



Kelas XII
FISIKA

Radiasi Elektromagnetik

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

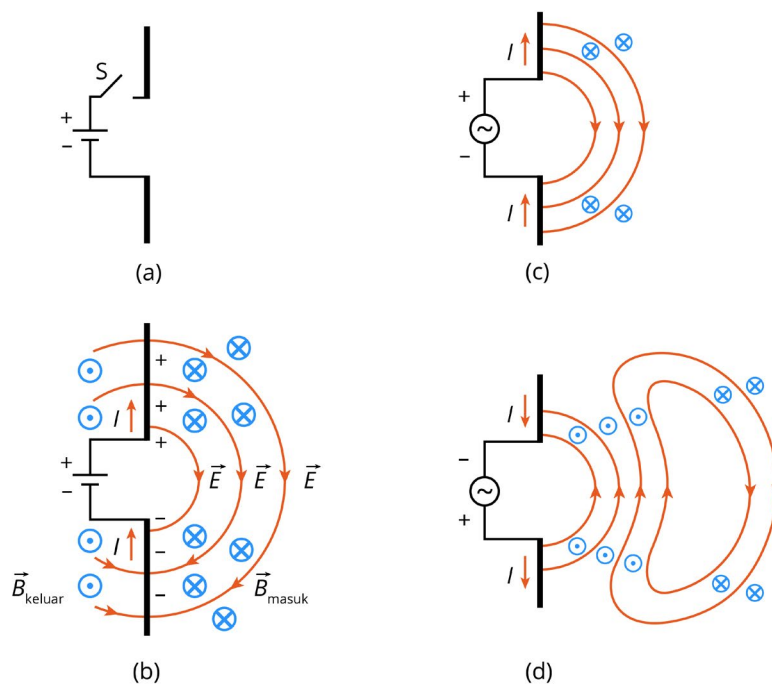
1. Memahami konsep radiasi elektromagnetik dan pembentukannya.
2. Memahami spektrum gelombang elektromagnetik dan manfaatnya.
3. Memahami sumber-sumber radiasi elektromagnetik.
4. Memahami manfaat radiasi elektromagnetik.
5. Memahami bahaya radiasi elektromagnetik.

A. Konsep Radiasi Elektromagnetik dan Pembentukannya

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat tanpa membutuhkan medium. Gelombang elektromagnetik dapat merambat di ruang hampa. Sementara itu, **radiasi elektromagnetik** merupakan radiasi yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang merambat saling tegak lurus. Beberapa gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh sumber dengan ukuran nuklir atau atomik, di mana berlaku fisika kuantum. Maxwell mengembangkan empat persamaan yang menjadi dasar teori elektromagnetik, yaitu sebagai berikut.

1. Muatan listrik menghasilkan medan listrik yang dinyatakan dalam Hukum Gauss.
2. Magnet selalu memiliki dua kutub.
3. Medan magnet dihasilkan oleh arus listrik atau perubahan medan listrik yang dinyatakan dalam Hukum Ampere.
4. Medan listrik dihasilkan oleh perubahan medan magnet yang dinyatakan dalam Hukum Faraday.

Dari keempat teori tersebut, Maxwell membuat hipotesis bahwa perubahan medan listrik akan menghasilkan medan magnet. Sementara perubahan medan magnet akan menghasilkan medan listrik. Ketika Maxwell bekerja dengan persamaan tersebut, dia menemukan bahwa interaksi perubahan medan listrik dan medan magnet dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik. Pembentukan gelombang elektromagnetik dapat dijelaskan sebagai berikut.

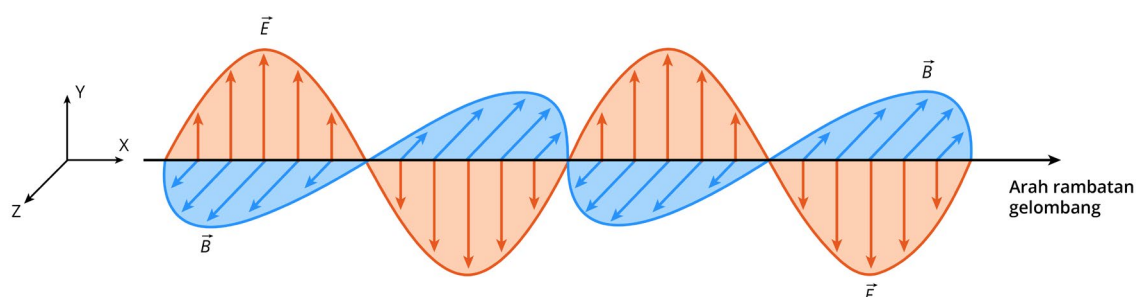


Gambar 1. Pembentukan gelombang elektromagnetik

Pada Gambar 1(a), terdapat dua batang konduktor dan sumber tegangan searah. Ketika konduktor belum terhubung dengan sumber tegangan searah, tidak terdapat medan listrik antara kedua konduktor. Pada Gambar 1(b), ketika konduktor terhubung dengan sumber tegangan searah, muncul medan listrik antara kedua konduktor (garis berwarna merah) dari kutub positif ke kutub negatif. Sementara di sekitar konduktor yang dialiri arus listrik akan muncul medan magnet yang arahnya sesuai aturan tangan kanan. Sebelah kanan konduktor arah medan magnetnya masuk bidang gambar, sedangkan sebelah kiri konduktor arah medan magnetnya keluar bidang gambar. Pada kasus tersebut, medan listrik dan medan magnet tidak akan merambat jauh.

Pada Gambar 1(c), sumber tegangannya diganti dengan sumber tegangan bolak-balik (AC). Ketika arus listrik mengalir pada konduktor, muncul medan listrik antara kedua konduktor dan muncul medan magnet di sekitar kawat berarus. Oleh karena sumber tegangannya bolak-balik, maka arah arusnya berubah. Arah medan listrik dan medan

magnet yang dihasilkan juga berubah. Perhatikan bahwa pada Gambar 1(c), kutub positif konduktor berada di bagian atas. Oleh karena itu, arah medan listrik dari kutub positif ke kutub negatif (dari atas ke bawah). Sementara medan magnetnya untuk sebelah kanan konduktor masuk bidang gambar dan sebelah kiri konduktor keluar bidang gambar. Pada Gambar 1(d), arah arusnya berubah. Akibatnya, medan listrik dan medan magnet dari arus yang sebelumnya akan merambat menjauh karena terbentuk arah medan listrik yang baru, yaitu dari bawah ke atas. Arah medan magnetnya juga berubah, yaitu sebelah kanan konduktor keluar bidang gambar dan sebelah kiri konduktor masuk bidang gambar. Begitu juga ketika arah arus berubah kembali, akan terbentuk lagi medan listrik dan medan magnet yang baru. Medan listrik dan medan magnet yang sebelumnya akan menjauh, begitu seterusnya. Melalui proses tersebut, akan dihasilkan gelombang elektromagnetik yang terbentuk dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus.



Gambar 2. Gelombang elektromagnetik yang terbentuk dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus

Kelajuan gelombang elektromagnetik dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$v = c = \frac{E}{B}$$

c merupakan simbol khusus kelajuan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa. E dan B adalah besar medan magnet dan medan listrik pada tiap titik yang sama dalam ruang. Berdasarkan hukum Ampere-Maxwell, diperoleh:

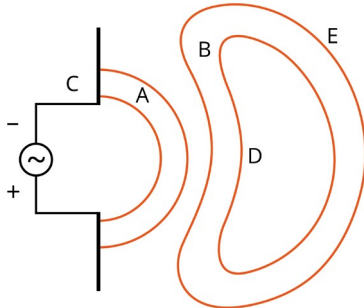
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8,85 \times 10^{-12} \times 4\pi \times 10^{-7}}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Nilai ini sama dengan kelajuan cahaya dalam vakum secara eksperimen.



Contoh Soal 1

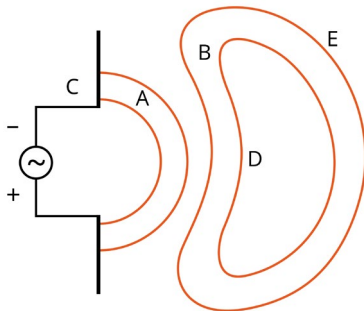
Dua batang konduktor dihubungkan dengan arus listrik bolak-balik seperti pada gambar berikut.



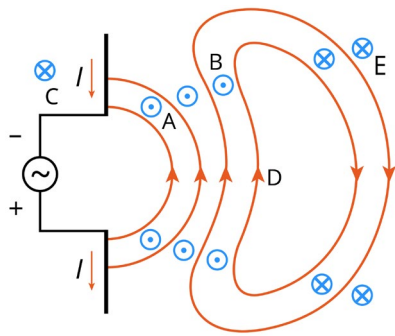
Tentukan arah medan magnet atau medan listrik pada titik-titik A, B, C, D, dan E.

Pembahasan:

Perhatikan kembali gambar berikut.



Batang konduktor bagian bawah akan bermuatan positif, sedangkan bagian atas akan bermuatan negatif. Dengan demikian, akan muncul medan listrik yang arahnya dari kutub positif ke kutub negatif atau dari bawah ke atas yang ditandai garis merah. Oleh karena konduktor dialiri listrik, maka di sekitar batang konduktor akan muncul medan magnet yang arahnya sesuai aturan tangan kanan. Oleh karena arah arus dari kutub positif ke kutub negatif, maka di sebelah kanan konduktor arah medan magnetnya keluar bidang gambar. Sementara di sebelah kiri konduktor arah medan magnetnya masuk bidang gambar. Gambar kurva sebelah kanan menunjukkan medan magnet dan medan listrik dari arus sebelumnya yang arahnya diubah menjadi kondisi saat ini. Konduktor bagian atas bermuatan positif dan konduktor bagian bawah bermuatan negatif. Dengan demikian, arah medan listriknya dari atas ke bawah. Pada bagian kanan medan listrik, akan muncul medan magnet yang arahnya masuk bidang gambar. Sementara pada bagian kiri medan listrik, arah medan magnetnya keluar bidang gambar. Jika digambarkan, arah-arah medannya adalah sebagai berikut.



Berdasarkan gambar tersebut, diperoleh kesimpulan berikut.

- A = arah medan magnet keluar bidang gambar
- B = arah medan magnet keluar bidang gambar
- C = arah medan magnet masuk bidang gambar
- D = arah medan listrik dari bawah ke atas
- E = arah medan magnet masuk bidang gambar

 Contoh Soal 2

Sebuah kapasitor pelat sejajar dengan kapasitas 1.200 nF terbuat dari pelat lingkaran berdiameter 2 cm. Kapasitor tersebut mengumpulkan muatan dengan kelajuan 35 mC/s pada waktu yang singkat. Tentukan besar medan magnet yang diinduksikan secara radial 10 cm dari pusat sejajar pelat. Tentukan juga besar medan magnetnya setelah kapasitor secara keseluruhan diberi muatan (dicas).

Pembahasan:

Diketahui:

$$C = 1200 \text{ nF} = 1,2 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$d = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m} \rightarrow R = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

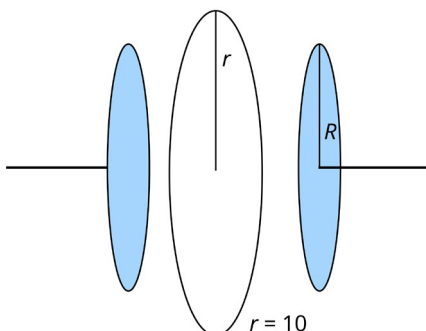
$$\frac{q}{t} = 35 \text{ mC/s} = 0,035 \text{ C/s}$$

$$r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Ditanya: B saat dicas dan setelah dicas = ...?

Dijawab:

Perhatikan gambar berikut.



Kuat arus yang melalui pelat adalah kelajuan muatan yang terkumpul di dalam pelat. Sementara medan magnet yang dihasilkan adalah di luar pelat. Dengan demikian, dapat dianggap bahwa medan magnet induksinya berasal dari kawat lurus. Untuk kasus seperti ini, nilai medan magnetnya dapat ditentukan dengan rumus berikut.

1. Untuk $r \geq R$, nilai $B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$
2. Untuk $r < R$, nilai $B = \frac{\mu_0 I r}{2 \pi R^2}$

Oleh karena pada soal $r > R$, maka nilai medan magnetnya adalah sebagai berikut.

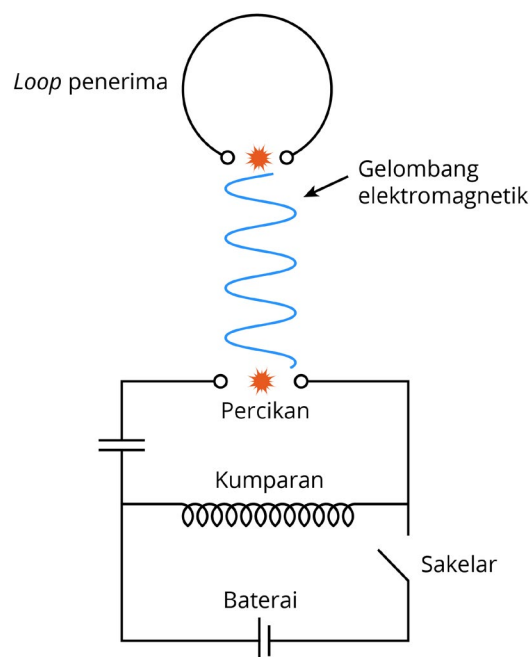
$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} \\
 &= \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 0,035}{2 \pi \times 0,1} \\
 &= 7 \times 10^{-8} \text{ T}
 \end{aligned}$$

Ketika kedua pelat sudah dicas sepenuhnya, maka tidak ada arus yang mengalir. Akibatnya, medan magnetnya menjadi nol (tidak muncul medan magnet).

Jadi, kuat medan magnet saat dicas adalah $7 \times 10^{-8} \text{ T}$ dan setelah dicas adalah nol.

B. Spektrum Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik pertama kali dibangkitkan dan dideteksi secara eksperimen oleh **Heinrich Hertz** pada tahun 1887. Hertz menggunakan peralatan yang memancarkan muatan. Muatan tersebut dibuat bergerak bolak balik dalam waktu yang sangat singkat.



Gambar 3. Peralatan eksperimen Heinrich Hertz

Hertz mendeteksi gelombang dari jarak tertentu menggunakan *loop* kawat. *Loop* kawat digunakan untuk menghasilkan ggl ketika perubahan medan magnet melewatinya. Gelombang yang dihasilkan merambat dengan kelajuan yang sama dengan kelajuan cahaya, yaitu 3×10^8 m/s. Gelombang ini memiliki karakter yang sama dengan cahaya, yaitu bisa dipantulkan, dibiaskan, dan berinterferensi. Hal ini mendukung teori Maxwell. Panjang gelombang cahaya tampak diukur pada awal abad ke-19, jauh sebelum ditemukan bahwa cahaya adalah gelombang elektromagnetik. Panjang gelombang cahaya tampak berkisar antara 4×10^{-7} m dan $7,5 \times 10^{-7}$ m atau 400 nm sampai dengan 750 nm. Frekuensi cahaya tampak dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$c = \lambda f$$
$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Keterangan:

f = frekuensi (Hz);

c = kelajuan cahaya (m/s); dan

λ = panjang gelombang.

Cahaya tampak ini ternyata hanya salah satu dari gelombang elektromagnetik. Hertz kemudian menemukan gelombang elektromagnetik lainnya yang berfrekuensi rendah, yaitu sekitar 10^9 Hz yang disebut **gelombang radio**. Gelombang ini biasanya digunakan untuk memancarkan sinyal radio dan televisi. Gelombang elektromagnetik atau sering disebut radiasi gelombang elektromagnetik ternyata diproduksi atau dideteksi melalui rentang frekuensi yang dinyatakan sebagai **spektrum elektromagnetik**. Spektrum elektromagnetik ini terdiri atas gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma.

1. Gelombang Radio

Gelombang radio termasuk ke dalam spektrum yang memiliki panjang gelombang terbesar dan frekuensi terkecil. Gelombang radio dihasilkan oleh elektron pada kawat penghantar yang menimbulkan arus bolak-balik pada kawat. Gelombang radio ini dipancarkan dari antena pemancar (*transmitter*) dan diterima oleh antena penerima (*receiver*).

2. Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar 10^{10} Hz. Sementara panjang gelombangnya sekitar 3 mm. Gelombang mikro ini dimanfaatkan pada pesawat radar (*radio detection and ranging*). Gelombang

radar diaplikasikan untuk mendeteksi suatu objek, memandu pendaratan pesawat terbang, membantu pengamatan di kapal laut dan pesawat terbang pada malam hari atau cuaca kabut, serta untuk menentukan arah dan posisi yang tepat. Sebagai contoh, jika gelombang mikro yang dipancarkan radar mengenai benda, gelombang mikro akan memantul kembali ke radar.

3. Sinar Inframerah

Sinar inframerah mempunyai frekuensi antara 10^{11} Hz sampai 10^{14} Hz. Panjang gelombang sinar inframerah lebih besar daripada panjang gelombang sinar tampak. Frekuensi gelombang ini dihasilkan oleh getaran-getaran elektron pada suatu atom atau bahan yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik. Di bidang kedokteran, radiasi inframerah diaplikasikan sebagai terapi medis, seperti penyembuhan penyakit encok dan terapi saraf. Pada bidang militer, terdapat teleskop inframerah yang dapat digunakan untuk melihat di tempat gelap atau berkabut. Hal ini memungkinkan karena sinar inframerah tidak banyak dihamburkan oleh partikel udara. Pada bidang militer, sinar inframerah juga dimanfaatkan satelit untuk memotret permukaan Bumi, meskipun terhalang oleh kabut atau awan. Di bidang elektronika, sinar inframerah dimanfaatkan pada remote control peralatan elektronik seperti televisi dan VCD. Unit kontrol berkomunikasi dengan peralatan elektronik melalui reaksi yang dihasilkan oleh dioda pancar cahaya (LED).

4. Cahaya Tampak

Cahaya tampak mempunyai frekuensi sekitar 10^{15} Hz. Sementara panjang gelombangnya antara 400 nm sampai 800 nm. Mata manusia sangat peka terhadap radiasi cahaya tersebut, sehingga cahaya tampak sangat membantu penglihatan manusia. Panjang gelombang sinar tampak yang terpendek dalam spektrum bersesuaian dengan cahaya ungu dan yang terpanjang bersesuaian dengan cahaya merah. Semua warna pelangi terletak di antara kedua batas warna tersebut. Salah satu aplikasi dari sinar tampak adalah penggunaan sinar laser dalam serat optik pada bidang telekomunikasi.

5. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara 10^{15} Hz sampai dengan 10^{16} Hz. Sementara panjang gelombangnya antara 10 nm sampai 100 nm. Sinar ultraviolet dihasilkan dari atom dan molekul dalam nyala listrik. Sinar ini juga dapat dihasilkan dari reaksi sinar Matahari. Sinar ultraviolet dari Matahari dalam kadar tertentu dapat merangsang tubuh untuk menghasilkan vitamin D. Secara khusus, sinar ini dapat diaplikasikan untuk membunuh kuman. Lampu yang menghasilkan sinar ultraviolet juga dapat digunakan dalam perawatan medis. Sinar ultraviolet juga dapat dimanfaatkan dalam bidang perbankan, yaitu

untuk memeriksa apakah tanda tangan di slip penarikan uang sama dengan tanda tangan dalam buku tabungan.

6. Sinar X

Sinar X mempunyai frekuensi antara 10^{16} Hz sampai 10^{20} Hz. Sementara panjang gelombangnya antara 10^{-11} m sampai 10^{-8} m. Sinar X ditemukan oleh **Wilhelm Conrad Rontgen** pada tahun 1895. Untuk menghormatinya, sinar X juga disebut **sinar rontgen**. Sinar X dihasilkan dari elektron-elektron yang terletak di bagian dalam kulit atom. Sinar X juga dapat dihasilkan dari elektron dengan kecepatan tinggi yang menumbuk logam. Sinar X banyak dimanfaatkan dalam bidang kedokteran seperti untuk memotret kedudukan tulang. Pada bidang industri, sinar X dimanfaatkan untuk menganalisis struktur kristal. Sinar X mempunyai daya tembus yang sangat kuat. Sinar ini mampu menembus zat padat seperti kayu, kertas, dan daging manusia. Pemeriksaan anggota tubuh dengan sinar X tidak boleh terlalu lama, karena dapat membahayakan.

7. Sinar Gamma

Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi tertinggi, yaitu antara 10^{20} Hz sampai 10^{25} Hz. Sementara panjang gelombangnya berkisar antara 10^{-4} nm sampai 0,1 nm. Sinar gamma berasal dari radioaktivitas nuklir atau atom-atom yang tidak stabil dalam reaksi inti. Sinar gamma memiliki daya tembus yang sangat kuat, sehingga mampu menembus logam yang memiliki ketebalan beberapa sentimeter. Jika diserap jaringan hidup, sinar gamma akan menyebabkan efek yang serius, seperti mandul dan kanker.



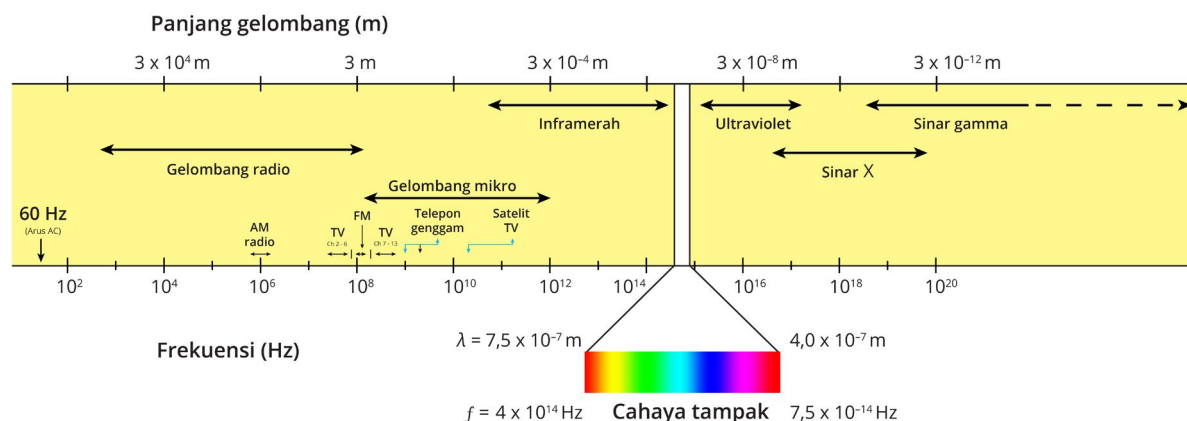
SUPER "Solusi Quipper"

Untuk mempermudah dalam mengingat urutan spektrum elektromagnetik dari frekuensi rendah ke tinggi, gunakan cara SUPER berikut.

RAMeIN TAMU X GAME

Maksudnya: radio, mikro, inframerah, tampak, ultraviolet, sinar X, dan gamma.

Spektrum elektromagnetik dapat digambarkan dalam rentang frekuensi berikut.



Gambar 4. Spektrum elektromagnetik

Sementara itu, sifat-sifat gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut.

1. Merupakan perambatan getaran medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus terhadap arah rambatnya.
2. Kecepatannya konstan di ruang hampa, yaitu sebesar 3×10^8 m/s.
3. Tidak dipengaruhi oleh medan listrik dan medan magnet karena tidak bermuatan listrik.
4. Dapat dipantulkan, dibiaskan, interferensi, dan polarisasi.
5. Dapat merambat dalam ruang hampa atau vakum.
6. Merupakan gelombang transversal.
7. Memiliki energi yang bergantung pada frekuensi sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

Keterangan:

E = energi radiasi (J);

h = konstanta Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ Js;

f = frekuensi (Hz);

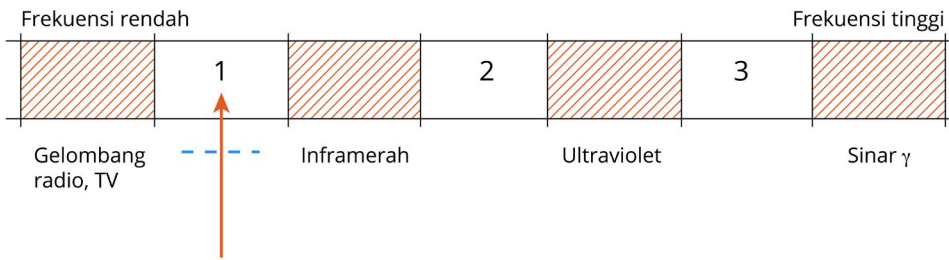
c = kelajuan cahaya = 3×10^8 m/s; dan

λ = panjang gelombang (m).



Contoh Soal 3

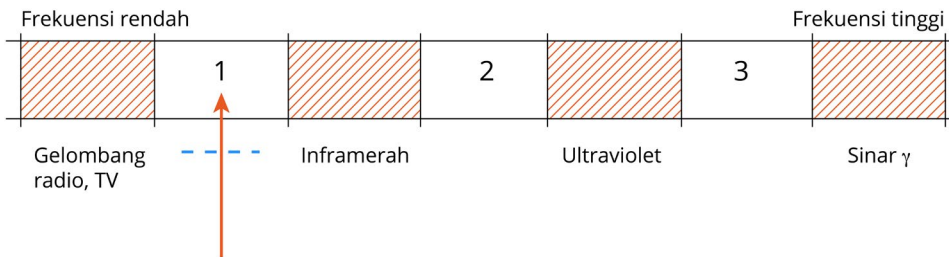
Ciri-ciri gelombang yang ditunjukkan oleh anak panah berikut adalah



- A. tidak mengalami hamburan dan memiliki efek panas
- B. memiliki efek kimia dan mengalami hamburan
- C. energinya besar dan memiliki daya tembus yang besar
- D. daya tembusnya sangat besar dan dihasilkan oleh inti atom
- E. dapat mendeteksi keberadaan suatu objek

Pembahasan:

Perhatikan kembali gambar berikut.



SUPER "Solusi Quipper"

Urutan spektrum elektromagnetik dari frekuensi rendah ke tinggi adalah sebagai berikut.

RAMeIN TAMU X GAME

Maksudnya: radio, mikro, inframerah, tampak, ultraviolet, sinar X, dan gamma.

Dengan demikian, gelombang yang ditunjukkan oleh anak panah tersebut adalah gelombang mikro. Ciri-ciri gelombang mikro adalah sebagai berikut.

- Semua gelombang elektromagnetik mengalami hamburan.
- Memiliki efek panas yang digunakan pada oven *microwave*.

- Dapat mendeteksi keberadaan suatu objek yang digunakan sebagai radar.
- Frekuensinya rendah sehingga energinya kecil ($E = hf$).
- Panjang gelombangnya besar sehingga daya tembusnya kecil.

Jadi, berdasarkan ciri-ciri tersebut, jawaban yang paling tepat adalah E.



Contoh Soal 4

Andi yang berada di Bandung menelepon saudaranya Rika yang berada di Padang dengan jarak 1.045 km dari Bandung. Berapa waktu sinyal yang membawa suara Andi dari Bandung sampai ke Padang?

Pembahasan:

Diketahui:

$$s = 1.045 \text{ km} = 1,045 \times 10^6 \text{ m}$$

Ditanya: $t = \dots?$

Dijawab:

Sinyal yang membawa suara Andi dari Bandung ke Padang melalui satelit merupakan gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, kecepatannya juga sama dengan kecepatan cahaya ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Dari persamaan $s = v \cdot t$ dengan $v = c$, diperoleh:

$$\begin{aligned} t &= \frac{s}{c} \\ &= \frac{1,045 \times 10^6}{3 \times 10^8} \\ &= 3,48 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Oleh karena waktunya sangat singkat, maka tidak terasa dan seperti tidak ada jeda.

Jadi, waktu yang dibutuhkan sinyal tersebut sampai ke Padang adalah $3,48 \times 10^{-3} \text{ s}$.

C. Sumber Radiasi Elektromagnetik

Sebagian besar sumber radiasi elektromagnetik berasal dari Matahari. Namun, ada juga yang dapat dibuat. Berikut ini adalah sumber-sumber radiasi gelombang elektromagnetik.

1. Gelombang radio dihasilkan oleh elektron pada kawat penghantar yang menimbulkan arus bolak-balik pada kawat. Gelombang ini dipancarkan dari antena pemancar

(*transmitter*) dan diterima oleh antena penerima (*receiver*), seperti pada *handphone* dan radio.

2. Gelombang mikro dihasilkan oleh Matahari, tabung diode, magnetron, dan sudah ada alat-alat yang dirakit untuk menghasilkan gelombang mikro ini.
3. Sinar inframerah dihasilkan oleh getaran-getaran elektron pada suatu atom atau bahan yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik. Selain itu, dapat juga dihasilkan dari sinar Matahari, permukaan yang panas, dan lampu LED. Sinar inframerah juga dihasilkan dan digunakan pada *remote TV*.
4. Cahaya tampak dihasilkan oleh uraian sinar Matahari dan lampu.
5. Sinar ultraviolet dihasilkan dari atom dan molekul dalam nyala listrik. Sinar ini juga dapat dihasilkan dari reaksi sinar Matahari. Sinar ultraviolet dari Matahari dalam kadar tertentu dapat merangsang badan untuk menghasilkan vitamin D.
6. Sinar X dihasilkan dari elektron-elektron yang terletak di bagian dalam kulit atom. Sinar X juga dapat dihasilkan dari elektron dengan kecepatan tinggi yang menumbuk logam. Televisi yang masih menggunakan tabung katode juga dapat menghasilkan sinar X.
7. Sinar gamma dihasilkan dari radioaktivitas nuklir atau atom-atom yang tidak stabil dalam reaksi inti. Sinar gamma memiliki daya tembus yang sangat kuat, sehingga mampu menembus logam yang memiliki ketebalan beberapa sentimeter. Jika diserap jaringan hidup, sinar gamma akan menyebabkan efek yang serius, seperti mandul dan kanker.



Contoh Soal 5

Jika kecepatan cahaya adalah 3×10^8 m/s dan tetapan Planck adalah $6,6 \times 10^{-34}$ Js, tentukan kuantitas energi yang terkandung dalam sinar dengan panjang gelombang 1320 Å.

Pembahasan:

Diketahui:

$$\lambda = 1320 \text{ \AA} = 1320 \times 10^{-10} \text{ m} = 1,32 \times 10^{-7} \text{ m}$$

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

$$h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Ditanya: $E = \dots?$

Dijawab:

Berdasarkan rumus energi gelombang elektromagnetik, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 E &= h \frac{c}{\lambda} \\
 &= 6,6 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{1,32 \times 10^{-7}} \\
 &= 1,5 \times 10^{-18} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Jadi, energi yang terkandung dalam sinar tersebut adalah $1,5 \times 10^{-18}$ J.



Contoh Soal 6

Sebuah sinar memiliki panjang gelombang sebesar 6000 Å. Sementara sinar lainnya memiliki panjang gelombang sebesar 4000 Å. Perbandingan kuantitas energi yang terkandung dalam kedua sinar tersebut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$\lambda_1 = 6000 \text{ Å}$$

$$\lambda_2 = 4000 \text{ Å}$$

Ditanya: $\frac{E_1}{E_2} = \dots?$

Dijawab:

Energi gelombang elektromagnetik dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Oleh karena E berbanding terbalik dengan λ , maka dapat digunakan SUPER berikut.



SUPER "Solusi Quipper"

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{4000}{6000} = \frac{2}{3} = 2 : 3$$

Jadi, perbandingan kuantitas energi yang terkandung dalam kedua sinar tersebut adalah 2 : 3.

D. Pemanfaatan Radiasi Elektromagnetik

Berikut ini adalah beberapa pemanfaatan radiasi gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.

1. Gelombang Radio

Gelombang radio dimanfaatkan untuk pembicaraan jarak jauh yang tidak menggunakan kawat penghantar. Gelombang ini bertindak sebagai pembawa gelombang audio (suara). Ada dua macam cara untuk membawa gelombang bunyi ke penerimanya, yaitu dengan sistem amplitudo modulasi dan sistem frekuensi modulasi (AM dan FM).

2. Gelombang Mikro

Gelombang mikro dimanfaatkan sebagai berikut.

- Pemanas *microwave*.
- Komunikasi radar (*radio detection and ranging*).
- Menganalisis struktur atomik dan molekul.
- Mengukur kedalaman laut.
- Mendeteksi suatu objek.
- Memandu pendaratan pesawat terbang.
- Membantu pengamatan di kapal laut dan pesawat terbang pada malam hari atau cuaca kabut, serta menentukan arah dan posisi yang tepat.

Jarak sasaran oleh radar dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

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

Keterangan:

d = jarak sumber gelombang ke sasaran (m);

c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s; dan

Δt = selang waktu gelombang sejak dilepaskan sampai kembali (s).

3. Sinar Inframerah

Kondisi-kondisi kesehatan dapat didiagnosis dengan menyelidiki pancaran inframerah dari tubuh. Foto pancaran inframerah ini disebut **termogram**. Termogram dapat digunakan untuk mendeteksi masalah sirkulasi darah, radang sendi, dan kanker. Selain itu, sinar inframerah juga memiliki fungsi sebagai berikut.

- Untuk terapi fisik, menyembuhkan penyakit cacar dan encok.
- Untuk fotografi pemetaan sumber daya alam dan mendeteksi tanaman yang tumbuh di Bumi dengan detail.
- Untuk *remote control* berbagai peralatan elektronik (alarm pencuri).
- Untuk mengeringkan cat kendaraan dengan cepat pada industri otomotif.

- e. Pada bidang militer, dibuat teleskop inframerah yang dapat digunakan untuk melihat di tempat gelap atau berkabut. Inframerah juga dimanfaatkan satelit untuk memotret permukaan Bumi, meskipun terhalang oleh kabut atau awan.

4. Cahaya Tampak

Beberapa manfaat cahaya tampak adalah sebagai berikut.

- a. Pada bidang telekomunikasi, sinar laser digunakan untuk menyalurkan suara atau sinyal gambar melalui serat optik.
- b. Pada bidang kedokteran, sinar laser digunakan untuk mendiagnosis penyakit, pengobatan penyakit, perbaikan suatu cacat, dan pembedahan.
- c. Pada bidang industri, sinar laser digunakan untuk pengelasan dan pemotongan lempengan baja.

5. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet dapat dimanfaatkan sebagai berikut.

- a. Proses fotosintesis atau asimilasi pada tumbuhan.
- b. Membantu pembentukan vitamin D pada tubuh manusia.
- c. Membunuh kuman penyakit dengan bantuan alat lain.
- d. Mensterilkan ruangan operasi rumah sakit berikut instrumen-instrumen pembedahan.
- e. Memeriksa keaslian tanda tangan pada dunia perbankan.

6. Sinar X (Sinar Rontgen)

Sinar X dapat dimanfaatkan sebagai berikut.

- a. Memotret organ-organ dalam tubuh seperti tulang, jantung, dan paru-paru.
- b. Untuk menganalisis struktur bahan atau kristal.
- c. Mendeteksi keretakan atau cacat pada logam.
- d. Memeriksa barang-barang di bandara atau pelabuhan.

7. Sinar Gamma

Sinar gamma dapat dimanfaatkan sebagai berikut.

- a. Terapi kanker.
- b. Sterilisasi peralatan rumah sakit.
- c. Sterilisasi bahan makanan kaleng.
- d. Pembuatan varietas tanaman unggul tahan penyakit dengan produktivitas tinggi.
- e. Mengurangi populasi hama tanaman (serangga).

Dalam pemanfaatan radiasi elektromagnetik, sering kali dilakukan perhitungan terkait intensitas gelombang yang dihasilkan. Intensitas gelombang elektromagnetik sebanding dengan harga maksimum medan magnet dan medan listrik atau dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{I} = \frac{E_{maks} B_{maks}}{2 \mu_0}$$

atau

$$\bar{I} = \frac{c B_{maks}^2}{2 \mu_0} = \frac{E_{maks}^2}{2 c \mu_0} = \frac{\epsilon_0 c E_{maks}^2}{2}$$

Keterangan:

\bar{I} = intensitas rata-rata (W/m²);

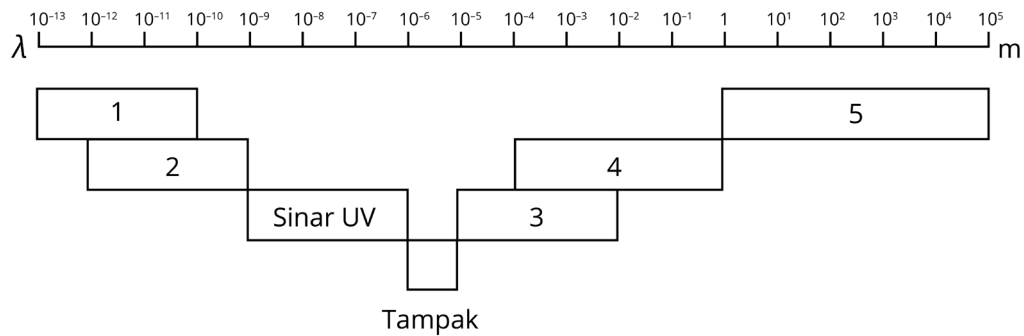
E_{maks} = medan listrik maksimum (N/C);

B_{maks} = medan magnet maksimum (T); dan

μ_0 = permeabilitas magnet = $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A.

 Contoh Soal 7

Perhatikan gambar berikut.

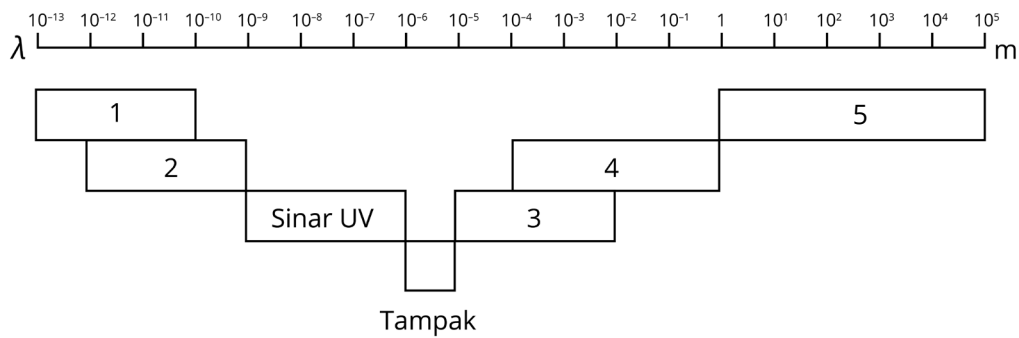


Gelombang elektromagnetik yang bermanfaat untuk memotret organ-organ dalam tubuh ditunjukkan oleh nomor

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

Pembahasan:

Perhatikan kembali gambar berikut.



Gambar tersebut memperlihatkan gelombang elektromagnetik dari panjang gelombang yang terpendek ke yang terpanjang atau dari frekuensi yang tertinggi ke yang terendah.



SUPER "Solusi Quipper"

Urutan spektrum elektromagnetik dari frekuensi rendah ke tinggi adalah sebagai berikut.

RAMeIN TAMU X GAME

Maksudnya: radio, mikro, inframerah, tampak, ultraviolet, sinar X, dan gamma.

Ini berarti, urutan dari gambar tersebut adalah sinar gamma, sinar X, sinar ultraviolet, cahaya tampak, sinar inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio.

Gelombang elektromagnetik yang dimanfaatkan untuk memotret organ-organ dalam tubuh adalah sinar X. Pada gambar tersebut, sinar X ditunjukkan oleh nomor 2.



Contoh Soal 8

Intensitas rata-rata sinyal televisi ketika sampai ke antena adalah 10^{-13} W/m^2 . Tentukan besar medan listrik dan medan magnet maksimumnya.

Pembahasan:

Diketahui:

$$\bar{I} = 10^{-13} \text{ W/m}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

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

Ditanya: E_{maks} dan $B_{maks} = \dots?$

Dijawab:

Intensitas gelombang elektromagnetik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{I} = \frac{E_{maks}^2}{2c\mu_0}$$

Ini berarti:

$$\begin{aligned} E_{maks} &= \sqrt{2c\mu_0\bar{I}} \\ &= \sqrt{2 \times 3 \times 10^8 \times 4 \times 3,14 \times 10^{-7} \times 10^{-13}} \\ &= 8,7 \times 10^{-6} \text{ N/C} \end{aligned}$$

Intensitas gelombang elektromagnetik juga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{I} = \frac{cB_{maks}^2}{2\mu_0}$$

Ini berarti:

$$\begin{aligned} B_{maks} &= \sqrt{\frac{2\mu_0\bar{I}}{c}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 3,14 \times 10^{-7} \times 10^{-13}}{3 \times 10^8}} \\ &= 2,9 \times 10^{-14} \text{ T} \end{aligned}$$

Jadi, medan listrik maksimumnya adalah $8,7 \times 10^{-6}$ N/C dan medan magnet maksimumnya adalah $2,9 \times 10^{-14}$ T.



Contoh Soal 9

Seseorang ingin mengetahui kedalaman suatu laut dengan menggunakan radar sebagai alat pengukurannya. Radar mengirim sinyal ke dasar laut. Waktu yang dibutuhkan sinyal dari saat dikirim sampai diterima lagi oleh radar adalah 4×10^{-6} s. Jika indeks bias air $\frac{4}{3}$ dan cepat rambat sinyal radar di udara adalah 3×10^8 m/s, tentukan kedalaman laut tersebut.

Pembahasan:

Diketahui:

$$\Delta t = 4 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$v_1 = 3 \times 10^8 \text{ m/s (di udara)}$$

$$n_1 = 1 \text{ (udara)}$$

$$n_2 = \frac{4}{3} \text{ (air)}$$

Ditanya: $s = \dots?$

Dijawab:

Mula-mula, tentukan kelajuan sinyal dalam air. Dengan menggunakan perbandingan, diperoleh:

$$n_1 v_1 = n_2 v_2$$

$$\Leftrightarrow v_2 = \frac{n_1 v_1}{n_2}$$

$$\Leftrightarrow v_2 = \frac{1 \times 3 \times 10^8}{\frac{4}{3}}$$

$$\Leftrightarrow v_2 = 2,25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Dengan demikian, kedalaman laut tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} s &= \frac{v_2 \Delta t}{2} \\ &= \frac{2,25 \times 10^8 \times 4 \times 10^{-6}}{2} \\ &= 450 \text{ nm} \end{aligned}$$

Jadi, kedalaman laut tersebut adalah 450 m.

E. Bahaya Radiasi Elektromagnetik

Radiasi gelombang elektromagnetik juga dapat menimbulkan dampak negatif bagi manusia, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Sinar Ultraviolet

- a. Pada manusia, radiasi UV-B yang berlebih dapat menimbulkan penyakit kanker kulit, katarak mata, serta mengurangi daya tahan tubuh terhadap penyakit infeksi. Peningkatan radiasi gelombang pendek UV-B juga dapat memicu reaksi kimiawi di atmosfer bagian bawah. Hal ini mengakibatkan penambahan jumlah reaksi fotokimia yang menghasilkan asap beracun, terjadinya hujan asam, serta peningkatan gangguan saluran pernapasan.
- b. Pada tumbuhan, radiasi UV-B yang berlebih dapat menyebabkan pertumbuhan berbagai tanaman menjadi lambat dan bahkan menjadi kerdil. Akibatnya, hasil panen sejumlah tanaman budidaya akan menurun, serta tanaman hutan menjadi rusak.

- c. Jika terjadi lubang ozon, sinar UV khususnya UV-B yang menembus permukaan Bumi dan mengenai orang dapat menyebabkan kulit manusia tersengat dan merubah molekul DNA. Jika hal tersebut berlangsung terus-menerus dalam jangka panjang, dapat memicu kanker kulit. Hal ini juga terjadi pada makhluk hidup lainnya.

2. Gelombang Mikro

- a. Radiasi gelombang mikro dapat menimbulkan efek stres pada syaraf otak.
- b. Radiasi gelombang mikro juga dapat menimbulkan radikal bebas dan menyebabkan penyakit kanker.
- c. Mengonsumsi makanan yang diolah atau dipanaskan dalam *microwave* dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan penurunan jumlah hemoglobin.

Beberapa perangkat teknologi yang mengeluarkan radiasi elektromagnetik juga memiliki dampak negatif, yaitu sebagai berikut.

1. Laptop

Laptop yang dilengkapi dengan Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) memiliki dampak negatif terhadap kesehatan. Di antara adalah mengakibatkan nyeri kepala, insomnia, dan mual-mual, terutama bagi mereka yang elektrosensitif. Radiasi yang dihasilkan oleh laptop juga dapat menyebabkan kerusakan kromosom yang berdampak pada kapasitas konsentrasi, menurunnya memori jangka pendek, serta meningkatnya kejadian berbagai tipe kanker. Radiasi laptop juga dapat mengganggu jaringan tubuh manusia, terutama pada kulit, telinga, mata, dan sistem saraf, serta dapat menyebabkan mutasi gen. Untuk meminimalisir bahaya radiasi ini, diharapkan jangan terlalu lama berada di dekat laptop yang menyala.

2. Telepon Seluler (*Handphone*)

Beberapa efek yang diakibatkan oleh radiasi *handphone* adalah sebagai berikut.

- a. Mengurangi produksi sperma.
- b. Bagi wanita hamil, penggunaan *handphone* dapat mengganggu pembentukan janin dalam kandungan.
- c. Mengganggu ingatan manusia.

Untuk meminimalisir bahaya radiasi ini, jangan terlalu lama menggunakan *handphone*. Gunakan *headset* untuk menjaga jarak kita dengan *handphone*, serta jangan biarkan anak-anak terlalu lama bermain *handphone*.

3. Komputer

Terlalu lama memandang monitor komputer dapat menyebabkan penyakit rabun mata, katarak, dan epilepsi. Efek dari radiasi tersebut baru dirasakan 5 atau 15 tahun kemudian, karena prosesnya terjadi secara bertahap.

4. Televisi

Terlalu lama di depan televisi juga memiliki dampak buruk bagi kesehatan. Sinar biru yang dihasilkan oleh layar televisi dapat menimbulkan luka fotokimia pada retina mata. Risiko kerusakan akibat paparan sinar biru lebih besar dirasakan oleh anak daripada orang dewasa. Hal ini dikarenakan tingkat kejernihan lensa mata anak lebih tinggi daripada orang dewasa. Oleh karena itu, sinar biru yang akan ditangkap oleh retina mata anak lebih banyak (sekitar 70 - 80%) daripada yang ditangkap retina mata orang dewasa (sekitar 50%).

Jika radiasi diserap sepenuhnya oleh suatu benda, maka gayanya adalah sebagai berikut.

$$F = \frac{IA}{c} \text{ (diserap)}$$

Jika radiasi dipantulkan sepenuhnya oleh suatu benda, maka gayanya adalah sebagai berikut.

$$F = \frac{2IA}{c} \text{ (dipantulkan)}$$

Sementara itu, tekanan radiasinya adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{I}{c} \text{ (diserap objek)}$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{2I}{c} \text{ (dipantulkan objek)}$$

Keterangan:

F = gaya (N);

I = intensitas radiasi (W/m^2);

A = luas permukaan benda (m^2);

P = tekanan (N/m^2); dan

c = kelajuan cahaya = 3×10^8 m/s.



Contoh Soal 10

Radiasi Matahari yang mencapai Bumi memiliki intensitas sebesar $1,4 \text{ kW/m}^2$. Anggap Bumi seperti cakram datar yang tegak lurus terhadap sinar Matahari dan semua energi yang datang diserap oleh Bumi. Gaya yang diterima Bumi akibat radiasi tersebut adalah ... (jari-jari Bumi = 6.370 km).

Pembahasan:

Diketahui:

$$I = 1,4 \text{ kW/m}^2 = 1,4 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$$

$$R = 6.370 \text{ km} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

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

Ditanya: $F = \dots?$

Dijawab:

Gaya yang diterima Bumi dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$F = P A$$

$$= \left(\frac{I}{c} \right) (\pi R^2)$$

$$= \frac{1,4 \times 10^3}{3 \times 10^8} \times 3,14 \times (6,37 \times 10^6)^2$$

$$= 5,9 \times 10^8$$

$$\approx 6 \times 10^8 \text{ N}$$

Jadi, gaya yang diterima Bumi akibat radiasi tersebut adalah $6 \times 10^8 \text{ N}$.



Contoh Soal 11

Sebuah gelombang bidang elektromagnetik dengan panjang gelombang 3 m merambat dalam vakum ke arah sumbu $+X$. Jika medan listrik maksimum 300 V/m diarahkan sepanjang sumbu $+Y$, tentukan:

- Frekuensi gelombangnya
- Besar medan magnet maksimum dan arahnya
- Nilai bilangan gelombang dan kecepatan angularnya jika $E = E_m \sin(kx - \omega t)$
- Intensitas gelombangnya
- Tekanan radiasi pada selebar bidang yang luasnya 2 m^2 jika gelombang sepenuhnya diserap oleh lembaran tersebut

Pembahasan:

Diketahui:

$$\lambda = 3 \text{ m}$$

$$E_{maks} = 300 \text{ V/m}$$

$$E = E_m \sin(kx - \omega t)$$

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

$$A = 2 \text{ m}^2$$

Ditanya:

- $f = \dots?$
- B_{maks} dan arahnya = ...?
- k dan ω , jika $E = E_m \sin(kx - \omega t) = \dots?$
- $I = \dots?$
- $P = \dots?$

Dijawab:

- a. Frekuensi gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut.

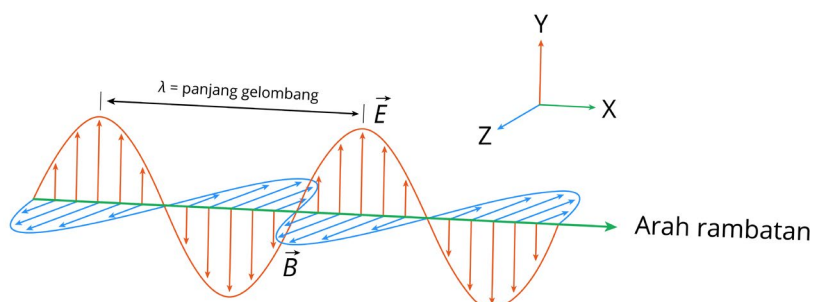
$$\begin{aligned} f &= \frac{c}{\lambda} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{3} \\ &= 10^8 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Jadi, frekuensi gelombangnya adalah 10^8 Hz.

- b. Besar medan magnet maksimumnya dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} B_{maks} &= \frac{E_{maks}}{c} \\ &= \frac{300}{3 \times 10^8} \\ &= 10^{-6} \text{ T} \end{aligned}$$

Oleh karena arah rambatan merupakan hasil perkalian silang (*cross product*) dua vektor \vec{E} dan \vec{B} , maka hasil dari $\vec{E} \times \vec{B}$ adalah arah rambatannya. Dengan demikian, arah B adalah searah sumbu Z positif.



Jadi, besar B_{maks} adalah 10^{-6} T dan arahnya searah sumbu Z positif.

- c. Nilai bilangan gelombang dan kecepatan angularnya dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned}k &= \frac{2\pi}{\lambda} \\ &= \frac{2 \times 3,14}{3} \\ &= 2,1 \text{ rad/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi f \\ &= 2 \times 3,14 \times 10^8 \\ &= 6,28 \times 10^8 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Jadi, bilangan gelombangnya 2,1 rad/m dan besar kecepatan angularnya $6,28 \times 10^8$ rad/s.

- d. Intensitas gelombang dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}I &= \frac{E_{maks}^2}{2\mu_0 c} \\ &= \frac{300^2}{2 \times 4 \times 3,14 \times 10^{-7} \times 3 \times 10^8} \\ &= 119,4 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

Jadi, intensitas gelombangnya adalah 119,4 W/m².

- e. Oleh karena gelombang sepenuhnya diserap oleh lembaran tersebut, maka tekanan radiasinya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P &= \frac{I}{c} \\ &= \frac{119,4}{3 \times 10^8} \\ &= 3,98 \times 10^{-7} \\ &\approx 4 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

Jadi, tekanan radiasinya adalah 4×10^{-7} N/m².