

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

GELOMBANG BERJALAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan Anda dapat memiliki kemampuan sebagai berikut.

1. Memahami Gelombang Berjalan
2. Menerapkan Persamaan simpangan
3. Menerapkan Persamaan kecepatan
4. Menerapkan Persamaan percepatan
5. Menerapkan Sudut fase gelombang
6. Menerapkan Fase gelombang
7. Menerapkan Beda fase

B. Uraian Materi

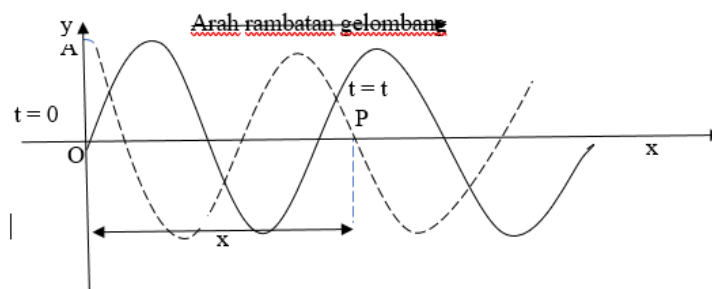
1. Gelombang Berjalan

Apakah Anda pernah memperhatikan bentuk dari tali setelah digetarkan? Bagaimana polanya? Bagaimana bentuk persamaan gelombangnya? Bagaimana menghitung kecepatan gelombangnya? Bagaimana menentukan percepatan gelombangnya? Mau tahu apa jawabannya? Mari kita pahami materi gelombang berjalan yang sedang Anda pelajari.

Gelombang berjalan adalah gelombang yang amplitudo dan fasenya sama di setiap titik yang dilalui gelombang. Suatu gelombang dimana setiap titik yang dilalui oleh gelombang tersebut bergetar harmonis dengan amplitudo yang sama besar. Amplitudo pada tali yang digetarkan terus menerus akan selalu tetap, oleh karenanya gelombang yang memiliki amplitudo yang tetap setiap saat disebut gelombang berjalan.

2. Persamaan simpangan

Seutas tali yang cukup panjang digetarkan sehingga pada tali terbentuk gelombang transversal berjalan. Gelombang merambat dari titik O sebagai pusat koordinat menuju arah sumbu $-x$ positif. Mari kita perhatikan gambar berikut:



Gambar 9.1, Perambatan Gelombang

Jika titik O telah bergetar secara periodik selama t detik, maka simpangan gelombang di titik O akan memenuhi simpangan getaran harmonis, yaitu

$$y = A \sin \omega t \quad (9 - 1)$$

Dengan:

y = simpangan gelombang atau simpangan getaran titik yang dilalui (m)

A = Amplitudo atau simpangan maksimum (m)

ω = kecepatan sudut (rads^{-1})

$\omega = 2\pi f$, dengan f adalah frekuensi getar (Hz)

t = lamanya titik O telah bergetar (s)

Oleh karena $\omega = 2\pi f$ atau bisa juga ditulis $\omega = 2\pi \frac{1}{T}$, maka persamaan 9 - 1 dapat ditulis menjadi

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \text{atau} \quad y = A \sin 2\pi \frac{t}{T} \quad (9 - 2)$$

Bagaimana jika Anda menginginkan mencari fase gelombangnya? Dari persamaan di atas Anda dapat tuliskan sebagai

$$y = A \sin 2\pi \varphi \quad (9 - 3)$$

Maka Anda dapat menentukan persamaan fase gelombang yaitu $\varphi = \frac{t}{T}$ atau $\varphi = ft$

Bagaimana dengan sudut fase? Anda tinggal mengambil variabel di dalam sinus, yaitu

$$\theta = \omega t$$

Gelombang merambat dari titik O sepanjang sumbu-x positif. Sebuah titik P bergerak x dari titik O akan ikut bergetar karena adanya rambatan getaran dari titik O ke titik P. Gelombang yang terbentuk itu disebut gelombang berjalan. Waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk merambat dari titik O ke titik P adalah $t_p = \frac{x}{v}$ sekon.

Jika titik O telah bergetar selama t sekon dan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat sampai di titik P adalah $t_p = \frac{x}{v}$, maka titik P baru bergetar selama $(t - t_p) = \left(t - \frac{x}{v}\right)$ sekon. Sehingga Anda dapat menentukan persamaan simpangan gelombang di titik P menjadi

$$y_p = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right)$$

Anda dapat membuat persamaan di atas menjadi persamaan yang biasa digunakan dengan mensubstitusikan nilai $= \frac{2\pi}{T}$, sehingga persamaannya dapat Anda tulis menjadi

$$y_p = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

Persamaan di atas dapat Anda tulis menjadi

$$y_p = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{Tv} \right)$$

Anda sudah tahu bahwa $Tv = \lambda$, maka persamaan di atas Anda dapat tulis juga sebagai

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

Mari Anda ganti $\omega = \frac{2\pi}{T}$ disebut kecepatan sudut (rads^{-1}) dan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ disebut bilangan gelombang (radm^{-1})

$$y_p = A \sin(\omega t - kx) \quad (9 - 4)$$

Dapat Anda simpulkan persamaan simpangan gelombang secara lengkap adalah

$$y_p = \pm A \sin(\omega t \mp kx) \quad (9 - 5)$$

Anda tentu dapat membuat kesimpulan berhubungan dengan tanda di depan amplitudo A dan bilangan gelombang k , yaitu:

- + A berarti simpangan awal gelombang ke atas
- A berarti simpangan awal gelombang ke bawah
- k berarti gelombang merambat ke kanan
- + k berarti gelombang merambat ke kiri

Keterangan:

- y = simpangan (m);
- A = amplitudo gelombang (m);
- ω = kecepatan sudut gelombang (rads^{-1});
- t = lamanya gelombang beretar (s);
- T = periode gelombang (s);
- k = bilangan gelombang (radm^{-1});
- x = jarak titik ke sumber getar (m); dan
- λ = panjang gelombang (m).

3. Persamaan kecepatan

Seperti Anda ketahui bahwa kecepatan merupakan turunan pertama dari jarak atau simpangan. Dengan demikian, persamaan kecepatan gelombang berjalan adalah persamaan yang diturunkan dari persamaan simpangan. Secara matematis, jika Anda ambil persamaan gelombang yang simpangan awal ke atas dan arah rambatnya ke kanan maka Anda dapat turunkan persamaannya sebagai berikut:

$$v = \frac{dy}{dt}$$

$$v = \frac{d(A \sin(\omega t - kx))}{dt}$$

$$v = A \cos(\omega t - kx) \cdot \omega$$

Sehingga Anda dapat tulis

$$v = A\omega \cos(\omega t - kx)$$

(9 - 6)

Bagaimana jika Anda ditanya kecepatan maksimum, maka Anda tinggal ambil variabel sebelum cos yaitu $A\omega$, jadi kecepatan maksimum dapat Anda tuliskan

$$v_m = A\omega$$

Keterangan:

v = kecepatan (m/s); dan

y = simpangan gelombang (m).

4. Persamaan percepatan

Seperti halnya kecepatan, Anda dapat mencari persamaan percepatan merupakan turunan pertama dari kecepatan atau percepatan merupakan turunan kedua dari simpangan. Secara matematis, Anda dapat mencari persamaan percepatan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

$$a = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{d(A\omega \cos(\omega t - kx))}{dt}$$

$$a = A\omega \cdot -\sin(\omega t - kx) \cdot \omega$$

Sehingga akhirnya Anda dapat menulis persamaan gelombang berjalan sebagai berikut:

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t - kx)$$

Dari persamaan di atas, Anda pasti dapat menentukan percepatan maksimum gelombang berjalan, yaitu:

$$a = A\omega^2$$

Keterangan:

a = percepatan (ms^{-2});

v = kecepatan gelombang (ms^{-1}); dan

y = simpangan (m).

5. Sudut Fase, Fase dan Beda fase Gelombang Stasioner

Pada gelombang berjalan Anda juga dapat menentukan sudut fase dan fase gelombang serta beda fase. Sudut fase adalah sudut yang ditempuh oleh benda yang bergetar. Sudut fase dinyatakan dalam fungsi sinus dari persamaan umum gelombang. Fase gelombang adalah besaran yang berkaitan dengan simpangan dan arah gerak gelombang. Beda fase adalah perbedaan fase gelombang atau tahapan gelombang.

Tiga variabel tersebut dapat Anda turunkan dengan mudah dari persamaan gelombang berjalan, mari Anda turunkan. Tuliskan persamaan umum gelombang berjalan, misalnya Anda ambil persamaan simpangan gelombang yang simpangan awalnya ke atas dan arah rambatnya ke kanan,

$$y_p = A \sin(\omega t - kx) \quad (9 - 8)$$

Maka sudut fase $\theta_p = \omega t - kx$, bagaimana dengan fase gelombang? Fase Anda bisa peroleh dengan membagi sudut fase dengan 2π , maka Anda akan dapatkan

$$\varphi = \frac{\theta_p}{2\pi} = \frac{\omega t - kx}{2\pi} = \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \quad (9 - 9)$$

Tinggal Anda tentukan beda fase kan? Beda berarti selisih kan? Maka beda fase Anda dapat artikan selisih fase

Beda fase disimbulkan dengan $\Delta\varphi$. Jika Anda mau turunkan persamaan beda fase maka Anda bisa mengikuti langkah-langkah berikut ini:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\Delta\varphi = \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right) - \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = -\frac{x_2}{\lambda} - \left(-\frac{x_1}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = -\frac{x_2}{\lambda} + \frac{x_1}{\lambda}$$

$$\Delta\varphi = -\left(\frac{x_2 - x_1}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = -\left(\frac{\Delta x}{\lambda}\right) \quad (9 - 10)$$

Dua buah titik bisa memiliki fase sama dengan syarat sebagai berikut.

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

Dua buah titik bisa memiliki fase berlawanan dengan syarat sebagai berikut.

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

C. Rangkuman

1. Gelombang berjalan adalah gelombang yang amplitudo dan fasenya sama di setiap titik yang dilalui gelombang.

2. Simpangan gelombang berjalan

$$y_p = \pm A \sin(\omega t \mp kx)$$

3. Kecepatan gelombang berjalan

$$v = A\omega \cos(\omega t - kx)$$

4. Percepatan gelombang berjalan

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t - kx)$$

5. Sudut Fase

$$\theta_p = \omega t - kx$$

6. Fase

$$\varphi = \frac{\theta_p}{2\pi} = \frac{\omega t - kx}{2\pi} = \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}$$

7. Beda Fase

$$\Delta\varphi = - \left(\frac{\Delta x}{\lambda} \right)$$

8. Dua buah titik bisa memiliki fase sama dengan syarat sebagai berikut.

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

9. Dua buah titik bisa memiliki fase berlawanan dengan syarat sebagai berikut.

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

D. Latihan Soal

1. 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.

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

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

GELOMBANG STASIONER

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat :

1. menganalisis gelombang stasioner ujung bebas.
2. menganalisis gelombang stasioner ujung tetap.

B. Uraian Materi

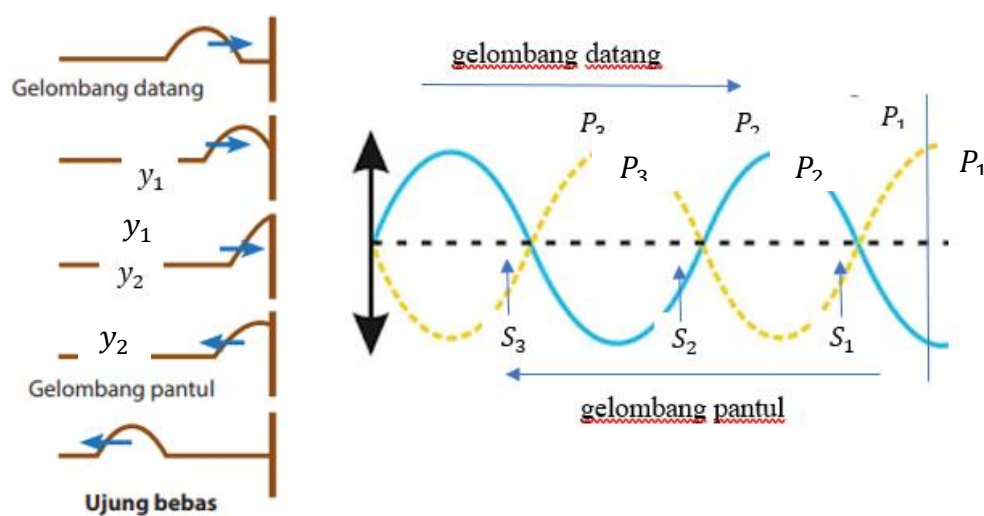
Gelombang stasioner adalah jenis gelombang yang mempunyai amplitudo tidak tetap atau berubah-ubah. Gelombang stasioner adalah hasil perpaduan dua buah gelombang yang amplitudonya selalu berubah. Artinya, tidak semua titik yang dilalui gelombang ini memiliki amplitudonya sama. Saat membahas gelombang stasioner, Anda akan bertemu dengan istilah perut dan simpul. Perut adalah titik amplitudo maksimum, sedangkan simpul adalah titik amplitudo minimum.

Gelombang stasioner ini dikenal juga dengan nama gelombang berdiri atau gelombang tegak. Gelombang stasioner ini dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu:

- a. Gelombang stasioner yang diakibatkan oleh pemantulan di ujung terikat
- b. Gelombang stasioner dengan ujung bebas

1. Gelombang Stasioner Ujung Bebas

Gelombang stasioner ujung bebas tidak mengalami pembalikan fase. Artinya, fase gelombang datang dan pantulnya sama. Dengan demikian, beda fasenya sama dengan nol.



Gambar 9.3, Gelombang Stasioner Ujung bebas

Bagaimana Anda dapat menuliskan persamaan gelombang stasioner ujung bebas? Anda bisa memperhatikan gambar gelombang di atas.

$y_1 = A \sin(\omega t - kx)$, karena gelombang datang simpangan awalnya ke atas dan merambat ke kanan

$y_2 = A \sin(\omega t + kx)$, karena gelombang pantul simpangan awalnya juga ke atas dan merambat ke kiri

Anda dapat menjumlahkan kedua gelombang di atas, maka Anda dapat tulis

$$y_p = y_1 + y_2$$

$$y_p = A \sin(\omega t - kx) + A \sin(\omega t + kx)$$

$$y_p = A (\sin(\omega t - kx) + \sin(\omega t + kx)), \text{ ingat } \sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

Jadi bisa Anda tuliskan,

$$y_p = A (2 (\sin \frac{1}{2}((\omega t - kx) + (\omega t + kx))) \cos \frac{1}{2}((\omega t - kx) - ((\omega t + kx)))$$

$$y_p = 2A (\sin \frac{1}{2}(\omega t - kx + \omega t + kx) \cos \frac{1}{2}(\omega t - kx - \omega t - kx))$$

$$y_p = 2A \sin \frac{1}{2}(2\omega t) \cos \frac{1}{2}(-2kx)$$

$y_p = 2A \sin(\omega t) \cos(-kx)$, ingat $\cos(-\theta) = \cos \theta$, sehingga Anda bisa tulis

$y_p = 2A \sin(\omega t) \cos(kx)$, ingat bentuk persamaan dasar gelombang adalah $y = A \sin(\omega t)$, maka y_p , dapat Anda tulis dalam bentuk

$$y_p = 2A \cos(kx) \sin(\omega t)$$

jadi perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul pada gelombang stasioner ujung bebas menghasilkan persamaan berikut:

$$Y_p = 2A \cos(kx) \sin(\omega t) \quad (9 - 11)$$

Anda langsung bisa menyimpulkan bahwa amplitudo gelombang stasioner ujung bebas adalah

$$A_p = 2A \cos(kx) \quad (9 - 12)$$

Karena nilai $\sin \omega t$ nilai maksimumnya adalah 1

Keterangan:

A_p = amplitudo gelombang stasioner (m);

Y_p = simpangan gelombang stasioner (m);

ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s);

t = lamanya gelombang beretar (s);

k = bilangan gelombang; dan

x = jarak titik ke sumber getar (m)

Untuk menentukan letak perut dari ujung bebas, Anda bisa menggunakan persamaan berikut.

$$P_n = \frac{1}{2} \lambda n \quad (9 - 13)$$

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

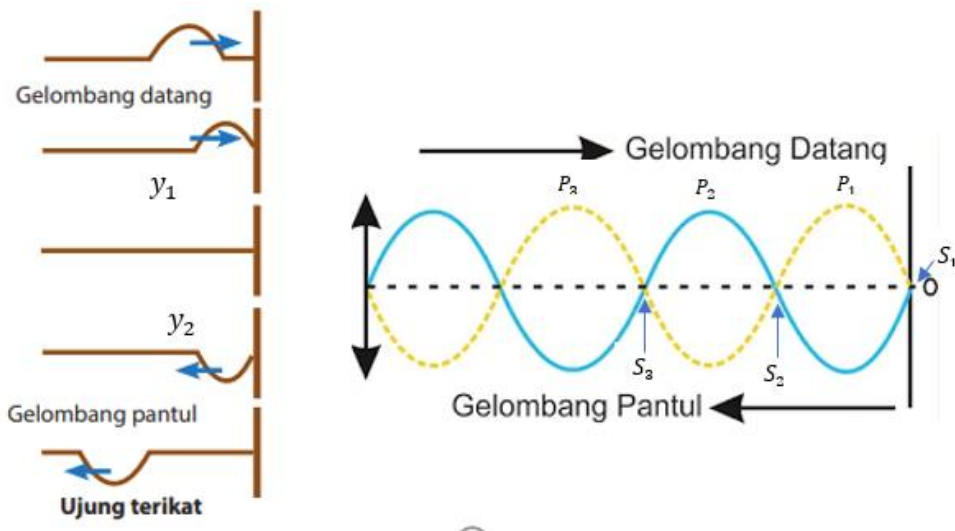
Untuk menentukan letak simpul dari ujung bebas, Anda bisa menggunakan persamaan berikut.

$$S_n = \frac{1}{4} \lambda (2n + 1) \quad (9 - 14)$$

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

2. Gelombang Stasioner Ujung Tetap

Bagaimana Anda bisa menurunkan persamaan gelombang stasioner ujung terikat? Berbeda dengan gelombang stasioner ujung bebas, pada ujung tetap terjadi pembalikan fase sebesar $\varphi = \frac{1}{2} \pi$ sehingga beda fasenya menjadi $\Delta\varphi = \frac{1}{2} \pi$



Gambar 9.4, Gelombang Stasioner Ujung Tetap

Anda bisa memulai dengan menuliskan persamaan gelombang datang dan gelombang pantul

$y_1 = A \sin(\omega t - kx)$, karena gelombang datang simpangan awalnya ke atas dan merambat ke kanan

$y_2 = -A \sin(\omega t + kx)$, karena gelombang pantul simpangan awalnya ke bawah dan merambat ke kiri

Anda dapat menjumlahkan kedua gelombang di atas, maka Anda dapat tulis

$$y_p = y_1 + y_2$$

$$y_p = A \sin(\omega t - kx) + (-A \sin(\omega t + kx))$$

$$y_p = A (\sin(\omega t - kx) - \sin(\omega t + kx)), \text{ ingat } \sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$$

Jadi bisa Anda tuliskan,

$$y_p = A (2 (\sin \frac{1}{2}((\omega t - kx) - (\omega t + kx))) \cos \frac{1}{2}((\omega t - kx) + (\omega t + kx)))$$

$$y_p = 2A (\sin \frac{1}{2}(\cancel{\omega t} - kx - \cancel{\omega t} - kx)) \cos \frac{1}{2}(\omega t - \cancel{kx} + \omega t + \cancel{kx})$$

$$y_p = 2A \sin \frac{1}{2}(-2kx) \cos \frac{1}{2}(2\omega t)$$

$$y_p = 2A \sin(-kx) \cos(\omega t), \text{ ingat } \sin(-\theta) = -\sin \theta,$$

sehingga Anda bisa tulis

$$y_p = -2A \sin(kx) \cos(\omega t),$$

ingat tanda - (negatif) di depan A (amplitudo) adalah tanda gelombang tersebut simpangan awalnya ke bawah, jadi Anda bisa tuliskan hanya dalam bentuk persamaan:

$$y_p = 2A \sin(kx) \cos(\omega t),$$

jadi perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul pada gelombang stasioner ujung tetap menghasilkan persamaan berikut:

$$Y_p = 2A \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (9 - 15)$$

Anda langsung bisa menyimpulkan bahwa amplitudo gelombang stasioner ujung tetap adalah

$$A_p = 2A \sin(kx) \quad (9 - 16)$$

Karena nilai $\cos \omega t$ nilai maksimumnya adalah 1

Keterangan:

A_p = amplitudo gelombang stasioner (m);

Y_p = simpangan gelombang stasioner (m);

ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s);

t = lamanya gelombang beretar (s);

k = bilangan gelombang; dan

x = jarak titik ke sumber getar (m).

Untuk menentukan letak perut dari ujung tetap, Anda bisa menggunakan persamaan berikut.

$$P_n = \frac{1}{4} \lambda(2n + 1) \quad (9 - 17)$$

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

Untuk menentukan letak simpul dari ujung tetap, Anda bisa menggunakan persamaan berikut.

$$S_n = \frac{1}{2} \lambda n \quad (9 - 18)$$

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

Belajar konsep dasar sudah, kira-kira belajar apa lagi ya? Bagaimana jika selanjutnya berlatih soal? *Nah*, untuk meningkatkan pemahaman Anda tentang gelombang berjalan dan stasioner, simak contoh soal berikut ini.

C. Rangkuman

1. Gelombang stasioner adalah hasil perpaduan dua buah gelombang yang amplitudonya selalu berubah.
2. Perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul pada ujung bebas
 $Y_p = 2A \cos(kx) \sin(\omega t)$
 $A_p = 2A \cos(\omega t)$
3. Untuk menentukan letak perut dari ujung bebas, gunakan persamaan berikut
 $x_p = \frac{1}{2} \lambda n$
 $n = 0, 1, 2, 3, \dots$
4. Untuk menentukan letak simpul dari ujung bebas, gunakan persamaan berikut
 $x_s = \frac{1}{4} \lambda(2n + 1)$
 $n = 0, 1, 2, 3, \dots$
5. Persamaan simpangan gelombang stasioner ujung tetap
 $Y_p = 2A \sin kx \cos \omega t$
 $A_p = 2A \sin(kx)$
6. Untuk menentukan letak simpul dari ujung tetap, gunakan persamaan berikut
 $x_s = \frac{1}{2} \lambda n$
 $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

7. Untuk menentukan letak perut dari ujung tetap, gunakan persamaan berikut

$$x_p = \frac{1}{4}\lambda (2n + 1)$$
$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

D. Latihan Soal

1. Pada gelombang stasioner, titik simpul ke-10 berjarak 1,33 m dari ujung bebasnya. Jika diketahui frekuensi gelombang 50 Hz. Tentukan panjang gelombang dan cepat rambatnya gelombang.
2. 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.
3. Sebuah tali yang panjangnya 95 cm direntangkan. Salah satu ujung tali tersebut digetarkan harmonik naik-turun dengan amplitudo 8 cm dan frekuensi 14 Hz. Sementara itu, ujung tali lainnya terikat. Jika getaran tersebut merambat dengan kecepatan 3 cm/s, Tentukan letak simpul ke-5 dan perut ke-2 dari titik asal getaran.