

A. Pertanyaan

①

Contoh penerapan gelombang EM

1. komunikasi radio dan televisi
2. komunikasi dengan Handphone
3. Menghangatkan makanan dengan microwave
4. Rontgen sinar-X

Rentang frekuensi

$$10^6 - 10^8 \text{ Hz}$$

$$10^7 \text{ Hz}$$

$$10^8 - 10^{12} \text{ Hz}$$

$$10^{16} - 10^{20} \text{ Hz}$$

②

1. Medium untuk merambat

Gelombang Bunyi
memerlukan

Gelombang EM

Tidak memerlukan

2. Laju di udara

$$343 \text{ m/s}$$

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

3. Rentang frekuensi

$$1 - 10^5 \text{ Hz}$$

$$10^2 - 10^{20} \text{ Hz}$$

4. Tipe gelombang

Longitudinal

Transversal

③ Persamaan umum gelombang berbentuk:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad \dots \quad (1)$$

③ Dari penurunan persamaan Maxwell

diperoleh :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \dots \dots (2)$$

dan

$$\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad \dots \dots (3)$$

Sehingga persamaan (1), (2) dan (3),

$$\frac{1}{v^2} = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

atau $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

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

Besaran ini dikenal dengan kelajuan cahaya $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

④

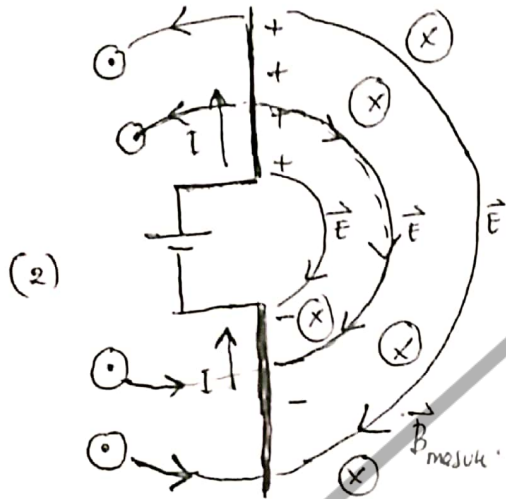
(4)



(1)

Dua batang penghantar (1) akan difungsikan sebagai sebuah "antena". Andalkan kedua batang ini dihubungkan oleh sebuah Sakelar ke kutub yang berlawanan pada sebuah baterai.

Segara setelah saklar ditutup, batang atas bermuatan positif dan batang bawah bermuatan negatif. Medan listrik akan terbentuk seperti yang di tunjukan oleh garis-garis (2), Sementara muatan mengalir, muncul arus, yang arah nya di tunjukan oleh panah-panah. Oleh karena itu, disekitar antenna akan muncul medan magnet. Garis-garis medan magnet tersebut mengelilingi kawat sehingga



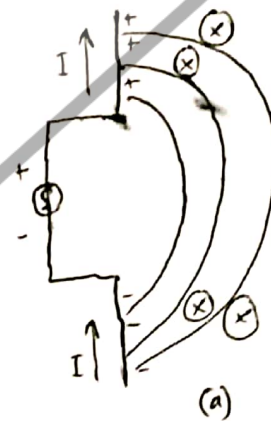
(2)

pada bidang gambar ini, \vec{B} masuk \otimes pada bagian kanan dan keluar \odot pada bagian kiri.

Sekarang antenna dihubungkan dengan generasi AC.

Penjelasan :

Medan yang dihasilkan oleh muatan yang mengalir ke konduktor. Medan \vec{E} dan \vec{B} memerlukan waktu untuk berjabn ke tempat yang jauh. Medan-medan yang terjadi di sebelah kanan antenna, tapi medan-medan ini merambat ke segala arah secara simetris (arah Vertikal) disekitar antenna



(a)

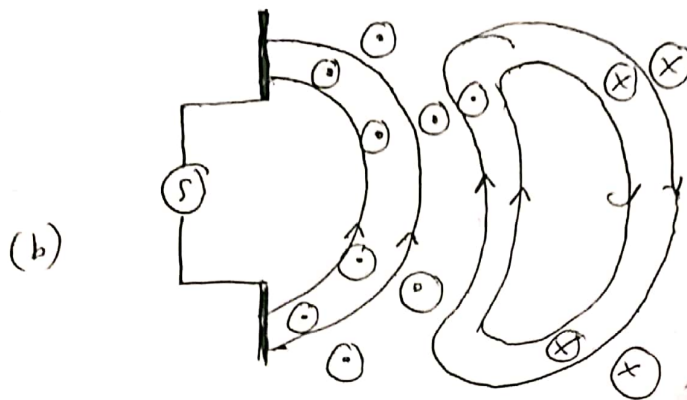
pada gambar (a) hubungan baru saja terkoneksi, muatan mulai terkumpul dan medan yang terbentuk persis seperti (2).

Tanda (+) dan (-) pada (a). menunjukan jenis muatan pada setiap batang. panah-panah menunjukan arah arus. Medan listrik di tunjukan oleh garis-garis pada bidang

(4) pada bidang gambar, dan medan magnet sesuai kaidah tangan kanan mengarah ke dalam

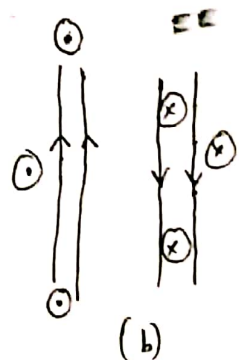
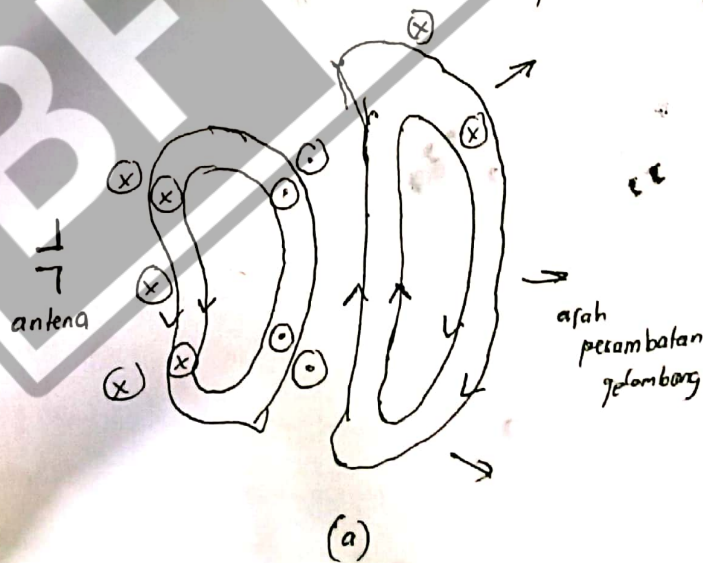
(X) atau keluar (•) bidang gambar. Arah ggl generator ac telah berubah, arus jadi terbalik dan medan magnet baru memiliki

arah yang berlawanan. Karena medan baru telah berubah arah, garis-garis yang lama akan terlipat ke belakang untuk membuat sambungan dengan garis-garis yang baru dan akan terbentuk loop seperti terlihat pada gambar. Medan-medan yang lama



gambar memperlihatkan medan magnet dan medan listrik yang menyebar keluar dari osilasi muatan pada dua konduktor yang dihubungkan dengan sumber ac.

tidak hilang secara tiba-tiba. Mereka sedang dalam perjalanan ke tempat yang jauh. dan memang demikian perubahan medan magnet menghasilkan medan listrik dan perubahan medan listrik menghasilkan medan magnet, kombinasi perubahan medan listrik dan medan magnet yang bergerak keluar ini saling membangun, tidak lagi tergantung pada muatan pada antena.



- ④ Gambar terakhir (a) medan radiasi (jauh dari antena) dihasilkan oleh sinyal sinusoidal pada antena dipol. Loop-loop tertutup menunjukkan garis-garis medan listrik. Garis-garis medan magnet, tegak lurus terhadap bidang gambar dan ditunjukkan dalam bentuk \otimes dan \odot juga membentuk loop-loop tertutup (b) pada jarak yang sangat jauh dari antena, muka gelombang (garis-garis medan) dapat dianggap datar mencakup area yang luas, dan dirujuk sebagai gelombang datar.

⑤ Persamaan maxwell

(1) $\oint E dA = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} \rightarrow$ hukum Gauss untuk listrik

(2) $\oint B dA = 0 \rightarrow$ hukum Gauss untuk magnet

(3) $\oint E ds = -\frac{d\phi_B}{dt} \rightarrow$ hukum Faraday

(4) $\oint B \cdot ds = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc} \rightarrow$ hukum Ampere Maxwell

Persamaan (4) mewujudkan gagasan Maxwell bahwa medan magnet dapat disebabkan tidak hanya oleh arus listrik biasa, tetapi juga oleh perubahan medan listrik atau perubahan fluks listrik.

kontribusi terbesarnya menghasilkan gelombang EM. $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ yang merupakan kecepatan

$$① \quad E_y = 100 \sin(1 \times 10^7 x - \omega t)$$

a) Amplitudo medan magnet

$$B_{\max} = \frac{E_{\max}}{c} = \frac{100}{3 \times 10^8} = 0,33 \times 10^{-6}$$

$$B_{\max} = 3,3 \times 10^{-7} \text{ T}$$

b) panjang gelombang

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{10^7} = 6,28 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$c) \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{6,28 \times 10^{-7}} = 0,477 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$f = 4,7 \times 10^{16} \text{ Hz}$$

$$② \quad a) \quad f\lambda = c$$

$$f(50 \text{ m}) = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 6 \times 10^6 \text{ Hz} = 6 \text{ MHz}$$

b)

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

$$\text{atau } \frac{22}{B_{\max}} = 3 \times 10^8$$

$$B_{\max} = -73,3 \times 10^{-9} \text{ T } \hat{k}$$

$$B_{\max} = -73,3 \text{ nT}$$

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{B}$$

$$\hat{i} = -\hat{j} \times \hat{k}$$

$$\text{arah } \vec{B} = -\hat{k} \rightarrow \text{ke sumbu } z \text{ negatif}$$

$$c) \quad B_{\max} = -73,3 \text{ nT}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{50} = 0,126 \text{ m}^{-1}$$

dan

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(6 \times 10^6 \text{ s}^{-1}) = 3,77 \times 10^7 \text{ rad/s}$$

$$B = B_{\max} \cos(kx - \omega t)$$

$$\vec{B}(x,t) = -73,3 \cos(0,126x - 3,77 \times 10^7 t) \hat{k} \text{ nT}$$

③

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

$$E_m = c B_m$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ m/s} (10^{-4} \text{ T})$$

$$E_m = 3 \text{ N/C}$$

Resonansi medan listrik

$$E(z,t) = E_m \cos(kz - \omega t)$$

$$\text{arah } \vec{E} \rightarrow \vec{y} = \vec{E} \times \vec{B}$$

$$\vec{B} = \vec{E} \times \vec{j}$$

$$\text{maka arah } \vec{E} \rightarrow \hat{i}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.00003} = 1066 \times 10^3 \text{ m}^{-1}$$

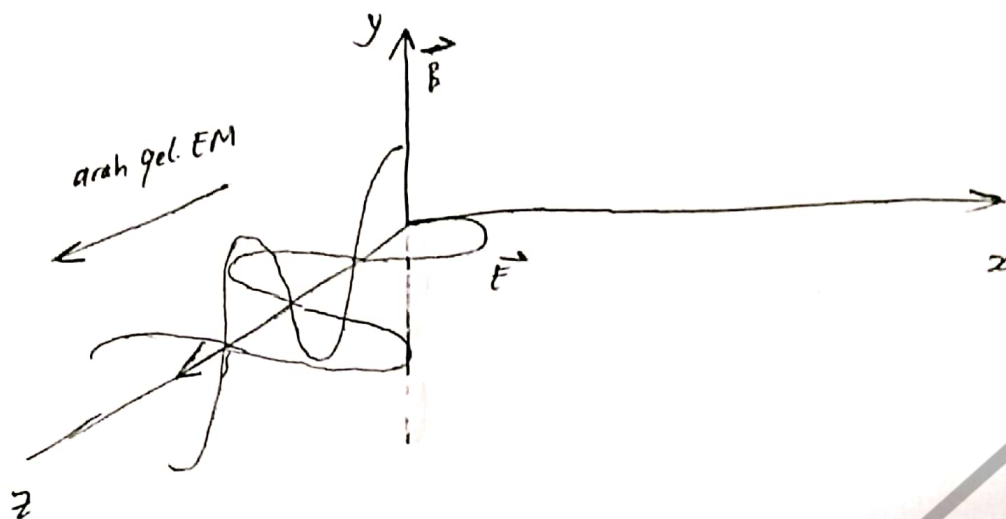
$$f \lambda = c \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{0.00003} = 10^9 \text{ Hz}$$

$$\text{Maka } \vec{E}(z,t) = 3 \cos(1.1 \times 10^3 x - 2\pi(10^9)t) \hat{i}$$

BF

BERFISIKA.COM

3) Ilustrasi perambatan gelombang EM



4) Intensitas yang ditransmisikan

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

$$= 15 \cos^2 (25^\circ)$$

$$I = 12,32 \text{ W/m}^2$$

$$I = S_{\text{avg}} = \frac{E_{\text{rms}}^2}{c\mu_0}$$

$$E_{\text{rms}} = \sqrt{I c \mu_0}$$

$$= \sqrt{12,32 \times 3 \times 10^8 \times 4\pi \times 10^{-7}}$$

$$E_{\text{rms}} = 68,13 \text{ N/C}$$

5) a) arah perambatan gelombang ke sumbu x positif (dilihat dari persamaan)

• arah osilasi medan magnet ke sumbu y positif

b) $\vec{E}(x,t) = E_0 \cos(kx - \omega t) (-\hat{k})$

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{B}$$

$$\hat{i} = \vec{E} \times (\hat{j})$$

maka $\vec{E} \rightarrow (-\hat{k})$

c) Vektor Poynting

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (E_0 \cos(kx - \omega t) (-\hat{k}) \times B_0 \cos(kx - \omega t) \hat{j})$$

$$\vec{S} = \frac{E_0 B_0}{\mu_0} \cos^2(kx - \omega t) \hat{i}$$

nilai max $\cos^2 \theta = 1$

maka: $\vec{S} = \frac{E_0 B_0}{\mu_0} \hat{i}$

6) a) $S = \frac{E_{\max}^2}{2\mu_0 c}$

$$E_{\text{rms}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} \rightarrow E_{\max} = \sqrt{2} E_{\text{rms}}$$

$$S = \frac{2 E_{\text{rms}}^2}{2\mu_0 c} \rightarrow E_{\text{rms}} = \sqrt{S \mu_0 c} = \sqrt{1,37 \times 10^3 (4\pi \times 10^{-7}) (3 \times 10^8)}$$

$$E_{\text{rms}} = 7,18 \times 10^2 \text{ N/C}$$

6) a) B_{rms} ?

$$B_{rms} = \frac{B_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$S = \frac{c B_{max}^2}{2\mu_0}$$

$$S = \frac{c \cdot 2 B_{rms}^2}{2\mu_0}$$

$$B_{rms} = \sqrt{\frac{S\mu_0}{c}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,37 \times 10^3 \times 4\pi \times 10^{-7}}{3 \times 10^8}}$$

$$B_{rms} = 2,39 \times 10^{-9} \text{ T}$$

b) output daya rata-rata

$$P = SA$$

$$= 1,37 \times 10^3 \cdot 4\pi \left(\frac{6,96}{2} \times 10^8 \right)^2$$

$$= 208,38 \times 10^{19}$$

$$= 2,08 \times 10^{21} \text{ W}$$

$$\vec{S}(x,t) = 100 \cos^2(10x - 3 \cdot 10^9 t) \hat{i}$$

a) arah rambat gelombang ke sumbu x positif.

b)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{10} = \frac{6,28}{10} = 0,628 \text{ m}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$3 \cdot 10^9 = 2\pi f$$

$$f = 0,477 \times 10^9$$

$$f = 4,77 \times 10^8 \text{ Hz}$$

c)

$$S = \frac{E_{rms}^2}{c\mu_0}$$

$$E_{max} = \sqrt{2} E_{rms}$$

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$S = \frac{E_{max}^2}{2c\mu_0}$$

$$E_{max} = \sqrt{2c\mu_0 S} = \sqrt{2 \times 3 \times 10^8 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 10^2}$$

$$E_{max} = 27,45 \times 10^2 \text{ N/C}$$

$$E_{max} = 2,7 \times 10^3 \text{ N/C}$$

7) c) medan magnet dari gelombang EM

$$B_m = \frac{E_m}{c} = \frac{2,7 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 0,9 \times 10^1 = 9 \text{ T}$$

8) $E(x,t) = 100 \cos(10x - 3 \cdot 10^9 t) \hat{j}$

$$S = \frac{E_{\max}}{2c\mu_0} = \frac{100}{2 \cdot 3 \times 10^8 \cdot 4\pi \times 10^{-7}} = 0,1326 \text{ W/m}^2$$

a) $r = 628 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P = SA &= 0,1326 (4\pi (628)^2) \\ &= 656829 \text{ W} \\ &= 6,56 \times 10^5 \text{ W} \end{aligned}$$

b) $r = 628,314 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P = SA &= 0,1326 (4\pi (628,314)^2) \\ &= 6,57 \times 10^5 \text{ W} \end{aligned}$$

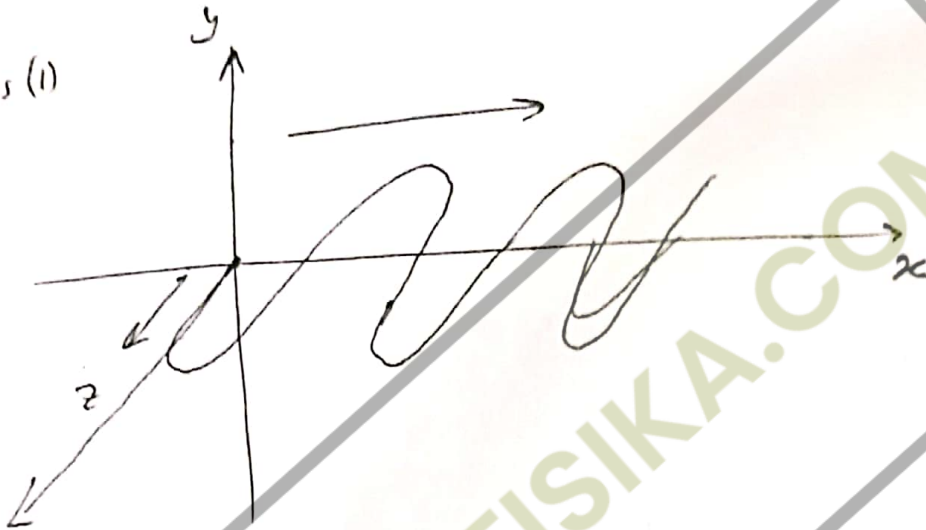
c) $r = 628,157 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P = SA &= 0,1326 (4\pi (628,157)^2) \\ &= 6,57 \times 10^5 \text{ W} \end{aligned}$$

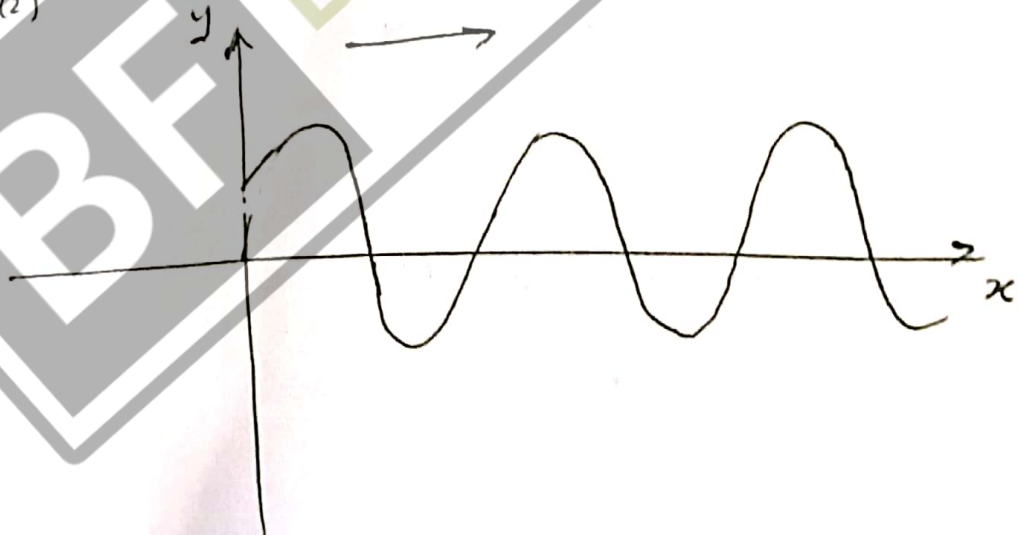
- 9) a) Perbedaan pada arah osilasi. pers (1) arah osilasi \vec{E} ke sumbu z positif
pers (2) arah osilasi \vec{E} ke arah sumbu y positif dan pers (2) terdapat fasa awal α

• Persamaan nya, sama-sama merambat ke sumbu x positif

b) Pers (1)



Pers (2)



- c) Saat keduanya bertemu akan terjadi Superposisi.
akan terjadi Superposisi maksimum dan minimum

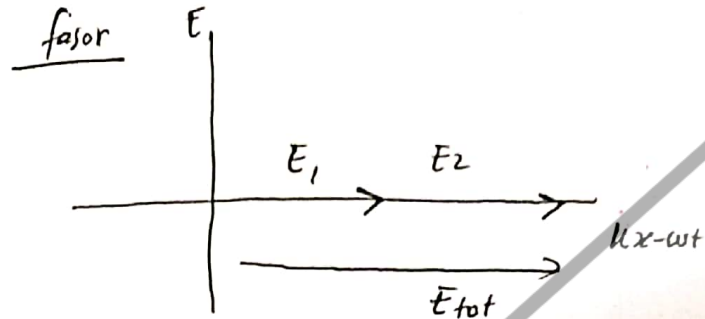
Saat bertemu (asumsi osilasi ke arah sama)

9

untuk $\alpha = 0$

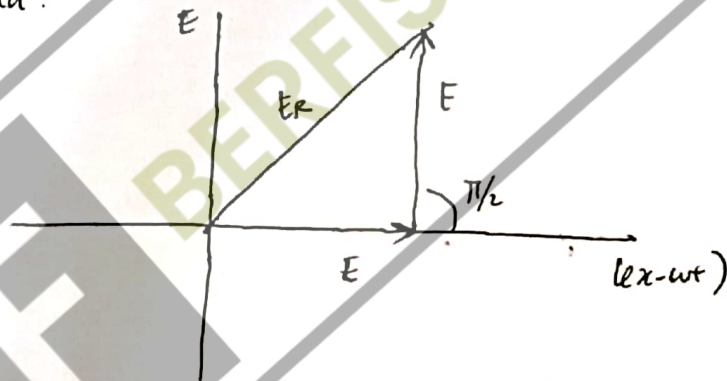
maka : $E_1 = E \cos(kx - \omega t)$

$$E_2 = E \cos(kx - \omega t)$$



maka $E_R = 2E \cos(kx - \omega t)$

Saat $\alpha = \frac{\pi}{2}$ maka :



$$E_{tot} = E_R \cos(kx - \omega t)$$

$$= \sqrt{E^2 + E^2} \cos(kx - \omega t)$$

$$E_R = E\sqrt{2} \cos(kx - \omega t)$$

10

Polarisator dan analisator mengurangi Intensitas Cahaya.

a) Polarisator akan mengurangi $\frac{1}{2}$ dari intensitas awal.

$$\bar{S}_0 = \frac{\bar{I}}{2} \quad \text{dan} \quad \bar{S} = \frac{\bar{I}}{10}$$

Berdasarkan hukum Malus, maka

$$\bar{S} = \bar{S}_0 \cos^2 \theta$$

$$\frac{\bar{I}}{10} = \frac{\bar{I}}{2} \cos^2 \theta$$

$$\frac{1}{5} = \cos^2 \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{5}} \right)$$

$$\theta = 63,4^\circ$$