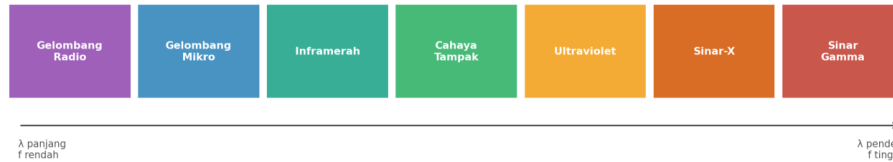


MODUL PEMBELAJARAN

MATA KULIAH FISIKA II

Kelistrikan, Kemagnetan, dan Gelombang Elektromagnetik

Spektrum Gelombang Elektromagnetik



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Kode Mata Kuliah: MKKP0604 | Bobot: 3 SKS | Semester: II

Disusun Oleh : Dian Erlita, M.Pd, Ajunda, M.T, Muhibul Jamal, MT dan Yasir Pohan, MT

KATA PENGANTAR

Modul Fisika II ini disusun sebagai bahan ajar pendukung mata kuliah Fisika Dasar II yang membahas konsep kelistrikan, kemagnetan, dan gelombang elektromagnetik — pondasi penting bagi mahasiswa Teknik Elektro sebelum mempelajari mata kuliah lanjutan seperti Rangkaian Listrik, Medan Elektromagnetik, dan Teknik Tenaga Listrik.

Materi disusun secara bertahap mulai dari konsep muatan dan medan listrik, hukum Gauss, potensial listrik, kapasitor, arus listrik dan rangkaian DC, medan magnet dan gaya magnetik, induksi elektromagnetik, hingga gelombang elektromagnetik. Setiap bab dilengkapi ilustrasi, rumus dasar, contoh penerapan, serta soal latihan untuk memperkuat pemahaman konsep secara konseptual maupun kuantitatif.

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Deskripsi dan Kedudukan Mata Kuliah
- 1.2 Capaian Pembelajaran
- 1.3 Besaran dan Satuan dalam Kelistrikan

BAB II MUATAN LISTRIK DAN MEDAN LISTRIK

- 2.1 Muatan Listrik dan Hukum Coulomb
- 2.2 Medan Listrik
- 2.3 Garis Medan Listrik

BAB III HUKUM GAUSS DAN POTENSIAL LISTRIK

- 3.1 Fluks Listrik dan Hukum Gauss
- 3.2 Penerapan Hukum Gauss
- 3.3 Potensial dan Energi Potensial Listrik

BAB IV KAPASITOR DAN DIELEKTRIK

- 4.1 Kapasitansi dan Kapasitor Pelat Sejajar
- 4.2 Rangkaian Kapasitor Seri dan Paralel
- 4.3 Bahan Dielektrik

BAB V ARUS LISTRIK DAN RANGKAIAN DC

- 5.1 Arus Listrik dan Hukum Ohm
- 5.2 Rangkaian Resistor Seri dan Paralel
- 5.3 Hukum Kirchhoff

BAB VI MEDAN MAGNET DAN GAYA MAGNETIK

- 6.1 Medan Magnet dan Gaya Lorentz
- 6.2 Gaya Magnetik pada Kawat Berarus
- 6.3 Medan Magnet oleh Arus Listrik (Hukum Biot-Savart dan Ampere)

BAB VII INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

7.1 Hukum Faraday

7.2 Hukum Lenz

7.3 Penerapan Induksi Elektromagnetik

BAB VIII GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

8.1 Persamaan Maxwell (Tinjauan Konseptual)

8.2 Sifat Gelombang Elektromagnetik

8.3 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

BAB IX RANGKUMAN DAN SOAL LATIHAN

DAFTAR PUSTAKA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Deskripsi dan Kedudukan Mata Kuliah

Fisika II merupakan kelanjutan dari Fisika I (mekanika) yang membahas konsep dasar kelistrikan, kemagnetan, dan gelombang elektromagnetik. Mata kuliah ini menjadi fondasi konseptual bagi mahasiswa Teknik Elektro dalam memahami fenomena fisis di balik prinsip kerja rangkaian listrik, mesin listrik, dan sistem telekomunikasi yang dipelajari pada mata kuliah-mata kuliah lanjutan.

1.2 Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan konsep muatan listrik, medan listrik, dan menerapkan hukum Coulomb serta hukum Gauss.
2. Menghitung potensial listrik, kapasitansi, dan energi yang tersimpan pada kapasitor.
3. Menganalisis rangkaian arus searah (DC) sederhana menggunakan hukum Ohm dan hukum Kirchhoff.
4. Menjelaskan konsep medan magnet, gaya magnetik, dan menerapkan hukum Biot-Savart serta hukum Ampere.
5. Menjelaskan fenomena induksi elektromagnetik berdasarkan hukum Faraday dan hukum Lenz.
6. Menjelaskan konsep dasar gelombang elektromagnetik dan spektrumnya.

1.3 Besaran dan Satuan dalam Kelistrikan

Sebelum mempelajari konsep-konsep inti, penting untuk memahami besaran dan satuan dasar yang digunakan dalam kelistrikan dan kemagnetan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.1.

Besaran	Simbol	Satuan (SI)
Muatan listrik	q, Q	coulomb (C)

Besaran	Simbol	Satuan (SI)
Medan listrik	E	N/C atau V/m
Potensial listrik	V	volt (V)
Kapasitansi	C	farad (F)
Arus listrik	I	ampere (A)
Resistansi	R	ohm (Ω)
Medan magnet	B	tesla (T)
Fluks magnet	ΦB	weber (Wb)

Catatan

- Konstanta permitivitas ruang hampa: $\epsilon_0 \approx 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$
- Konstanta permeabilitas ruang hampa: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$
- Konstanta Coulomb: $k = 1/(4\pi\epsilon_0) \approx 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

BAB II MUATAN LISTRIK DAN MEDAN LISTRIK

2.1 Muatan Listrik dan Hukum Coulomb

Muatan listrik adalah sifat dasar partikel yang menyebabkan timbulnya gaya listrik. Terdapat dua jenis muatan, yaitu muatan positif dan muatan negatif; muatan sejenis saling tolak-menolak, sedangkan muatan berlainan jenis saling tarik-menarik. Besarnya gaya interaksi antara dua muatan titik dinyatakan oleh Hukum Coulomb:

$$F = k \cdot |q_1 \cdot q_2| / r^2 \quad \text{dengan } k = 1/(4\pi\epsilon_0)$$

dengan F adalah gaya Coulomb (N), q_1 dan q_2 muatan-muatan yang berinteraksi (C), dan r jarak antar-muatan (m). Gaya Coulomb bekerja sepanjang garis penghubung kedua muatan dan mengikuti hukum aksi-reaksi Newton.

2.2 Medan Listrik

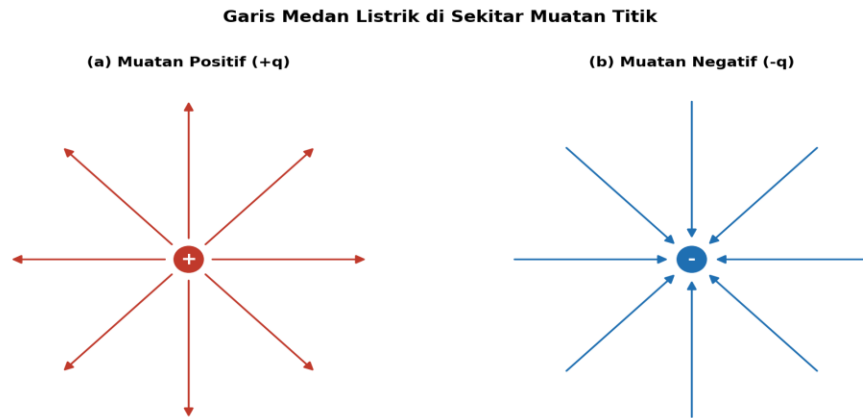
Medan listrik (E) pada suatu titik didefinisikan sebagai gaya listrik per satuan muatan uji positif yang diletakkan pada titik tersebut:

$$E = F/q_0 \quad \text{atau untuk muatan titik:} \quad E = k \cdot q / r^2$$

Medan listrik merupakan besaran vektor, sehingga medan listrik total akibat beberapa muatan diperoleh melalui penjumlahan vektor (prinsip superposisi) dari medan listrik masing-masing muatan.

2.3 Garis Medan Listrik

Untuk memvisualisasikan medan listrik, digunakan garis medan listrik yang arahnya menunjukkan arah medan listrik pada suatu titik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1. Garis medan listrik keluar dari muatan positif dan masuk menuju muatan negatif; kerapatan garis menunjukkan besar medan listrik pada suatu daerah.

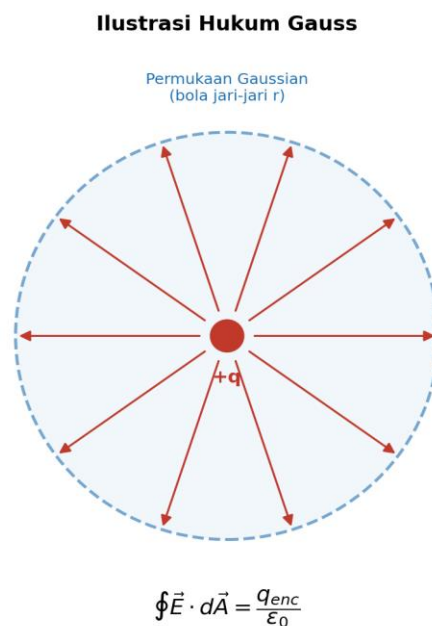


Gambar 2.1 Garis medan listrik di sekitar muatan titik positif dan negatif

BAB III HUKUM GAUSS DAN POTENSIAL LISTRIK

3.1 Fluks Listrik dan Hukum Gauss

Fluks listrik (Φ_E) menyatakan jumlah garis medan listrik yang menembus suatu permukaan. Hukum Gauss menyatakan bahwa fluks listrik total yang menembus suatu permukaan tertutup (permukaan Gaussian) sebanding dengan muatan total yang terlingkupi permukaan tersebut, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Permukaan Gaussian berbentuk bola di sekitar muatan titik $+q$

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{enc} / \epsilon_0$$

3.2 Penerapan Hukum Gauss

Hukum Gauss sangat berguna untuk menghitung medan listrik pada konfigurasi muatan yang memiliki simetri tinggi, seperti muatan titik, muatan garis lurus tak hingga, muatan bidang tak hingga, dan bola konduktor bermuatan, tanpa perlu melakukan integrasi vektor secara langsung seperti pada hukum Coulomb.

3.3 Potensial dan Energi Potensial Listrik

Potensial listrik (V) pada suatu titik menyatakan energi potensial listrik per satuan muatan uji positif, dan berkaitan dengan medan listrik melalui hubungan:

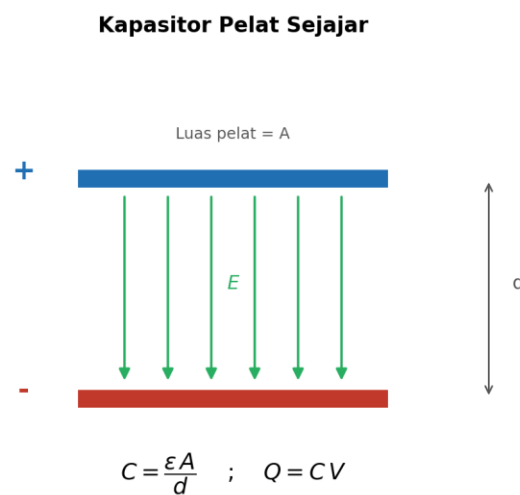
$$V = k \cdot q / r \quad \text{dan} \quad E = -dV/dr$$

Beda potensial antara dua titik (tegangan) menyatakan usaha yang diperlukan untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari satu titik ke titik lainnya melawan medan listrik, dan menjadi besaran fundamental dalam analisis rangkaian listrik.

BAB IV KAPASITOR DAN DIELEKTRIK

4.1 Kapasitansi dan Kapasitor Pelat Sejajar

Kapasitor adalah komponen yang berfungsi menyimpan muatan dan energi listrik dalam bentuk medan listrik di antara dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan isolator (dielektrik). Kapasitansi (C) menyatakan kemampuan kapasitor menyimpan muatan per satuan beda potensial, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Konstruksi dan medan listrik pada kapasitor pelat sejajar

$$C = Q/V \quad ; \quad C = \epsilon \cdot A/d \quad (\text{kapasitor pelat sejajar})$$

dengan A adalah luas penampang pelat, d jarak antar-pelat, dan ϵ permitivitas bahan dielektrik di antara pelat.

4.2 Rangkaian Kapasitor Seri dan Paralel

Konfigurasi	Kapasitansi Total	Karakteristik
Seri	$1/C_{\text{total}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots$	Muatan pada tiap kapasitor sama; tegangan terbagi

Konfigurasi	Kapasitansi Total	Karakteristik
Paralel	$C_{\text{total}} = C_1 + C_2 + \dots$	Tegangan pada tiap kapasitor sama; muatan terbagi

4.3 Bahan Dielektrik

Penyisipan bahan dielektrik di antara pelat kapasitor akan meningkatkan kapasitansi sebesar faktor konstanta dielektrik (κ) bahan tersebut, karena bahan dielektrik terpolarisasi dan melemahkan medan listrik efektif di antara pelat, sehingga kapasitor mampu menyimpan muatan lebih banyak pada tegangan yang sama. Energi yang tersimpan pada kapasitor dinyatakan sebagai:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V = Q^2 / (2C)$$

BAB V ARUS LISTRIK DAN RANGKAIAN DC

5.1 Arus Listrik dan Hukum Ohm

Arus listrik (I) didefinisikan sebagai laju aliran muatan listrik melalui suatu penampang konduktor per satuan waktu:

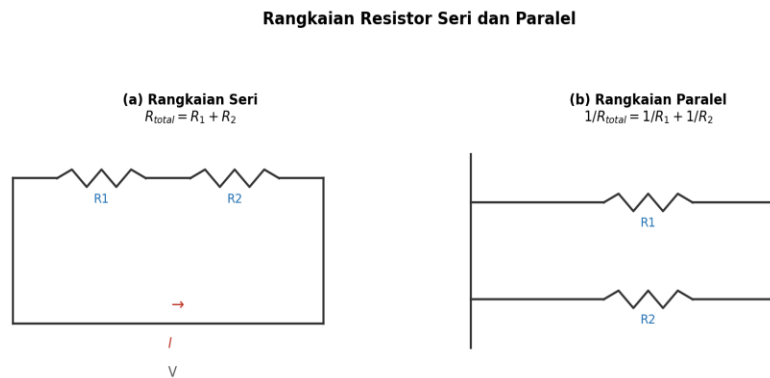
$$I = dQ/dt \quad (\text{satuan: ampere, } A)$$

Hukum Ohm menyatakan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan resistansi (R) pada suatu konduktor:

$$V = I \cdot R$$

5.2 Rangkaian Resistor Seri dan Paralel

Dua atau lebih resistor dapat disusun secara seri maupun paralel, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.1, masing-masing dengan karakteristik resistansi ekivalen yang berbeda.



Gambar 5.1 Rangkaian resistor (a) seri dan (b) paralel

Konfigurasi	Resistansi Total	Karakteristik
Seri	$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + \dots$	Arus pada tiap resistor sama; tegangan terbagi

Konfigurasi	Resistansi Total	Karakteristik
Paralel	$1/R_{\text{total}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$	Tegangan pada tiap resistor sama; arus terbagi

5.3 Hukum Kirchhoff

Analisis rangkaian yang lebih kompleks (tidak murni seri atau paralel) memerlukan dua hukum Kirchhoff:

- Hukum Arus Kirchhoff (KCL): jumlah arus yang masuk ke suatu titik cabang (node) sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut.
- Hukum Tegangan Kirchhoff (KVL): jumlah aljabar seluruh tegangan pada suatu loop tertutup sama dengan nol.

BAB VI MEDAN MAGNET DAN GAYA MAGNETIK

6.1 Medan Magnet dan Gaya Lorentz

Medan magnet (B) adalah besaran vektor yang menggambarkan pengaruh magnetik di suatu titik dalam ruang. Muatan listrik yang bergerak dalam medan magnet mengalami gaya magnetik, yang bersama gaya listrik membentuk gaya Lorentz total:

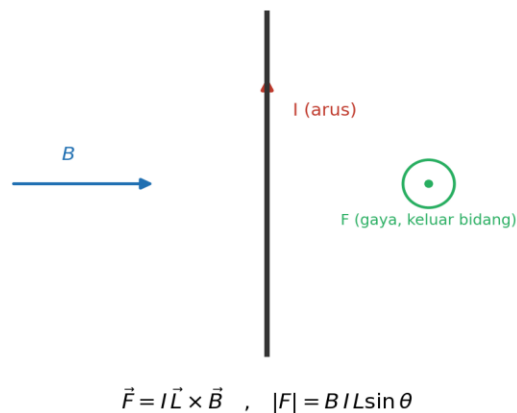
$$F = q \cdot E + q \cdot v \times B \quad (\text{gaya magnetik: } F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta)$$

Arah gaya magnetik pada muatan bergerak ditentukan menggunakan kaidah tangan kanan, tegak lurus terhadap kecepatan muatan (v) dan medan magnet (B).

6.2 Gaya Magnetik pada Kawat Berarus

Kawat berarus listrik yang berada dalam medan magnet akan mengalami gaya magnetik, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 6.1, karena arus listrik pada dasarnya merupakan aliran muatan bergerak.

Gaya Magnetik pada Kawat Berarus Listrik



Gambar 6.1 Gaya magnetik pada kawat berarus listrik dalam medan magnet

$$F = I \cdot L \times B \quad (|F| = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \theta)$$

Prinsip inilah yang mendasari cara kerja motor listrik, di mana gaya magnetik pada kumparan berarus dalam medan magnet menghasilkan torsi yang memutar rotor motor.

6.3 Medan Magnet oleh Arus Listrik

Arus listrik yang mengalir pada suatu konduktor juga menghasilkan medan magnet di sekitarnya, sesuai Hukum Biot-Savart. Untuk kawat lurus panjang tak hingga, besar medan magnet pada jarak r dari kawat dinyatakan sebagai:

$$B = \mu_0 I / (2\pi r)$$

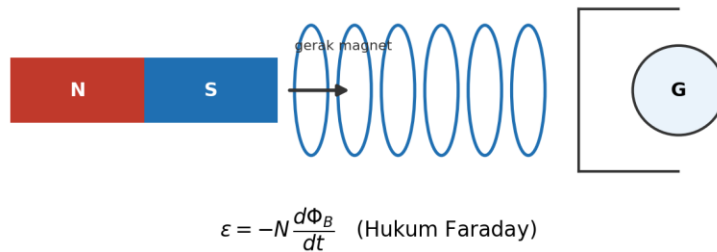
Hukum Ampere memberikan cara alternatif menghitung medan magnet pada konfigurasi arus yang memiliki simetri tinggi, analog dengan peran hukum Gauss dalam elektrostatika.

BAB VII INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

7.1 Hukum Faraday

Induksi elektromagnetik adalah fenomena timbulnya ggl (gaya gerak listrik) induksi pada suatu rangkaian akibat perubahan fluks magnet yang melingkupinya, misalnya ketika magnet digerakkan mendekati atau menjauhi kumparan, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 7.1. Hukum Faraday menyatakan hubungan ini secara kuantitatif:

Induksi Elektromagnetik: Magnet Bergerak Mendekati Kumparan



Gambar 7.1 Induksi ggl akibat perubahan fluks magnet pada kumparan

$$\epsilon = -N \cdot d\Phi_B/dt$$

dengan ϵ adalah ggl induksi (volt), N jumlah lilitan kumparan, dan $d\Phi_B/dt$ laju perubahan fluks magnet terhadap waktu. Semakin cepat perubahan fluks magnet, semakin besar ggl induksi yang dihasilkan.

7.2 Hukum Lenz

Hukum Lenz menjelaskan arah arus induksi yang timbul, yaitu arus induksi akan mengalir dalam arah sedemikian rupa sehingga medan magnet yang ditimbulkannya melawan perubahan fluks magnet yang menyebabkannya (dinyatakan oleh tanda negatif pada persamaan Faraday). Hukum ini merupakan konsekuensi dari hukum kekekalan energi.

7.3 Penerapan Induksi Elektromagnetik

Prinsip induksi elektromagnetik menjadi dasar kerja berbagai peralatan listrik penting, di antaranya:

- Generator listrik: mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui perputaran kumparan dalam medan magnet.
- Transformator: memanfaatkan induksi elektromagnetik antara dua kumparan untuk mengubah level tegangan AC.
- Motor induksi: memanfaatkan medan magnet putar untuk menghasilkan arus induksi pada rotor, menghasilkan torsi putar.

BAB VIII GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

8.1 Persamaan Maxwell (Tinjauan Konseptual)

James Clerk Maxwell merumuskan empat persamaan yang menyatukan teori kelistrikan dan kemagnetan, dikenal sebagai Persamaan Maxwell, yang menunjukkan bahwa medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu dapat saling membangkitkan satu sama lain, menghasilkan gelombang elektromagnetik yang merambat bahkan tanpa medium (ruang hampa).

8.2 Sifat Gelombang Elektromagnetik

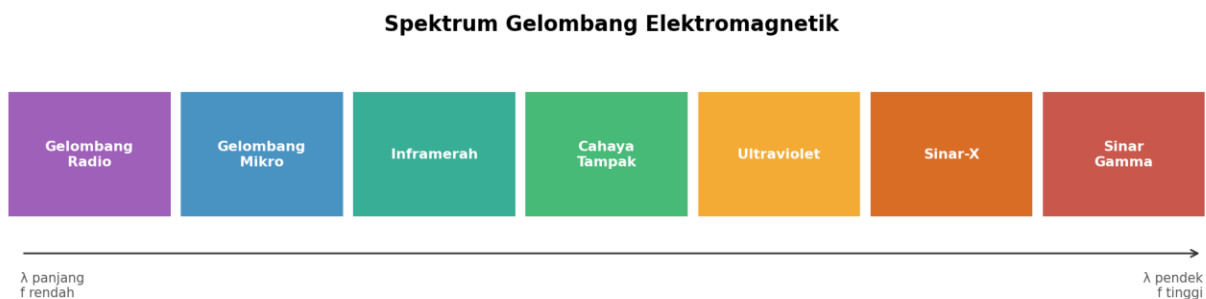
Gelombang elektromagnetik memiliki beberapa sifat khas, di antaranya merupakan gelombang transversal dengan medan listrik (E) dan medan magnet (B) yang saling tegak lurus dan tegak lurus terhadap arah rambat gelombang, serta merambat dengan kecepatan cahaya (c) di ruang hampa:

$$c = 1/\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad ; \quad c = \lambda \cdot f$$

dengan λ adalah panjang gelombang dan f adalah frekuensi gelombang elektromagnetik.

8.3 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik memiliki rentang frekuensi dan panjang gelombang yang sangat luas, dikelompokkan menjadi spektrum elektromagnetik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.1, mulai dari gelombang radio (frekuensi rendah, panjang gelombang panjang) hingga sinar gamma (frekuensi tinggi, panjang gelombang pendek).



Gambar 8.1 Spektrum gelombang elektromagnetik

Setiap pita frekuensi memiliki pemanfaatan yang berbeda, misalnya gelombang radio dan mikro untuk telekomunikasi, inframerah untuk remote control dan sensor panas, cahaya tampak untuk penglihatan manusia, ultraviolet dan sinar-X untuk keperluan medis, serta sinar gamma pada aplikasi nuklir dan medis tertentu.

BAB IX RANGKUMAN DAN SOAL LATIHAN

9.1 Rangkuman

- Hukum Coulomb dan konsep medan listrik menjadi dasar analisis interaksi antar-muatan listrik, sedangkan hukum Gauss memudahkan perhitungan medan listrik pada konfigurasi muatan bersimetri tinggi.
- Kapasitor menyimpan energi listrik dalam bentuk medan listrik, dengan kapasitansi bergantung pada geometri dan bahan dielektrik yang digunakan.
- Arus listrik dan rangkaian DC dianalisis menggunakan hukum Ohm serta hukum Kirchhoff (KCL dan KVL) untuk rangkaian yang lebih kompleks.
- Medan magnet menimbulkan gaya pada muatan bergerak dan kawat berarus (gaya Lorentz), sekaligus dapat dihasilkan oleh arus listrik itu sendiri (hukum Biot-Savart dan Ampere).
- Induksi elektromagnetik (hukum Faraday dan Lenz) menjelaskan timbulnya ggl akibat perubahan fluks magnet, menjadi dasar kerja generator, transformator, dan motor listrik.
- Gelombang elektromagnetik merupakan perambatan medan listrik dan medan magnet yang saling membangkitkan, dengan spektrum yang sangat luas dan beragam pemanfaatan.

9.2 Soal Latihan

1. Dua muatan titik masing-masing $+2 \mu\text{C}$ dan $-3 \mu\text{C}$ terpisah sejauh $0,3 \text{ m}$. Hitung besar gaya Coulomb yang bekerja antara kedua muatan tersebut.
2. Sebuah kapasitor pelat sejajar memiliki luas pelat $0,02 \text{ m}^2$, jarak antar-pelat 1 mm , dan diisi udara ($\epsilon \approx \epsilon_0$). Hitung kapasitansinya.
3. Tiga buah resistor 4Ω , 6Ω , dan 12Ω disusun paralel. Hitung resistansi total (ekivalen) rangkaian tersebut.

4. Sebuah kawat lurus dialiri arus 5 A berada dalam medan magnet 0,2 T yang tegak lurus terhadap kawat. Jika panjang kawat 0,5 m, hitung besar gaya magnetik yang dialami kawat.
5. Sebuah kumparan 100 lilitan mengalami perubahan fluks magnet dari 0,002 Wb menjadi 0,008 Wb dalam waktu 0,3 sekon. Hitung ggl induksi rata-rata yang timbul pada kumparan.
6. Jelaskan mengapa gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa, berbeda dengan gelombang mekanik seperti gelombang bunyi.

DAFTAR PUSTAKA

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). Fundamentals of Physics (11th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (10th ed.). Boston: Cengage Learning.

Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (2016). University Physics with Modern Physics (14th ed., I. A. Freedman, Trans.). Boston: Pearson.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). Physics for Scientists and Engineers (6th ed.). New York: W. H. Freeman.

Giancoli, D. C. (2014). Physics: Principles with Applications (7th ed.). Boston: Pearson.

Halliday, D., & Resnick, R. (2015). Fisika Dasar Jilid 2 (Terjemahan, Edisi 7). Jakarta: Erlangga.

Soedjojo, P. (2004). Fisika Dasar. Yogyakarta: Andi Offset.

Catatan: Mahasiswa dianjurkan mengerjakan soal latihan tambahan pada buku ajar yang dirujuk serta melakukan praktikum di laboratorium Fisika Dasar untuk memperkuat pemahaman konseptual pada topik kelistrikan dan kemagnetan.