

FISIKA

GELOMBANG BERJALAN DAN STASIONER

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

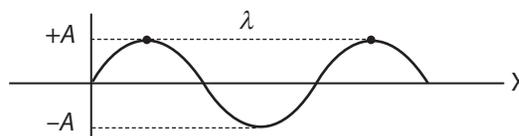
1. Memahami perbedaan antara gelombang berjalan dan gelombang stasioner.
2. Dapat menentukan besaran-besaran yang terlibat dalam pembahasan gelombang berjalan.
3. Dapat menentukan persamaan umum gelombang berjalan.
4. Memahami perbedaan antara gelombang stasioner ujung bebas dan ujung tetap.
5. Dapat menentukan besaran-besaran yang terlibat dalam pembahasan gelombang stasioner ujung bebas maupun ujung tetap.

A. Gelombang Berjalan

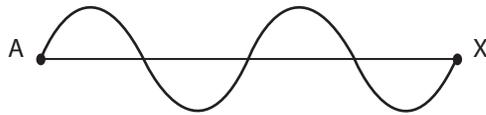
Gelombang berjalan adalah gelombang yang amplitudonya tetap. Dengan kata lain, setiap titik yang dilalui oleh gelombang tersebut bergetar secara harmonik dengan amplitudo yang sama besar. Ada beberapa besaran penting dalam pembahasan gelombang berjalan, yaitu sebagai berikut.

1. Panjang Gelombang

Satu gelombang didefinisikan sebagai satu puncak dan satu lembah, atau dapat dikatakan sebagai jarak dari puncak ke puncak yang berdekatan.



Satu gelombang inilah yang selanjutnya disebut sebagai panjang gelombang. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar berikut.



Pada gambar tersebut terdapat dua puncak dan dua lembah, sehingga jumlah panjang gelombangnya adalah 2. Jika panjang tali AX adalah 12 cm maka panjang gelombangnya dapat ditentukan sebagai berikut.

$$2\lambda = 12 \text{ cm}$$

$$\lambda = 6 \text{ cm}$$

2. Periode dan Frekuensi

Periode gelombang adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk menempuh satu panjang gelombang. Secara matematis, periode gelombang dirumuskan sebagai berikut.

$$T = \frac{t}{n}$$

Keterangan:

T = periode gelombang (s);

t = waktu tempuh gelombang (s); dan

n = banyaknya gelombang.

Frekuensi gelombang adalah banyaknya gelombang yang melewati suatu titik tiap detik. Secara matematis, frekuensi gelombang dirumuskan sebagai berikut.

$$f = \frac{n}{t}$$

Keterangan:

f = frekuensi gelombang (Hz);

t = waktu tempuh gelombang (s); dan

n = banyaknya gelombang.

Hubungan antara periode gelombang dan frekuensi gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T = \frac{1}{f}$$

3. Cepat Rambat Gelombang

Cepat rambat gelombang adalah jarak yang ditempuh suatu gelombang tiap sekon. Secara matematis, cepat rambat gelombang dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \lambda f$$
$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Keterangan:

f = frekuensi gelombang (Hz);

T = periode gelombang (s);

v = cepat rambat gelombang (m/s); dan

λ = panjang gelombang (m).

Contoh Soal 1

Dua buah gabus A dan B berjarak 15 cm satu sama lain. Kedua gabus tersebut naik-turun bersama permukaan air. Gabus A di puncak gelombang dan gabus B di dasar gelombang, serta di antara kedua gabus terdapat satu bukit dan satu lembah gelombang. Jika cepat rambat gelombang 40 cm/s, frekuensi gelombang air tersebut adalah ...

Pembahasan:

Diketahui:

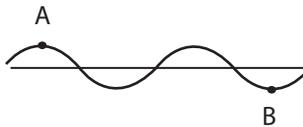
$$v = 40 \text{ cm/s}$$

$$\text{jarak A-B} = 15 \text{ cm}$$

Ditanya: $f = \dots ?$

Dijawab:

Permasalahan pada soal tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Dari gambar tersebut, terlihat bahwa jumlah gelombangnya adalah 1,5.

$$1,5 \lambda = 15 \text{ cm}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = 10 \text{ cm}$$

Dengan demikian, diperoleh:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{40}{10} = 4 \text{ Hz}$$

Jadi, frekuensi gelombang air tersebut adalah 4 Hz.

B. Persamaan Umum Gelombang Berjalan

1. Persamaan Simpangan

Persamaan simpangan gelombang berjalan dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$y = A \sin(\omega t \pm kx)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ dan } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t \pm \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$y = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right)$$

Keterangan:

y = simpangan gelombang (m);

A = amplitudo gelombang (m);

ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s);

t = lamanya sumber gelombang bergetar (s);

k = bilangan gelombang;

x = jarak titik ke sumber getar (m);

T = periode gelombang (s); dan

λ = panjang gelombang (m).

2. Persamaan Kecepatan

Persamaan kecepatan gelombang berjalan dapat diturunkan dari persamaan simpangannya. Secara matematis, persamaan kecepatan gelombang berjalan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \frac{dy}{dt} = A\omega \cdot \cos(\omega t \pm kx)$$

Keterangan:

v = kecepatan gelombang (m/s); dan

y = simpangan gelombang (m).

3. Persamaan Percepatan

Persamaan percepatan gelombang berjalan dapat diturunkan dari persamaan simpangan atau persamaan kecepatannya. Secara matematis, persamaan percepatan gelombang berjalan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$a = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cdot \sin(\omega t \pm kx)$$

Keterangan:

a = percepatan gelombang (m/s²);

v = kecepatan gelombang (m/s); dan

y = simpangan gelombang (m).

Contoh Soal 2

Persamaan gelombang transversal yang merambat pada suatu tali dinyatakan sebagai berikut.

$$y = 10 \sin 2\pi(0,5x - 2t)$$

Jika x dan y dalam meter, serta t dalam sekon, tentukanlah cepat rambat gelombang tersebut.

Pembahasan:

Cara Biasa

$$\begin{aligned} y &= 10 \sin 2\pi(0,5x - 2t) \\ &= 10 \sin(2\pi \cdot 0,5x - 2\pi \cdot 2t) \\ &= 10 \sin(\pi x - 4\pi t) \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut, diketahui:

$$\begin{aligned} \omega &= 4\pi \\ \Leftrightarrow 2\pi f &= 4\pi \\ \Leftrightarrow f &= 2 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \pi \\ \Leftrightarrow \frac{2\pi}{\lambda} &= \pi \\ \Leftrightarrow \lambda &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan demikian, cepat rambat gelombangnya dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} v &= \lambda f \\ &= 2 \cdot 2 \\ &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, cepat rambat gelombang tersebut adalah 4 m/s.

Cara SUPER

• Super "Solusi Quipper" •

$$\begin{aligned} v &= \frac{\text{koefisien } t}{\text{koefisien } x} \\ &= \frac{2}{0,5} \\ &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Sudut Fase Gelombang

Sudut fase (θ_p) adalah besarnya sudut dalam fungsi sinus dari persamaan umum gelombang. Sudut fase dirumuskan sebagai berikut.

$$\theta_p = (\omega t \pm kx) = 2\pi \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right)$$

5. Fase Gelombang

Fase gelombang adalah bagian atau tahapan gelombang yang berkaitan dengan simpangan dan arah geraknya. Fase gelombang dirumuskan sebagai berikut.

$$\varphi_p = \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) = \frac{\theta_p}{2\pi}$$

6. Beda Fase ($\Delta\varphi$)

Untuk suatu titik P yang berjarak x_1 dan titik lain R yang berjarak x_2 dari titik asal getaran O, beda fase di antara titik P dan R pada waktu yang sama dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \varphi_p - \varphi_R \\ &= \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) - \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) \\ &= \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \\ &= \frac{\Delta x}{\lambda} \end{aligned}$$

Dengan demikian, beda fasenya dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

Beda fase suatu titik pada waktu yang berbeda dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$$



Adapun syarat agar dua titik memiliki fase yang sama adalah sebagai berikut.

$$\theta_p = 2n\pi \text{ atau } \Delta\varphi = n \text{ dengan } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Sementara itu, syarat agar dua titik memiliki fase yang berlawanan adalah sebagai berikut.

$$\theta_p = (2n+1)\pi \text{ atau } \Delta\varphi = \frac{1}{2}(2n+1) \text{ dengan } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Contoh Soal 3

Suatu gelombang yang frekuensinya 500 Hz merambat dengan kecepatan 300 m/s. Berapakah jarak antara dua titik yang berbeda sudut fase 60°?

Pembahasan:

Diketahui:

$$f = 500 \text{ Hz}$$

$$v = 300 \text{ m/s}$$

$$\Delta\theta_p = 60^\circ$$

Ditanya: $\Delta x = \dots?$

Dijawab:

Tentukan dahulu panjang gelombangnya.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300}{500} = \frac{3}{5} \text{ m}$$

Kemudian, gunakan rumus beda fase berikut.

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{\Delta x}{\lambda} \\ \Leftrightarrow \Delta x &= \Delta\varphi \cdot \lambda \\ &= \frac{3}{5} \cdot \frac{\Delta\theta_p}{2\pi} \\ &= \frac{3}{5} \cdot \frac{60^\circ}{360^\circ} \\ &= \frac{1}{10} \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, jarak antara dua titik yang berbeda sudut fase 60° adalah 0,1 meter.

C. Gelombang Stasioner (Diam)

Gelombang stasioner merupakan hasil perpaduan dua gelombang yang mempunyai amplitudo dan frekuensi sama, tetapi arah rambatnya berlawanan. Pada gelombang ini, tidak semua titik yang dilalui mempunyai amplitudo yang sama. Ada titik-titik yang bergetar dengan amplitudo maksimum yang disebut **perut (p)**. Selain itu, ada titik-titik yang bergetar dengan amplitudo minimum yang disebut **simpul (s)**. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa amplitudo pada gelombang stasioner berubah-ubah.

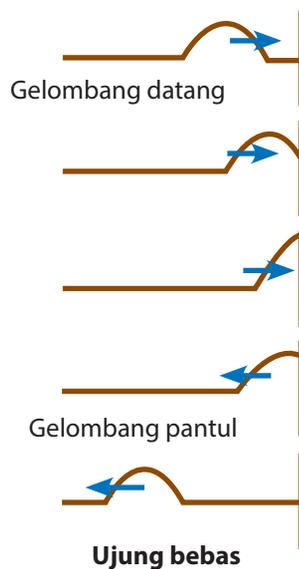
Gelombang stasioner dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang stasioner akibat pantulan pada ujung bebas dan gelombang stasioner akibat pantulan pada ujung tetap.

1. Gelombang Stasioner Akibat Pantulan pada Ujung Bebas

Pada gelombang stasioner akibat pantulan pada ujung bebas, tidak terjadi pembalikan fase. Ini berarti, fase gelombang datang dan gelombang pantulnya sama, sehingga beda fasenya nol ($\Delta\varphi = 0$). Persamaan gelombang datang dan gelombang pantul dari gelombang stasioner jenis ini dapat dituliskan sebagai berikut.

Gelombang datang: $y_1 = A \sin(\omega t + kx)$

Gelombang pantul: $y_2 = -A \sin(\omega t - kx)$



Perpaduan dari kedua gelombang tersebut menghasilkan persamaan gelombang stasioner ujung bebas berikut.

$$\begin{aligned}
 Y_p &= y_1 + y_2 \\
 &= 2A \cos(kx) \cdot \sin(\omega t) \\
 &= A_p \sin(\omega t) \\
 A_p &= 2A \cos(kx)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- A_p = amplitudo gelombang stasioner (m);
- Y_p = simpangan gelombang stasioner (m);
- t = lamanya sumber gelombang bergetar (s);
- x = jarak dari titik pantul (m);
- k = bilangan gelombang; dan
- ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s).

Untuk menentukan letak perut dari ujung bebas, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$x_p = \frac{1}{2} \lambda \cdot n$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$x = 0, \frac{1}{2} \lambda, \lambda, 1\frac{1}{2} \lambda, 2\lambda, \dots$$

Sementara itu, untuk menentukan letak simpul dari ujung bebas, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$x_s = \frac{1}{4} \lambda (2n + 1)$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

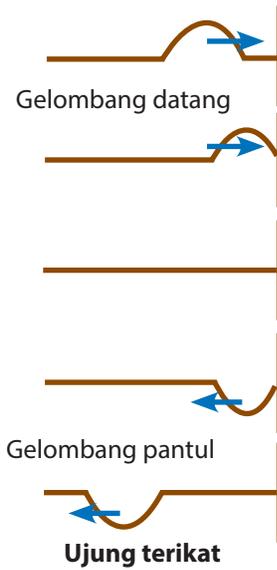
$$x = \frac{1}{4} \lambda, \frac{3}{4} \lambda, \frac{5}{4} \lambda, \dots$$

2. Gelombang Stasioner akibat Pantulan pada Ujung Tetap

Pada gelombang stasioner akibat pantulan pada ujung tetap, terjadi pembalikan fase sebesar $\frac{1}{2} \pi$ sehingga beda fasenya $\Delta \varphi = \frac{1}{2}$. Persamaan gelombang datang dan gelombang pantul dari gelombang stasioner jenis ini dapat dituliskan sebagai berikut.

Gelombang datang: $y_1 = A \sin(\omega t + kx)$ ke arah kanan

Gelombang pantul: $y_1 = A \sin(\omega t - kx)$ ke arah kiri (berlawanan fase)



Perpaduan dari kedua gelombang tersebut menghasilkan persamaan gelombang stasioner ujung tetap berikut.

$$\begin{aligned}
 Y_p &= y_1 + y_2 \\
 &= 2A \sin(kx) \cdot \cos(\omega t) \\
 &= A_p \cos(\omega t) \\
 A_p &= 2A \sin(kx)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- A_p = amplitudo gelombang stasioner (m);
- Y_p = simpangan gelombang stasioner (m);
- t = lamanya sumber gelombang bergetar (s);
- x = jarak dari titik pantul (m);
- k = bilangan gelombang; dan
- ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s).

Untuk menentukan letak perut dari ujung terikat, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$x_p = \frac{1}{4} \lambda (2n + 1)$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$x = \frac{1}{4} \lambda, \frac{3}{4} \lambda, \frac{5}{4} \lambda, \dots$$

Sementara itu, untuk menentukan letak simpul dari ujung terikat, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$x_s = \frac{1}{2} \lambda \cdot n$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$x = 0, \frac{1}{2} \lambda, \lambda, 1\frac{1}{2} \lambda, 2\lambda, \dots$$

Contoh Soal 4

Pada gelombang stasioner, titik simpul ke-10 berjarak 1,33 m dari ujung bebasnya. Jika diketahui frekuensi gelombang 50 Hz, panjang gelombang dan cepat rambatnya berturut-turut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$x_{10} = 1,33 \text{ m} = 133 \text{ cm} \quad (\text{simpul ke-10 berarti } n = 9)$$

Ditanya: $\lambda = \dots?$

$$v = \dots?$$

Dijawab:

Pada ujung bebas, letak simpul dirumuskan sebagai berikut.

$$x_{10} = \frac{1}{4} \lambda (2n + 1)$$

$$\Leftrightarrow 133 = \frac{1}{4} \lambda (2(9) + 1)$$

$$\Leftrightarrow 19\lambda = 532$$

$$\Leftrightarrow \lambda = 28 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$$

Oleh karena $\lambda = 0,28 \text{ m}$, maka cepat rambat gelombangnya dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} v &= \lambda \cdot f \\ &= 0,28(50) \\ &= 14 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, panjang gelombang dan cepat rambatnya berturut-turut adalah 0,28 m dan 14 m/s.

Contoh Soal 5

Suatu gelombang mempunyai persamaan $y = 0,2 \cos(4\pi x) \sin(5\pi t)$. Jika y dan x dalam meter, serta t dalam sekon, tentukanlah jarak antara titik perut dan titik simpul yang berdekatan.

Pembahasan:

Diketahui:

$$y = 0,2 \cos(4\pi x) \sin(5\pi t)$$

Ditanya: jarak perut dan simpul yang berdekatan = ...?

Dijawab:

Mula-mula, tentukan panjang gelombangnya.

Dari persamaan $y = 0,2 \cos(4\pi x) \sin(5\pi t)$, diketahui:

$$k = 4\pi$$

$$\Leftrightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = 4\pi$$

$$\Leftrightarrow \lambda = 0,5 \text{ m}$$

Untuk menentukan jarak perut dan simpul yang berdekatan, tentukan dahulu nilai saat $n = 0$.

$$x_p = \frac{1}{2} \lambda \cdot n = 0$$

$$x_s = \frac{1}{4} \lambda (2n + 1) = \frac{1}{4} \lambda (2 \cdot 0 + 1) = \frac{1}{4} \lambda$$

Dengan demikian, jarak perut dan simpul yang berdekatan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} x_s - x_p &= \frac{1}{4} \lambda \\ &= \frac{1}{4} \cdot (0,5) \\ &= \frac{1}{8} \\ &= 0,125 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, jarak perut dan simpul yang berdekatan adalah 0,125 m atau 12,5 cm.

Contoh Soal 6

Sebuah tali yang panjangnya 95 cm direntangkan. Salah satu ujung tali tersebut digetarkan harmonik naik-turun dengan amplitudo 8 cm dan frekuensi $\frac{1}{4}$ Hz. Sementara itu, ujung tali lainnya terikat. Jika getaran tersebut merambat dengan kecepatan 3 cm/s, letak simpul ke-5 dan perut ke-2 dari titik asal getaran berturut-turut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$L = 95 \text{ cm}$$

$$A = 8 \text{ cm}$$

$$f = \frac{1}{4} \text{ Hz}$$

$$v = 3 \text{ cm/s}$$

$$\text{Ditanya: } x_{s5} = \dots?$$

$$x_{p2} = \dots?$$

Dijawab:

Mula-mula, tentukan panjang gelombangnya.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3}{\frac{1}{4}} = 12 \text{ cm}$$

Kemudian, tentukan letak simpul ke-5 dari ujung terikat.

Simpul ke-5 berarti $n = 4$ sehingga:

$$\begin{aligned} x_{s5} &= \frac{1}{2} \lambda \cdot n \\ &= \frac{1}{2} \cdot 12(4) \\ &= 24 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan demikian, letak simpul ke-5 dari sumber getarnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L - x_{s5} &= 95 - 24 \\ &= 71 \text{ cm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, tentukan letak perut ke-2 dari ujung terikat.

Perut ke-2 berarti $n = 1$, sehingga:

$$\begin{aligned}x_{p_2} &= \frac{1}{4} \lambda (2n + 1) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 12(2 \cdot 1 + 1) \\ &= 9 \text{ cm}\end{aligned}$$

9 cm Dengan demikian, letak perut ke-2 dari sumber getarnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}L - x_2 &= 95 - 9 \\ &= 86 \text{ cm}\end{aligned}$$

Jadi, letak simpul ke-5 dan perut ke-2 dari titik asal getaran berturut-turut adalah 71 cm dan 86 cm.