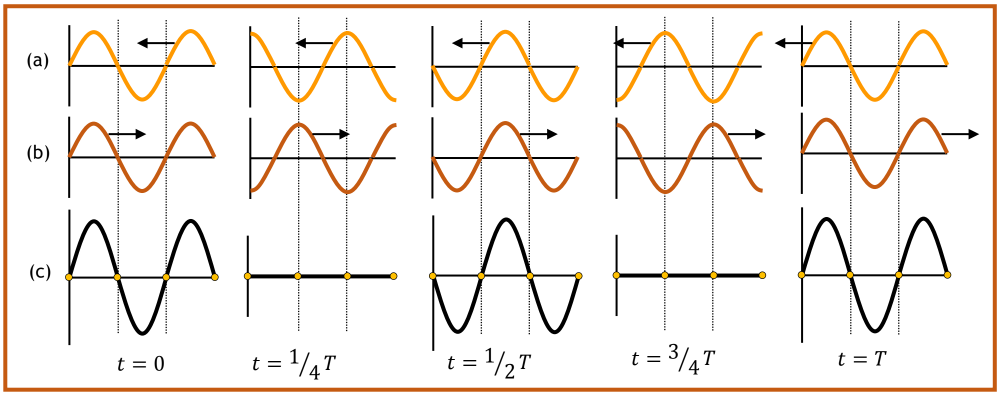
Bagian 3. Gelombang Stasioner

Jika sebelumnya kita telah menganalisis resultan dua buah gelombang sinusoidal dengan panjang gelombang dan periode yang sama bergerak searah, maka kali ini kita akan menganalisis dua buah gelombang sinusoidal tersebut dalam keadaan **berlawanan arah**. Lalu bagaimanakah prinsip superposisi gelombang berlaku? Bagaimanakah resultan kedua gelombang tersebut?

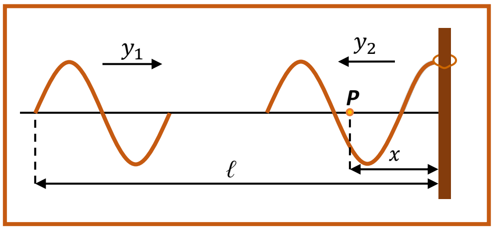


Gambar 2.7 Lima keadaan saat gelombang bergerak ke arah: (a) kiri; (b) kanan; dan (c) resultan kedua gelombang (a) dan (b)

Pada Gambar 2.7(a) ditunjukkan gelombang sinusoidal yang bergerak ke arah kiri dan Gambar 2.7(b) yaitu gelombang sinusoidal yang bergerak ke arah kanan, sedangkan Gambar 2.7(c) merupakan resultan dari kedua gelombang tersebut berdasarkan prinsip superposisi gelombang. Ketika gelombang yang **sefase** bertemu maka resultan yang dihasilkan berupa **perut** (amplitudo maksimum) seperti yang ditunjukkan ketika $t = 0$, $t = {}^{1}/_{2}\,T$, dan $t = T$, sedangkan ketika gelombang yang **tidak sefase** bertemu maka resultan yang dihasilkan berupa **simpul** (amplitudo nol) seperti yang ditunjukkan ketika $t = {}^{1}/_{4}\,T$ dan $t = {}^{3}/_{4}\,T$. Gelombang dengan amplitudo yang tidak konstan seperti ini dinamakan dengan **gelombang stasioner**. Gelombang stasioner juga dinamakan gelombang diam, gelombang berdiri, dan gelombang tegak. Selanjutnya bagaimanakah persamaan simpangan resultan kedua gelombang?

Gelombang stasioner dibedakan menjadi dua keadaan. Pertama yaitu ketika ujung tali bebas bergerak, sedangkan yang kedua yaitu ketika ujung tali dalam keadaan terikat. Lalu apa perbedaan di antara keduanya?

1. *Ujung Bebas*



Gambar 2.8 Bentuk gelombang datang dan gelombang pantul pada ujung bebas

Misal gelombang datang dengan persamaan $y_1(x,t) = y_m \sin[k(\ell - x) - \omega t]$ dan gelombang pantul dengan persamaan $y_2(x,t) = y_m \sin[k(\ell + x) - \omega t]$ dimana x adalah jarak titik P dari ujung bebas. Titik P juga dianggap mengalami perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul. Berdasarkan prinsip superposisi gelombang maka:

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

$$= y_m \sin[k(\ell - x) - \omega t] + y_m \sin[k(\ell + x) - \omega t]$$

Berdasarkan identitas trigonometri berlaku: $sin\ \alpha + \sin\beta =$ $2\sin\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)$,

sehingga:

$$\boxed{y'(x,t) = [2y_m \cos kx]\sin(k\ell - \omega t)} \quad \text{.... (2.18)}$$

Persamaan (2.18) merupakan persamaan simpangan bagi gelombang stasioner ujung bebas di mana amplitudonya sebesar $2y_m \cos kx$. Karena besar amplitudonya bervariasi terhadap x, maka kita dapat menentukan pada nilai x berapa sajakah terjadi perut dan simpul gelombang. Perut terjadi ketika simpangan mencapai nilai maksimum $(2y_m)$ atau dengan kata lain $\cos kx = 1$. Nilai $\cos kx$ sama dengan 1 ketika:

$kx = 0, \pi, 2\pi, ...$

$kx = n\pi$ untuk $n = 0, 1, 2, \dots$

Kita substitusikan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, sehingga:

$$\boxed{x = n\frac{\lambda}{2}} \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, \dots \qquad \dots (2.19)$$

sedangkan simpul terjadi ketika simpangan mencapai nilai minimum (0) atau dengan kata lain $\cos kx = 0$. Nilai $\cos kx$ sama dengan nol ketika:

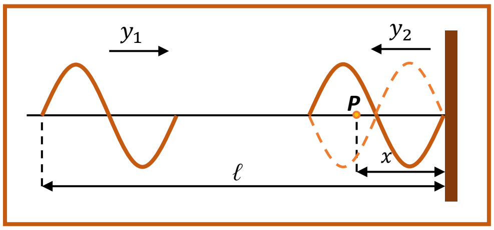
$$kx = \frac{1}{2}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots$$

$$kx = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi \text{ untuk } n = 0, 1, 2, \dots$$

Kita substitusikan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, sehingga:

$$\boxed{x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}} \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, \dots \qquad \dots (2.20)$$

2. *Ujung Terikat*



Gambar 2.9 Bentuk gelombang datang dan gelombang pantul pada ujung terikat

Misal gelombang datang dengan persamaan $y_1(x,t) = y_m \sin[k(\ell - x) - \omega t]$ dan gelombang pantul dengan persamaan $y_2(x,t) = y_m \sin[k(\ell + x) - \omega t + \pi]$ di mana x adalah jarak titik P dari ujung terikat. Titik P juga dianggap mengalami perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul. Perbedaan sudut fase sebesar π menandakan adanya perbedaan fase antara gelombang datang dan gelombang pantul (Gambar 2.9). Berdasarkan prinsip superposisi gelombang maka:

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$
$$= y_m \sin[k(\ell - x) - \omega t]$$
$$+ y_m \sin[k(\ell + x) - \omega t + \pi]$$

Berdasarkan identitas trigonometri berlaku:

$$sin\ \alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta),$$

sehingga:

$$\boxed{y'(x,t) = [2y_m \sin kx]\cos(k\ell - \omega t)} \quad .... (2.21)$$

Perut terjadi ketika simpangan mencapai nilai maksimum ($2y_m$) atau dengan kata lain $\sin kx = 1$. Nilai $\sin kx$ sama dengan 1 ketika:

$$kx = \frac{1}{2}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, ...$$

$$kx = \left(n + \tfrac{1}{2}\right)\pi \text{ untuk } n = 0, 1, 2, ...$$

Kita substitusikan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, sehingga:

$$\boxed{x = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}} \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, ... \quad .... (2.22)$$

Sedangkan simpul terjadi ketika simpangan mencapai nilai minimim (0) atau dengan kata lain $\cos kx = 0$. Nilai $\cos kx$ sama dengan nol ketika:

$$kx = 0, \pi, 2\pi, ...$$

$$kx = n\pi \text{ untuk } n = 0, 1, 2, ...$$

Kita substitusikan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, sehingga:

$$\boxed{x = n\frac{\lambda}{2}} \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, ... \quad .... (2.23)$$

Dari persamaan (2.19) dan (2.20) maupun (2.22) dan (2.23) ternyata terbukti bahwa perut dan simpul memiliki jarak $\lambda/_2$ seperti pada Gambar 2.7. Selain itu, amplitudo dari gelombang stasioner tidaklah konstan melainkan bervariasi bergantung pada x, berbeda dengan gelombang berjalan yang amplitudonya tetap.