besar luas keping dan semakin kecil jarak antar keping, maka kapasitansi

Sumber: Sarah/Kemendikbudristek (2022)

kapasitor akan semakin besar. Sebaliknya, semakin jauh jarak antar keping, kapasitansi akan semakin kecil. Kapasitansi kapasitor keping sejajar dirumuskan sebagai:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1.5)$$

Keterangan:

C = kapasitansi (F)

A = luas pelat (m<sup>2</sup>)

d = jarak antar pelat/keping (m)

Kapasitor tidak hanya menyimpan muatan, tetapi juga menyimpan energi listrik. Energi yang tersimpan dalam kapasitor berasal dari usaha yang dilakukan untuk memindahkan muatan listrik dari satu keping ke keping lainnya melawan gaya listrik. Energi listrik yang tersimpan dalam kapasitor dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1.6)$$

Kapasitor keping sejajar banyak digunakan dalam rangkaian elektronika, seperti pada catu daya, rangkaian pengatur tegangan, dan sistem penyimpanan energi sementara.

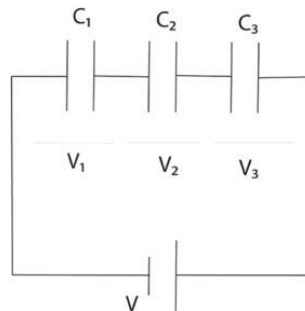
#### **D. Rangkaian Kapasitor**

Dalam rangkaian listrik, kapasitor dapat disusun secara seri maupun paralel untuk memperoleh kapasitansi tertentu.

Sumber: Sarah/Kemendikbudristek (2022)

## 1. Rangkaian Seri

Pada rangkaian seri, kapasitor-kapasitor disusun secara berurutan sehingga muatan yang mengalir pada setiap kapasitor sama besar. Namun, beda potensial pada masing-masing kapasitor dapat berbeda-beda, tergantung pada nilai kapasitansinya.



**Gambar 1.1 Rangkaian Seri Kapasitor**

Sumber: Sarah/Kemendikbudristek (2022)

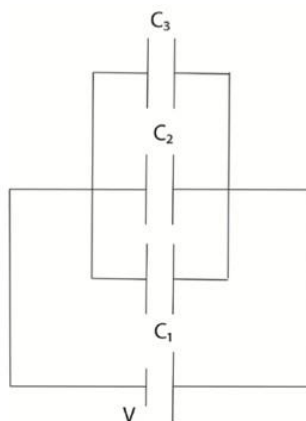
Kapasitansi total pada rangkaian kapasitor seri lebih kecil dibandingkan kapasitansi masing-masing kapasitor. Secara matematis, hubungan kapasitansi pada rangkaian seri dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad (1.7)$$

## 2. Rangkaian Paralel

Pada rangkaian paralel, kapasitor-kapasitor dihubungkan sejajar sehingga masing-masing kapasitor memiliki beda potensial yang sama. Dalam rangkaian ini, muatan total yang tersimpan merupakan jumlah muatan pada setiap kapasitor. Kapasitansi total rangkaian paralel lebih besar dibandingkan kapasitansi masing-masing kapasitor. Hubungan kapasitansi rangkaian paralel dinyatakan dengan:

$$C_p = C_1 + C_2 + \dots \quad (1.8)$$



**Gambar 1.2 Rangkaian Paralel Kapasitor**

Sumber: Sarah/Kemendikbudristek (2022)

A decorative graphic at the top of the page features a semi-circular shape filled with blue and white circuit-like patterns, including lines, nodes, and gears. To the right of this shape is a solid purple rectangular area. The background is a light gray with subtle circular gradients.

BAB 2

# LISTRIK ARUS SEARAH

## BAB II

### LISTRIK ARUS SEARAH

Listrik arus searah merupakan bagian dari ilmu fisika yang mempelajari aliran muatan listrik yang bergerak dalam satu arah tertentu. Berbeda dengan listrik statis yang membahas muatan dalam keadaan diam, listrik arus searah membahas muatan listrik yang bergerak secara kontinu melalui suatu penghantar. Konsep ini sangat penting karena menjadi dasar dalam memahami rangkaian listrik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti baterai, lampu, dan berbagai peralatan elektronik.

#### A. Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik yang bergerak melalui suatu penghantar. Muatan listrik yang bergerak tersebut umumnya berupa elektron yang berpindah dari satu atom ke atom lainnya akibat adanya beda potensial. Arah arus listrik secara konvensional didefinisikan sebagai arah aliran muatan positif, meskipun dalam kenyataannya elektron yang bergerak berlawanan arah.

Besarnya arus listrik dinyatakan sebagai jumlah muatan listrik yang mengalir setiap satuan waktu. Secara matematis, arus listrik dirumuskan sebagai

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

I = Kuat arus listrik (A)

Q = Jumlah muatan listrik (C)

t = Selang waktu aliran muatan (s)

- Rapat Arus (J): Besarnya kuat arus per satuan luas penampang.

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.2)$$

Keterangan:

J = Rapat arus ( $A/m^2$ )

I = Kuat arus listrik (A)

A = Luas penampang penghantar ( $m^2$ )

## **B. Hambatan Ohmik dan Non-Ohmik**

Hambatan listrik adalah sifat suatu bahan yang menghambat aliran arus listrik. Setiap penghantar memiliki hambatan tertentu yang bergantung pada jenis bahan, panjang, luas penampang, dan suhu.

1. Hambatan Ohmik : Hambatan ohmik adalah hambatan yang mematuhi Hukum Ohm, yaitu hubungan antara arus listrik dan tegangan bersifat linier. Artinya, jika tegangan diperbesar, arus listrik juga bertambah secara sebanding.
  - Hukum Ohm:  $V = I \cdot R$
  - Grafik: Berupa garis lurus yang melalui titik pusat (0,0).

Keterangan:

V = Beda potensial/ tegangan listrik (V)

I = Kuat arus listrik (A)

R = Hambatan kawat penghantar (Ohm)

2. Hambatan Non-Ohmik : Hambatan non ohmik adalah hambatan yang tidak memenuhi Hukum Ohm, sehingga hubungan antara arus dan tegangan tidak linier. Pada bahan ini, nilai hambatan dapat berubah-ubah tergantung pada tegangan atau suhu.
- Contoh: Lampu pijar, LED, dan termistor.
  - Grafik: Berupa kurva melengkung.

### C. Hambatan Jenis

Hambatan jenis atau resistivitas merupakan besaran yang menyatakan tingkat hambatan suatu bahan terhadap aliran arus listrik, tanpa dipengaruhi oleh bentuk atau ukuran bahan tersebut. Hambatan jenis hanya bergantung pada jenis material dan suhu.

Hubungan antara hambatan, hambatan jenis, panjang, dan luas penampang penghantar dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan:

R = hambatan (ohm)

$\rho$  = hambatan jenis (ohm meter)

L = panjang penghantar (meter)

A = luas penampang (meter<sup>2</sup>)

Bahan dengan hambatan jenis kecil, seperti logam, disebut konduktor karena mudah menghantarkan arus listrik. Sebaliknya, bahan dengan hambatan jenis besar disebut isolator, karena sulit dialiri arus listrik.

Hambatan jenis sangat penting dalam perancangan instalasi listrik, karena menentukan jenis bahan penghantar yang aman dan efisien digunakan.

#### **D. Rangkaian Listrik**

Dalam aplikasi praktis, hambatan sering dikombinasikan untuk mengatur besar arus dan tegangan.

##### **1. Rangkaian Seri:**

- Arus yang mengalir pada setiap resistor adalah sama ( $I_{tot} = I_1 = I_2$ ).
- Tegangan total adalah jumlah tegangan tiap komponen ( $V_{tot} = V_1 + V_2$ ).
- Hambatan pengganti:  $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

##### **2. Rangkaian Paralel:**

- Tegangan pada setiap cabang adalah sama ( $V_{tot} = V_1 = V_2$ ).
- Arus total adalah jumlah arus pada tiap cabang ( $I_{tot} = I_1 + I_2$ ).
- Hambatan pengganti:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (2.4)$$

#### **E. Rangkaian Majemuk (Hukum Kirchhoff)**

Untuk rangkaian yang memiliki banyak percabangan dan sumber tegangan, digunakan Hukum Kirchhoff.

- **Hukum I Kirchhoff (Arus):** Jumlah arus yang masuk ke suatu titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut.

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar} \quad (2.5)$$

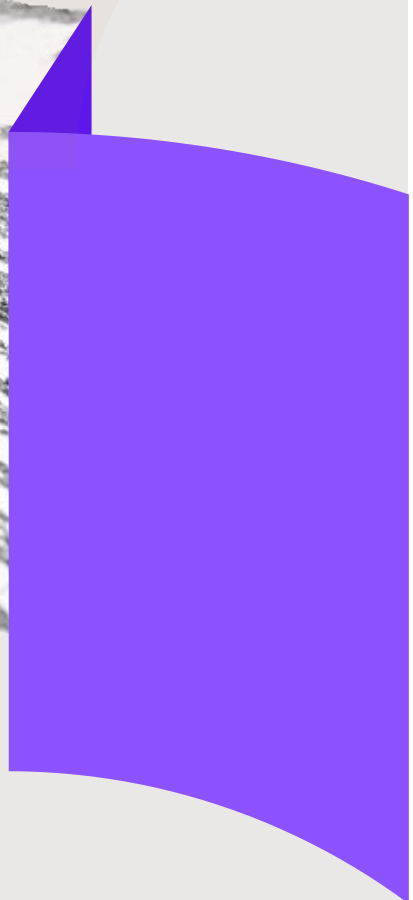
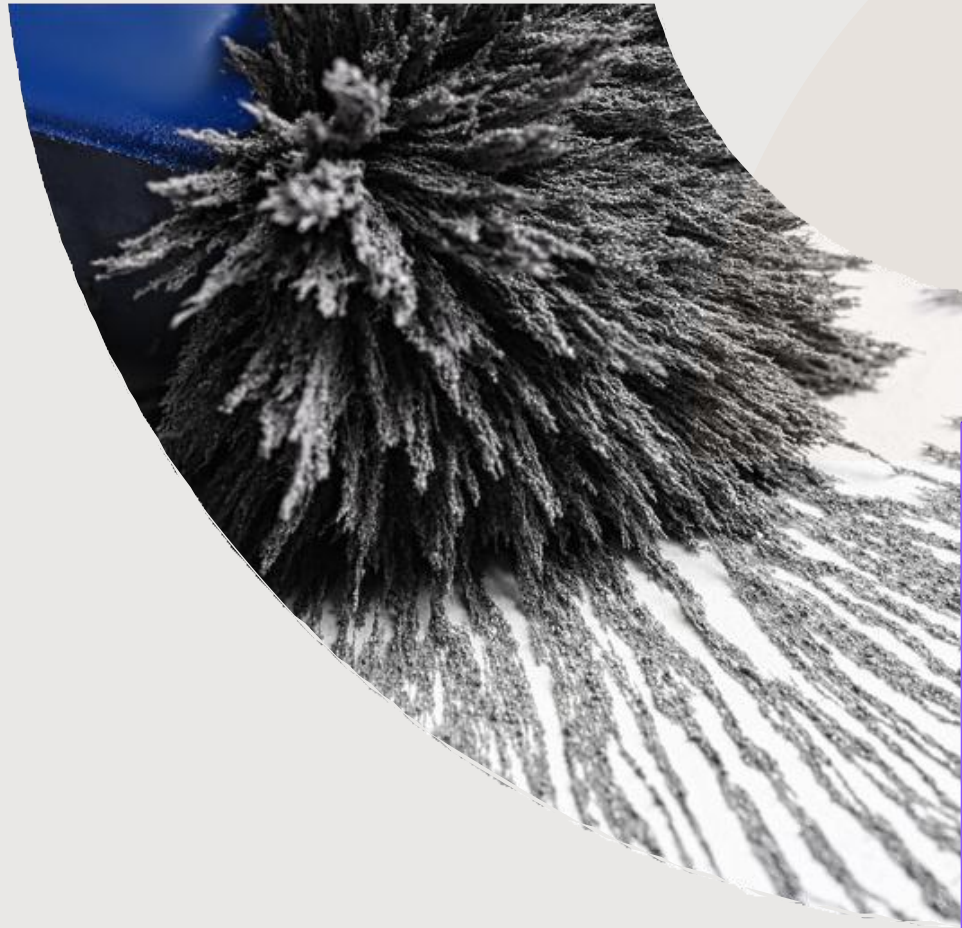
- **Hukum II Kirchhoff (Tegangan):** Dalam suatu rangkaian tertutup (loop), jumlah aljabar gaya gerak listrik (E) dan penurunan tegangan (I·R) adalah nol.

$$\sum E + \sum (I \cdot R) = 0 \quad (2.6)$$

## F. Daya Listrik

Daya listrik adalah laju pemakaian energi listrik oleh sebuah alat.

- **Persamaan Umum:**  $P = V \cdot I$
- **Dalam Hambatan:**  $P = I^2 \cdot R$  atau  $P = \frac{V^2}{R}$
- **Energi Listrik (W):** Daya dikalikan dengan waktu penggunaan ( $W = P \cdot t$ ). Satuan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah kWh (*kilowatt-hour*)



BAB 3

# KEMAGNETAN



## **BAB III KEMAGNETAN**

### **A. MEDAN MAGNET**

#### **1. Pengertian Medan Magnet**

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering menjumpai magnet, misalnya pada pintu kulkas, speaker, atau kompas. Magnet tersebut dapat menarik benda tertentu meskipun tidak bersentuhan langsung. Fenomena ini menunjukkan bahwa magnet memiliki pengaruh di sekitarnya. Daerah di sekitar magnet inilah yang disebut medan magnet.

Medan magnet adalah daerah di sekitar magnet atau penghantar berarus listrik yang masih dipengaruhi oleh gaya magnet. Medan magnet tidak dapat dilihat secara langsung, tetapi keberadaannya dapat dibuktikan melalui pengaruh gaya magnet terhadap benda lain.

Contoh sederhana adalah ketika serbuk besi ditaburkan di sekitar magnet batang. Serbuk besi akan tersusun mengikuti pola tertentu. Pola tersebut menunjukkan arah dan bentuk medan magnet.

#### **2. Garis-Garis Medan Magnet**

Untuk mempermudah pemahaman, medan magnet digambarkan menggunakan garis-garis medan magnet. Garis-garis ini bukan benda nyata, melainkan gambaran visual untuk menunjukkan arah dan kuat medan magnet.

Sifat-sifat garis medan magnet:

1. Arah garis medan magnet di luar magnet selalu dari kutub utara menuju kutub selatan.
2. Semakin rapat garis medan magnet, semakin kuat medan magnet tersebut.
3. Garis medan magnet tidak pernah saling berpotongan.
4. Garis medan magnet membentuk lintasan tertutup.

Pada magnet batang, garis medan paling rapat berada di sekitar kutub magnet. Hal ini menjelaskan mengapa gaya magnet paling kuat terdapat di kutub magnet.

### 3. Besaran Medan Magnet

Medan magnet dilambangkan dengan huruf B dan merupakan besaran vektor, sehingga memiliki besar dan arah. Satuan medan magnet dalam Sistem Internasional adalah Tesla (T).

Dalam beberapa kasus, medan magnet juga dapat dinyatakan dalam satuan Gauss, dengan hubungan:

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss} \quad (3.1)$$

Medan magnet dapat dihasilkan oleh:

- Magnet permanen
- Arus listrik
- Muatan listrik yang bergerak

### 4. Medan Magnet Bumi

Bumi dapat dianggap sebagai magnet raksasa yang memiliki kutub magnet utara dan selatan. Medan magnet bumi sangat penting bagi kehidupan karena berfungsi

melindungi bumi dari partikel bermuatan berenergi tinggi yang berasal dari matahari.

Jarum kompas bekerja berdasarkan prinsip medan magnet bumi. Jarum kompas akan selalu sejajar dengan garis medan magnet bumi sehingga dapat digunakan sebagai alat penunjuk arah.

## B. GAYA MAGNET

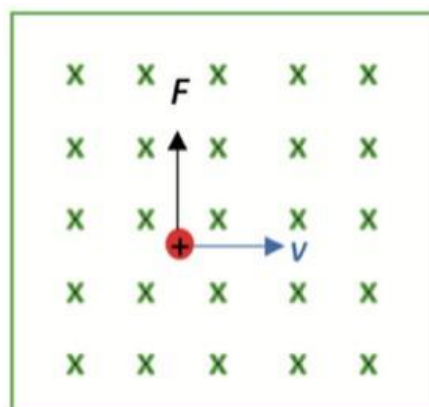
### 1. Pengertian Gaya Magnet

Gaya magnet adalah gaya yang ditimbulkan oleh medan magnet terhadap benda bermagnet, kawat berarus listrik, atau muatan listrik yang bergerak. Gaya magnet termasuk gaya non-kontak karena dapat bekerja tanpa sentuhan langsung.

Dalam fisika, gaya magnet sangat penting karena menjadi dasar kerja berbagai alat listrik dan elektronik, seperti motor listrik, generator, dan alat ukur listrik.

### 1. Gaya Magnet pada Muatan Bergerak

Jika sebuah muatan listrik bergerak dalam medan magnet, maka muatan tersebut akan mengalami gaya magnet yang disebut gaya Lorentz, lihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Arah Gaya Magnet Muatan Bergerak**

Sumber: Sarah/Kemendikbudristek (2022)

Besar gaya Lorentz dirumuskan sebagai:

$$F = qvB \sin \theta \quad (3.2)$$

Keterangan:

- $F$  = gaya magnet (N)
- $q$  = muatan listrik (C)
- $v$  = kecepatan muatan (m/s)
- $B$  = medan magnet (T)
- $\theta$  = sudut antara arah kecepatan dan medan magnet

Jika arah gerak muatan sejajar medan magnet, maka:

$$\theta = 0^\circ \Rightarrow F = 0$$

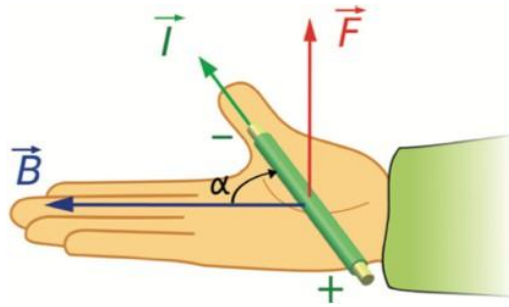
Artinya, muatan tidak mengalami gaya magnet.

### **1. Arah Gaya Lorentz**

Arah gaya Lorentz ditentukan menggunakan kaidah tangan kanan (Gambar 2.2), yaitu:

- Ibu jari menunjukkan arah kecepatan muatan positif
- Telunjuk menunjukkan arah medan magnet
- Jari tengah menunjukkan arah gaya magnet

Untuk muatan negatif, arah gaya magnet berlawanan.



**Gambar 3.2 Aturan Tangan Kanan**

Sumber : Jfmlero/Wikimedia Commons (2009)

### 1 .Gaya Magnet pada Kawat Berarus Listrik

Kawat penghantar yang dialiri arus listrik dan berada dalam medan magnet akan mengalami gaya magnet. Besar gaya magnet dirumuskan:

$$F = BIL \sin \theta \quad (3.3)$$

Keterangan:

- I = kuat arus listrik (A)
- L = panjang kawat (m)

Arah gaya magnet pada kawat dapat ditentukan menggunakan kaidah tangan kiri Fleming.

## C. MOTOR LISTRIK

### 1. Pengertian Motor Listrik

Motor listrik adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (energi gerak). Perubahan energi ini terjadi karena adanya interaksi antara arus listrik dan medan magnet yang menimbulkan gaya magnet.

Motor listrik merupakan salah satu penerapan langsung dari gaya Lorentz pada kawat berarus listrik. Tanpa prinsip kemagnetan, motor listrik tidak akan dapat bekerja. Oleh karena itu, pemahaman tentang motor listrik sangat penting dalam mempelajari fisika dan teknologi modern.

Dalam kehidupan sehari-hari, motor listrik dapat ditemukan pada berbagai peralatan, seperti kipas angin, mesin cuci, blender, pompa air, bor listrik, hingga kendaraan listrik.

## **2. Prinsip Kerja Motor Listrik**

Prinsip kerja motor listrik didasarkan pada fakta bahwa kawat yang dialiri arus listrik dan berada dalam medan magnet akan mengalami gaya magnet. Gaya inilah yang menyebabkan kawat atau kumparan bergerak atau berputar.

Perhatikan sebuah kumparan kawat yang diletakkan di antara dua kutub magnet dan dialiri arus listrik. Pada sisi kumparan yang dialiri arus dengan arah tertentu akan timbul gaya magnet ke satu arah, sedangkan sisi lainnya mengalami gaya magnet ke arah berlawanan. Kedua gaya ini membentuk pasangan gaya yang menyebabkan kumparan berputar.

Agar putaran terjadi secara terus-menerus, arah arus listrik dalam kumparan harus dibalik setiap setengah putaran. Proses pembalikan arus ini dilakukan oleh komutator.

## **3. Bagian-Bagian Motor Listrik Sederhana**

Motor listrik sederhana terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu:

- Magnet, berfungsi menghasilkan medan magnet. Magnet dapat berupa magnet permanen atau elektromagnet.
- Kumputaran (Rotor), merupakan kawat yang dililit dan dialiri arus listrik. Kumputaran inilah yang akan berputar akibat gaya magnet.
- Sumber Tegangan, menyediakan arus listrik yang mengalir dalam kumputaran.
- Komutator (Cincin Belah), berfungsi membalik arah arus listrik agar putaran motor berlangsung terus-menerus.
- Sikat (Brush), menghubungkan sumber tegangan dengan komutator.

Setiap bagian memiliki peranan penting. Jika salah satu bagian tidak bekerja dengan baik, motor listrik tidak dapat berfungsi secara optimal.

#### 4. Gaya Magnet pada Kumputaran Motor

Gaya magnet yang bekerja pada kumputaran motor dapat dianalisis menggunakan persamaan gaya Lorentz:

$$F = BIL \sin \theta \quad (3.4)$$

Pada motor listrik:

- Arus listrik mengalir tegak lurus medan magnet
- Sudut  $\theta = 90$
- Sehingga  $\sin \theta = 1$

Maka persamaan menjadi:

$$F = BIL \quad (3.5)$$

Semakin besar kuat arus listrik, medan magnet, dan panjang kawat, maka gaya magnet yang dihasilkan akan

semakin besar. Hal ini menyebabkan putaran motor menjadi lebih kuat.

## **D. MEDAN MAGNET INDUKSI**

### **1. Pengertian Medan Magnet Induksi**

Medan magnet induksi adalah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik. Berbeda dengan medan magnet yang berasal dari magnet permanen, medan magnet induksi muncul karena adanya muatan listrik yang bergerak.

Konsep ini pertama kali dikaji secara mendalam oleh Hans Christian Ørsted, yang menemukan bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet. Penemuan ini menjadi dasar berkembangnya ilmu elektromagnetisme.

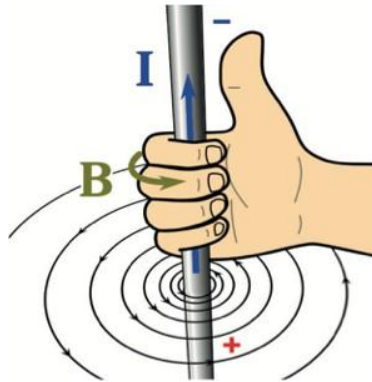
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa: Setiap penghantar yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet di sekitarnya.

### **2. Medan Magnet di Sekitar Kawat Lurus Berarus Listrik**

Jika sebuah kawat lurus dialiri arus listrik, maka di sekitar kawat tersebut akan timbul medan magnet berbentuk lingkaran-lingkaran konsentris.

Arah medan magnet dapat ditentukan menggunakan kaidah tangan kanan, yaitu:

- Ibu jari menunjukkan arah arus listrik
- Lengkungan empat jari menunjukkan arah medan magnet



**Gambar 3.3 Aturan Tangan Kanan Medan Magnet**  
 Sumber : Mike/Wikimedia Commons (2020)

### Besar Medan Magnet Kawat Lurus

Secara matematis, besar medan magnet di sekitar kawat lurus panjang dirumuskan sebagai:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (3.6)$$

Keterangan:

- B = medan magnet (T)
- $\mu_0$  = permeabilitas ( $4\pi \times 10^{-7} \text{mA}^{-1}$ )
- I = kuat arus listrik (A)
- r = jarak titik dari kawat (m)

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin besar arus listrik, semakin besar medan magnet
- Semakin jauh dari kawat, medan magnet semakin kecil

### 3. Medan Magnet pada Kawat Melingkar Berarus Listrik

Jika kawat dibentuk menjadi lingkaran dan dialiri arus listrik (Gambar 3.4), maka medan magnet yang dihasilkan

akan lebih kuat dibandingkan kawat lurus. Hal ini disebabkan oleh kontribusi medan magnet dari setiap bagian kawat yang saling memperkuat di pusat lingkaran.

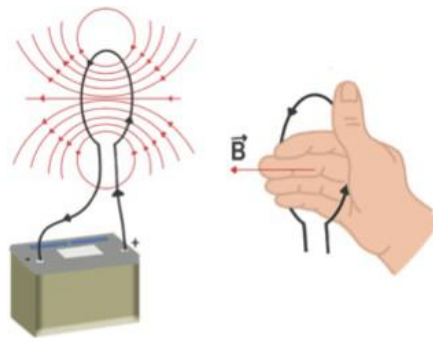
Besar medan magnet di pusat kawat melingkar dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (3.7)$$

Keterangan:

R = jari-jari lingkaran (m)

Medan magnet terbesar berada di pusat lingkaran dan arahnya tegak lurus bidang lingkaran.



**Gambar 3.4 Arah Medan Magnet Kawat Melingkar**

Sumber : Nanda/Kemendikburistek (2022)

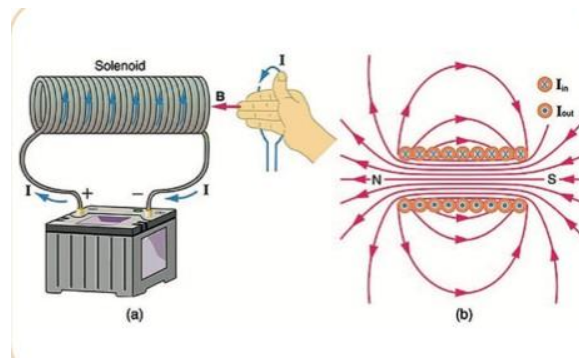
#### **4. Medan Magnet pada Solenoida**

Solenoida adalah kawat yang dililit membentuk kumparan panjang dan dialiri arus listrik. Medan magnet yang dihasilkan solenoida menyerupai medan magnet magnet batang, dapat dilihat dari gambar....

Ciri medan magnet solenoida:

- Medan magnet di dalam solenoida relatif seragam
- Medan magnet di luar solenoida jauh lebih lemah
- Memiliki kutub utara dan selatan

- Besar medan magnet di dalam solenoida dirumuskan:



**Gambar 3.5 Medan Magnet Pada Solenoida**  
 Sumber: OpenStax/Wikimedia Commons (2011)

Besar medan magnet di dalam solenoida dirumuskan:

$$B = \mu_0 n I \quad (3.8)$$

Keterangan:

$n$  = jumlah lilitan per satuan panjang (lilitan/m)

$$n = \frac{N}{l} \quad (3.9)$$

## E. GAYA GERAK LISTRIK (GGL) INDUKSI

### 1. Pengertian GGL Induksi

Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi adalah tegangan listrik yang timbul akibat perubahan medan magnet atau fluks magnet yang menembus suatu penghantar. GGL induksi tidak muncul karena baterai atau sumber tegangan, melainkan karena perubahan kondisi magnetik.

Fenomena GGL induksi pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday, yang menunjukkan bahwa listrik dan magnet saling berkaitan erat. Penemuan ini menjadi dasar perkembangan generator listrik, transformator, dan sistem pembangkit energi modern.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa: GGL induksi timbul jika dan hanya jika terjadi perubahan fluks magnet.

## 2. Percobaan Faraday

Faraday melakukan percobaan dengan menggerakkan magnet masuk dan keluar dari sebuah kumparan kawat yang dihubungkan dengan galvanometer.

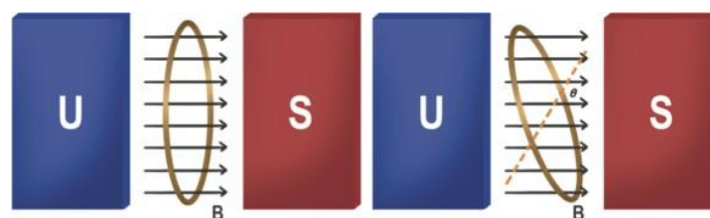
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa:

- Jarum galvanometer menyimpang saat magnet digerakkan
- Tidak ada arus listrik ketika magnet diam
- Arah simpangan berubah jika arah gerak magnet dibalik

Percobaan ini membuktikan bahwa arus listrik induksi hanya muncul ketika terjadi perubahan medan magnet, bukan karena keberadaan magnet semata.

## 3. Fluks Magnet

Untuk memahami GGL induksi, perlu diperkenalkan konsep fluks magnet. Fluks magnet ( $\Phi$ ) adalah ukuran banyaknya garis medan magnet yang menembus suatu bidang.



**Gambar 3.6 Fluks Magnet**

Sumber : Nanda/Kemendikburistek (2022)

Secara matematis dirumuskan:

$$\Phi = BA \cos \theta \quad (3.10)$$

Keterangan:

$\Phi$  = fluks magnet (Weber, Wb)

B = kuat medan magnet (T)

A = luas bidang ( $m^2$ )

$\theta$  = sudut antara medan magnet dan garis normal bidang

Fluks magnet akan berubah jika, medan magnet berubah, luas bidang berubah, serta sudut bidang terhadap medan magnet berubah.

#### **4. Hukum Faraday tentang Induksi Elektromagnetik**

Hukum Faraday menyatakan bahwa besar GGL induksi yang timbul dalam suatu rangkaian sebanding dengan laju perubahan fluks magnet yang melaluinya. Secara matematis dirumuskan:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (3.11)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = GGL induksi (V)

N = jumlah lilitan

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

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Tanda negatif menunjukkan arah GGL induksi yang akan dijelaskan oleh Hukum Lenz.

## **5. Hukum Lenz**

Hukum Lenz menyatakan bahwa arah arus induksi selalu sedemikian rupa sehingga menentang perubahan fluks magnet yang menyebabkannya. Makna fisika hukum Lenz sangat penting karena menunjukkan bahwa alam menentang perubahan energi secara tiba-tiba, sesuai dengan hukum kekekalan energi.

Contoh penerapan hukum Lenz:

- Magnet yang dijatuhkan ke dalam pipa logam akan jatuh lebih lambat
- Arus induksi menahan perubahan medan magnet

## **F. GENERATOR LISTRIK**

Generator listrik adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik.

Generator merupakan kebalikan dari motor listrik. Jika motor listrik mengubah energi listrik menjadi gerak, maka generator mengubah gerak menjadi energi listrik. Hampir seluruh energi listrik yang digunakan manusia saat ini dihasilkan melalui generator listrik.

Energi mekanik pada generator biasanya berasal dari:

- Turbin air (PLTA)
- Turbin uap (PLTU)
- Turbin angin (PLTB)
- Mesin diesel atau bensin (genset)

Prinsip kerja generator listrik didasarkan pada Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik. Ketika sebuah kumparan atau penghantar bergerak memotong garis-

garis medan magnet, maka akan terjadi perubahan fluks magnet yang menimbulkan GGL induksi.

Perubahan fluks magnet pada generator terjadi karena kumparan diputar di dalam medan magnet atau medan magnet diputar relatif terhadap kumparan.

Generator listrik sederhana terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- Magnet, berfungsi menghasilkan medan magnet. Magnet dapat berupa magnet permanen atau elektromagnet.
- Kumparan (Armature), berupa lilitan kawat penghantar tempat terjadinya GGL induksi.
- Poros (Shaft), berfungsi memutar kumparan.
- Cincin Geser atau Komutator, digunakan untuk menyalurkan arus listrik ke rangkaian luar.
- Sikat (Brush), menghubungkan kumparan dengan rangkaian luar.

Besar GGL induksi maksimum pada generator dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\varepsilon_{\text{maks}} = NBA\omega \quad (3.12)$$

Keterangan:

N = jumlah lilitan

B = medan magnet (T)

A = luas penampang kumparan ( $\text{m}^2$ )

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa GGL induksi akan semakin besar jika: jumlah lilitan diperbanyak, medan magnet diperkuat, dan kecepatan putar ditingkatkan.

## G. INDUKTANSI DAN TRANSFORMATOR

### 1. Induktansi

Induktansi adalah sifat suatu rangkaian listrik yang menimbulkan GGL induksi akibat perubahan arus listrik di dalam rangkaian itu sendiri. Fenomena ini terjadi karena arus listrik yang berubah akan menyebabkan perubahan medan magnet, sehingga menimbulkan GGL induksi.

Induktansi merupakan bentuk induksi diri, yaitu induksi yang terjadi pada penghantar akibat perubahan arus pada penghantar itu sendiri, bukan karena pengaruh luar. Sifat ini sangat penting dalam rangkaian listrik AC dan menjadi dasar kerja transformator, relay, serta berbagai komponen elektronika.

Ketika arus listrik dalam sebuah kumparan berubah, medan magnet di sekitar kumparan juga berubah. Perubahan medan magnet ini akan menimbulkan GGL induksi yang menentang perubahan arus tersebut. Fenomena ini disebut induksi diri dan sesuai dengan Hukum Lenz.

Contoh induksi diri:

- Percikan api saat saklar diputus
- Tegangan sesaat saat arus berubah
- Gangguan arus pada rangkaian listrik

Besar GGL induksi diri dirumuskan sebagai:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3.13)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = GGL induksi (V)

$L$  = induktansi (Henry, H)

$\Delta I$  = perubahan arus (A)

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Tanda negatif menunjukkan bahwa arah GGL induksi selalu menentang perubahan arus.

Besarnya induktansi suatu kumparan dipengaruhi oleh:

- Jumlah lilitan kumparan
- Luas penampang kumparan
- Panjang kumparan
- Jenis inti (udara, besi, ferit)

Kumparan dengan inti besi lunak memiliki induktansi lebih besar dibanding kumparan tanpa inti.

## 2. Transformator

Transformator (trafo) adalah alat listrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik arus bolak-balik (AC) dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator tidak dapat bekerja dengan arus searah (DC), karena memerlukan perubahan fluks magnet agar terjadi induksi. Transformator sangat penting dalam sistem distribusi listrik modern karena memungkinkan penyaluran listrik jarak jauh dengan efisien.

Transformator terdiri dari dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan dililitkan pada inti besi yang sama.

Prinsip kerjanya:

- Arus AC mengalir pada kumparan primer
- Medan magnet berubah di inti besi
- Perubahan medan magnet menembus kumparan sekunder

- Timbul GGL induksi pada kumparan sekunder

Perbandingan tegangan pada transformator dirumuskan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (3.14)$$

Perbandingan arus:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (3.15)$$

Keterangan:

$V_p, V_s$  = tegangan primer dan sekunder

$I_p, I_s$  = arus primer dan sekunder

$N_p, N_s$  = jumlah lilitan primer dan sekunder



BAB 4

# ARUS BOLAK BALIK

## **BAB IV**

### **ARUS BOLAK BALIK**

#### **A. PERSAMAAN ARUS BOLAK-BALIK**

##### **1. Pengertian Arus Bolak-Balik (AC)**

Arus bolak-balik atau arus AC (Alternating Current) adalah arus listrik yang besar dan arahnya berubah secara periodik terhadap waktu. Berbeda dengan arus searah (DC) yang mengalir satu arah dengan besar tetap, arus bolak-balik terus mengalami perubahan arah dan nilai.

Sumber utama arus bolak-balik adalah generator AC, yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Karena kemudahan dalam transmisi jarak jauh dan efisiensi energi, arus AC digunakan secara luas dalam sistem kelistrikan rumah tangga dan industri. Di Indonesia, listrik rumah tangga menggunakan arus bolak-balik dengan Frekuensi: 50 Hz dan Tegangan efektif: 220 V

##### **2. Bentuk Gelombang Arus Bolak-Balik**

Arus bolak-balik umumnya berbentuk gelombang sinus. Bentuk ini menunjukkan bahwa nilai arus berubah secara halus dan periodik dari nol, maksimum positif, nol, maksimum negative, lalu kembali nol. Secara matematis, arus bolak-balik dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t) \quad (4.1)$$

Kecepatan sudut berhubungan dengan frekuensi melalui persamaan:

$$\omega = 2\pi f \quad (4.2)$$

Keterangan:

$i(t)$  = kuat arus sesaat (A)

$I_m$  = kuat arus maksimum (A)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$t$  = waktu (s)

### 3. Tegangan Bolak-Balik

Selain arus, tegangan pada rangkaian AC juga berubah terhadap waktu dan dapat dituliskan sebagai:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (4.3)$$

Keterangan:

$v(t)$  = tegangan sesaat (V)

$V_m$  = tegangan maksimum (V)

### 4. Periode dan Frekuensi Arus AC

Periode (T) adalah waktu yang diperlukan arus untuk melakukan satu getaran penuh, sedangkan frekuensi (f) adalah banyaknya getaran tiap detik. Hubungan keduanya:

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.4)$$

Pada arus listrik PLN:

- Frekuensi 50 Hz berarti arus bergetar 50 kali per detik
- Periode arus sebesar 0,02 s

### 5. Nilai Maksimum, Rata-Rata, dan Efektif

- Nilai Maksimum, Nilai maksimum adalah nilai puncak arus atau tegangan.
- Nilai Rata-Rata, Untuk gelombang sinus penuh, nilai rata-rata arus AC adalah nol karena setengah

gelombang positif dan negatif saling meniadakan.

- Nilai Efektif, Nilai efektif adalah nilai arus AC yang menghasilkan efek panas yang sama dengan arus DC.

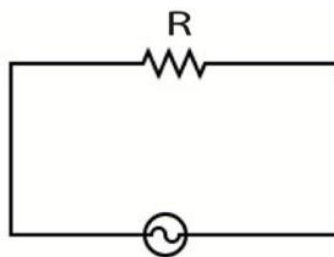
$$I_{\text{ef}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4.5)$$

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

## B. KARAKTERISTIK RANGKAIAN RLC

### 1. Resistor

Resistor adalah komponen yang menghambat arus listrik dan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Dalam rangkaian arus bolak-balik, resistor bersifat tidak menyimpan energi, melainkan hanya mendisipasikannya. Diagram resistor saat dihubungkan dengan tegangan bolak balik terlihat pada Gambar 4.1. Arus bolak balik mengalir pada resistor dengan fase sama dengan tegangannya.



**Gambar 4.1 Rangkaian Resistor**

Sumber : Sarah/Kemendikbudristek (2022)

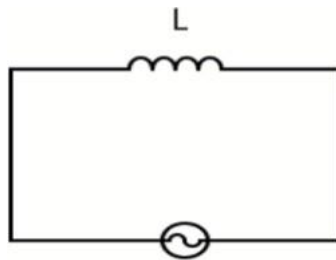
Hubungan antara tegangan dan arus pada resistor tetap mengikuti Hukum Ohm:

$$V = IR \quad (4.6)$$

Hukum ini berlaku baik untuk arus DC maupun AC, selama rangkaian hanya mengandung resistor.

## 2. Induktor

Induktor adalah komponen listrik yang tersusun dari lilitan kawat dan memiliki kemampuan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Dalam rangkaian arus bolak-balik, induktor tidak hanya menghambat arus, tetapi juga menyebabkan pergeseran fase antara arus dan tegangan.



**Gambar 4.2 Diagram Induktor**

Sumber : Sarah/Kemendikbudristek (2022)

Ketika arus bolak-balik mengalir melalui inductor, medan magnet di sekitar kumparan akan terus berubah. Perubahan medan magnet ini menimbulkan GGL induksi diri yang menentang perubahan arus, sesuai dengan Hukum Lenz.

Ketika induktor dihubungkan dengan tegangan bolak-balik yang menyebabkan arus padanya berubah secara sinusoidal, induktor akan memiliki reaktansi induktif dan dilambangkan dengan  $X_L$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (4.7)$$

Keterangan:

$X_L$  = reaktansi induktif ( $\Omega$ )

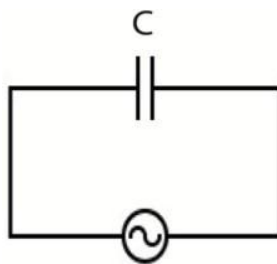
L = induktansi (H)  
f = frekuensi (Hz)

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin besar frekuensi, semakin besar reaktansi induktif
- Pada arus DC ( $f = 0$ ), induktor tidak menghambat arus

### 3. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen listrik yang terdiri dari dua keping konduktor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kapasitor berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Dalam rangkaian AC, kapasitor memiliki perilaku yang berbeda dibandingkan pada rangkaian DC karena muatan pada kapasitor terus berubah.



**Gambar 4.3 Diagram Kapasitor**

Sumber : Sarah/Kemendikbudristek (2022)

Hambatan pada kapasitor saat dihubungkan tegangan bolak balik dikenal dengan reaktansi kapasitif. Hubungan tegangan dan arus kapasitor dilambangkan dengan  $X_C$  dan dapat dinyatakan sebagai:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (4.8)$$

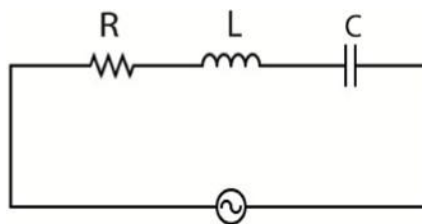
Keterangan:

$X_C$  = reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$C$  = kapasitansi (F)

#### 4. Rangkaian RLC

Rangkaian RLC adalah rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari resistor, induktor, dan kapasitor yang disusun seri atau paralel. Rangkaian ini banyak digunakan dalam sistem elektronik dan telekomunikasi.



**Gambar 4.4 Rangkaian RLS**

Sumber : Sarah/Kemendikbudristek (2022)

Rangkaian seri RLC memiliki besaran yang disebut impedansi, disimbolkan  $Z$ . Impedansi merupakan hambatan terhadap aliran arus yang merupakan perpaduan dari hambatan  $R$ , reaktansi induktif  $X_L$  dan reaktansi kapasitif  $X_C$ . Impedansi rangkaian RLC dapat dinyatakan sebagai:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4.9)$$

### C. RESONANSI RANGKAIAN

Radio merupakan salah satu hasil perkembangan teknologi yang bekerja berdasarkan prinsip resonansi pada rangkaian tuner untuk memilih frekuensi tertentu. Meskipun perannya mulai tergeser oleh kemajuan teknologi digital seperti video daring dan *podcast* (sinar daring), radio hingga kini masih tetap digunakan oleh masyarakat karena kemudahan akses dan jangkauan siarannya yang luas.

Resonansi adalah kondisi pada rangkaian RLC ketika reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif:

$$X_L = X_C \quad (4.10)$$

Pada kondisi ini:

- Impedansi minimum
- Arus maksimum
- Rangkaian bersifat resistif

Frekuensi resonansi dirumuskan:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.11)$$

Frekuensi ini sangat penting dalam aplikasi radio, televisi, dan komunikasi.



BAB 5

# GELOMBANG ELEKTRO MAGNETIK

## **BAB V**

### **GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

#### **A. PERAMBATAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri atas getaran medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan merambat bersama-sama. Tidak seperti gelombang mekanik yang memerlukan medium, gelombang elektromagnetik dapat merambat tanpa medium, bahkan di ruang hampa.

Konsep gelombang elektromagnetik dikemukakan oleh James Clerk Maxwell, yang menunjukkan bahwa perubahan medan listrik akan menimbulkan medan magnet, dan sebaliknya. Hubungan timbal balik inilah yang menyebabkan gelombang elektromagnetik dapat merambat.

Gelombang elektromagnetik memiliki beberapa sifat utama, antara lain:

- Dapat merambat tanpa medium
- Merambat dengan kecepatan tetap di ruang hampa
- Bersifat transversal
- Mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi
- Membawa energi dan momentum

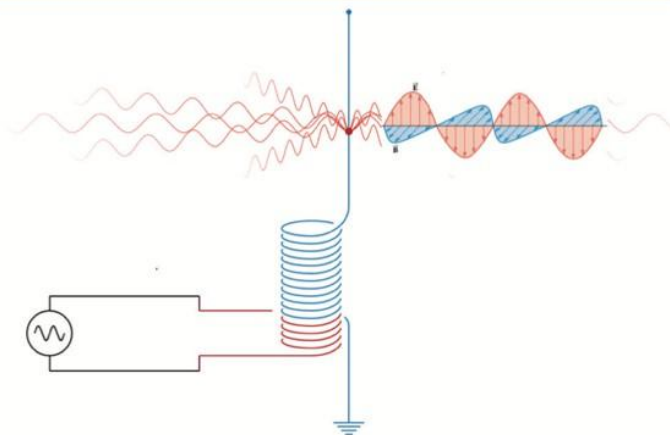
Kecepatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa dirumuskan sebagai:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Kecepatan ini merupakan kecepatan cahaya.

Pada gelombang elektromagnetik, medan listrik bergetar tegak lurus medan magnet dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Hubungan ini menyebabkan gelombang elektromagnetik bersifat transversal, berbeda dengan gelombang bunyi yang longitudinal.

Gambar 5.1, terlihat sebuah tiang konduktor pemancar yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik.



**Gambar 5.1 Perambatan GEM**  
Sumber: Cutnell/Physics (2012)

Ketika gelombang elektromagnetik merambat dalam medium (misalnya udara, air, atau kaca), kecepatannya lebih kecil dibandingkan di ruang hampa. Hal ini disebabkan oleh interaksi gelombang dengan partikel medium. Hubungan kecepatan gelombang dalam medium dinyatakan dengan indeks bias:

$$n = \frac{c}{v} \quad (5.1)$$

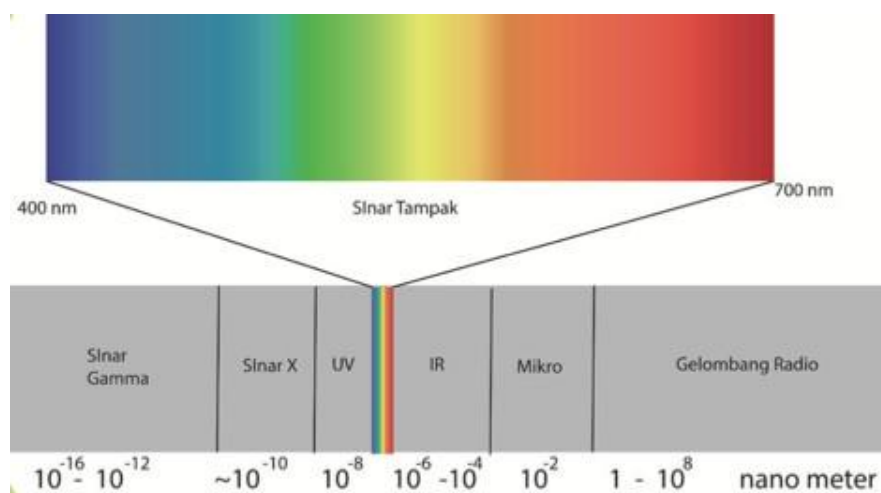
## **B. SPEKTRUM GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

Spektrum gelombang elektromagnetik adalah rentang keseluruhan gelombang elektromagnetik yang disusun

berdasarkan panjang gelombang atau frekuensinya. Meskipun semuanya memiliki sifat dasar yang sama, setiap jenis gelombang memiliki karakteristik dan pemanfaatan yang berbeda.

Spektrum ini tersusun dari gelombang dengan panjang gelombang sangat kecil hingga sangat besar dan semakin pendek panjang gelombangnya maka frekuensi dan energinya semakin besar. Urutan spektrum dari panjang gelombang terpendek ke terpanjang adalah:

- Sinar gamma
- Sinar-X
- Ultraviolet
- Cahaya tampak
- Inframerah
- Gelombang mikro
- Gelombang radio



**Gambar 5.2 Frekuensi Spektrum GEM**  
 Sumber : Sarah/Kemendikbudristek (2022)

Hubungan antara panjang gelombang ( $\lambda$ ), frekuensi ( $f$ ), dan kecepatan ( $c$ ) dirumuskan:

$$c = \lambda f \quad (5.2)$$

Karena kecepatan cahaya konstan di ruang hampa, maka panjang gelombang berbanding terbalik dengan frekuensi.

Cahaya tampak merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat mata. Cahaya tampak diemisikan oleh benda panas seperti matahari dan filamen lampu. Cahaya tampak mulai dari sinar merah dengan panjang gelombang terpanjang sampai sinar ungu dengan panjang gelombang terpendek. Panjang gelombangnya antara 400 nm sampai 750 nm. Sinar merah, ungu dan cahaya tampak lainnya dikenal dengan cahaya monokromatik, yaitu cahaya yang hanya memiliki satu warna atau satu panjang gelombang.

### **C. ENERGI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

Gelombang elektromagnetik membawa energi yang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Energi ini bergantung pada frekuensi gelombang. Menurut teori kuantum yang dikemukakan oleh Max Planck, energi gelombang elektromagnetik dinyatakan dengan:

$$E = hf \quad (5.3)$$

Keterangan:

E = energi satu kuantum gelombang (joule)

h = konstanta Planck  $6,63 \times 10^{-34}$  J

f = frekuensi gelombang (Hz)

Intensitas adalah energi gelombang yang merambat tiap satuan luas tiap satuan waktu. Intensitas menentukan seberapa besar pengaruh gelombang terhadap suatu

benda. Semakin besar amplitudo gelombang, semakin besar intensitasnya. Energi gelombang elektromagnetik dapat:

- Memanaskan benda (inframerah, gelombang mikro)
- Menghasilkan reaksi kimia (ultraviolet)
- Menembus jaringan tubuh (sinar-X, gamma)

Karena itu, penggunaan gelombang elektromagnetik harus disesuaikan dengan sifat dan tingkat energinya.

#### **D. PENERAPAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

Gelombang elektromagnetik dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang kehidupan, mulai dari kesehatan, komunikasi, industri, transportasi, hingga teknologi informasi. Setiap jenis gelombang memiliki karakteristik berbeda sehingga pemanfaatannya juga berbeda-beda. Pemanfaatan gelombang elektromagnetik harus disesuaikan dengan energi dan panjang gelombangnya, karena semakin besar energi gelombang, semakin besar pula dampaknya terhadap materi dan makhluk hidup.

##### **1. Sinar Gamma dan Sinar – X**

Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi paling tinggi dan energi paling besar. Sinar ini berasal dari proses inti atom, seperti peluruhan radioaktif.

Pemanfaatan sinar gamma:

- Radioterapi kanker, untuk membunuh sel kanker
- Sterilisasi alat medis, karena mampu membunuh mikroorganisme
- Industri nuklir, untuk penelitian dan pengujian material

Dampak negatif:

- Dapat merusak sel hidup
- Menyebabkan mutasi gen
- Sangat berbahaya jika tidak dikendalikan

Sinar-X memiliki energi tinggi, tetapi lebih rendah dibandingkan sinar gamma. Sinar-X mampu menembus jaringan lunak, tetapi terhalang oleh jaringan keras seperti tulang.

Pemanfaatan sinar-X:

- Rontgen medis, untuk melihat tulang dan organ dalam
- Keamanan bandara, untuk memeriksa isi bagasi
- Industri, mendeteksi cacat pada logam

Dampak negatif:

- Paparan berlebih dapat merusak jaringan tubuh
- Dapat menyebabkan kanker jika sering terpapar

## **2. Sinar Ultraviolet (UV)**

Sinar ultraviolet memiliki energi lebih besar daripada cahaya tampak dan berada di bawah sinar-X dalam spektrum elektromagnetik.

Pemanfaatan sinar ultraviolet:

- Pembentukan vitamin D pada kulit manusia
- Sterilisasi air dan alat medis
- Deteksi uang palsu
- Industri farmasi dan kosmetik

Dampak negatif:

- Kulit terbakar (*sunburn*)
- Penuaan dini
- Risiko kanker kulit jika terpapar berlebihan

### **3. Cahaya Tampak**

Cahaya tampak adalah gelombang elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata manusia dan sangat penting dalam kehidupan sehari-hari.

Pemanfaatan cahaya tampak:

- Penerangan (lampu, matahari)
- Penglihatan manusia
- Fotosintesis pada tumbuhan
- Fotografi dan kamera
- Serat optik (dalam bentuk cahaya laser)

Cahaya tampak relatif aman bagi manusia selama intensitasnya tidak terlalu besar.

### **4. Inframerah**

Gelombang inframerah memiliki panjang gelombang lebih besar dari cahaya tampak dan sering dikaitkan dengan panas.

Pemanfaatan inframerah:

- Remote kontrol televisi
- Kamera termal
- Pemanas inframerah
- Sensor suhu
- Terapi kesehatan

Dampak negative:

- Paparan intensitas tinggi dapat menyebabkan luka bakar
- Kerusakan mata jika terkena langsung

### **5. Gelombang Mikro**

Gelombang mikro merupakan salah satu bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai teknologi modern.

Gelombang ini memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan gelombang radio, namun lebih rendah dibandingkan inframerah, yaitu berada pada kisaran ratusan megahertz hingga beberapa gigahertz.

Pemanfaatan gelombang mikro:

- Radar
- Komunikasi satelit
- Jaringan Wi-Fi
- Sistem navigasi
- 


## **6. Gelombang Mikro**

Gelombang radio merupakan jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang paling besar dan frekuensi paling rendah, sehingga energi yang dibawanya juga paling kecil dibandingkan jenis gelombang elektromagnetik lainnya. Karena energinya yang relatif kecil, gelombang radio umumnya tidak menimbulkan efek ionisasi dan dianggap aman bagi manusia dalam penggunaan sehari-hari. Karakteristik ini menjadikan gelombang radio sangat sesuai untuk keperluan komunikasi jarak jauh.

Dalam kehidupan modern, gelombang radio dimanfaatkan secara luas sebagai media transmisi informasi. Salah satu pemanfaatan utamanya adalah pada siaran radio dan televisi, di mana informasi berupa suara dan gambar diubah menjadi sinyal gelombang radio, kemudian dipancarkan melalui antena pemancar dan diterima kembali oleh pesawat penerima. Selain itu, gelombang radio juga digunakan dalam sistem komunikasi seluler, yang memungkinkan manusia berkomunikasi tanpa kabel meskipun berada pada jarak yang sangat jauh.

Gelombang radio juga berperan penting dalam komunikasi transportasi, khususnya pada kapal laut dan pesawat udara. Melalui gelombang radio, awak kapal dan pilot dapat berkomunikasi dengan menara pengawas untuk memastikan keselamatan dan kelancaran perjalanan. Di bidang navigasi, gelombang radio digunakan untuk menentukan posisi dan arah gerak suatu kendaraan, baik di darat, laut, maupun udara. Selain itu, gelombang radio juga dimanfaatkan oleh radio amatir sebagai sarana komunikasi dan eksperimen dalam bidang elektronika dan telekomunikasi.

Dengan berbagai pemanfaatan tersebut, gelombang radio memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung aktivitas manusia di bidang komunikasi dan transportasi. Energinya yang kecil membuat gelombang ini relatif aman, selama penggunaannya tetap berada dalam batas yang telah ditetapkan.



DITERBITKAN OLEH  
NATURAL ACEH

LEMBAGA RISET, PELATIHAN DAN PUBLIKASI PUBLIK  
JL. TGK ADEE II NO.8, ULEE KARENG, BANDA ACEH  
EMAIL : [BOOK@NATURALACEH.ORG](mailto:BOOK@NATURALACEH.ORG)