

BAB-12 **GELOMBANG**

12.1 Gelombang pada tali yang direntangkan

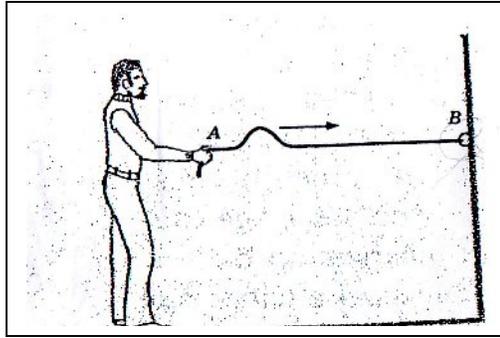
Energi dapat ditransfer dari satu titik ke titik yang lain dengan cara yang berbeda – beda. Cara yang paling mungkin untuk mengirimkan objek dari suatu titik ke titik yang lain dengan kecepatan V . Energi yang dibawa oleh objek adalah energi kinetik

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{dimana } m \text{ adalah massa}$$

Misal ketika bubuk mesiu terbakar didalam pistol, sebagian energi dilepaskan diubah kedalam energi kinetik peluru. Peluru membawa energi ini ke target, terjadi transfer energi dari bubuk mesiu ke target.

Transfer energi selalu dibarengi dengan transfer massa. Pertanyaannya apakah mungkin mentransfer energi tanpa mentransfer massa???. Pada awalnya hal ini terlihat tidak mungkin karena sebagian orang berpikir energi yang dibawa objek yang bergerak berasal dari objek itu sendiri, jadi transfer energi yang terjadi, energinya berasal dari objek itu sendiri. Walaupun begitu ternyata mudah untuk mendemostrasikan suatu fenomena transfer energi tanpa dibarengi transfer massa. Hal ini dapat dilihat pada gelombang pada tali.

Penggambaran konstruksi gelombang pada tali diperlihatkan pada gambar 12.1. Titik ujung B disepanjang kawat yang menempel pada tiang penyangga, titik unjg lainnya A dipegang oleh siswa. Siswa memberi gaya yang menyebabkan pulsa yang bergerak dengan konstan sepanjang tali, ketika pulsa sampai ketitik ujung B pulsa itu menumbuk tiang penyangga kemudian terpental dan berbalik arah menuju titik ujung A. Untuk menunjukkan bahwa pulsa itu membawa energi dalam perambatannya, maka dibuat onstruksi sebagai berikut titik ujung B disambungkan pada tuas, katrol dan beban seperti digambarkan pada gambar 1.2. Pada kasus ini ketika pulsa dari titik A dirambatkan sampai pada titik B maka beban yang tadinya berada dalam keadaan seimbang bergerak naik, hal ini membuktikan bahwa pulsa membawa kerja/energi. Kerja energi pada titik B ternyata sama dengan titik A hal ini membuktikan bahwa energi tersebut ditansfer tanpa adanya transfer massa.



Gambar 12.1

Gangguan atau pulsa yang merambat sepanjang tali tersebut dinamakan gelombang. Jika titik A digerakkan dengan konstan maka akan terjadi osilasi konstan yang menggerakkan beban.

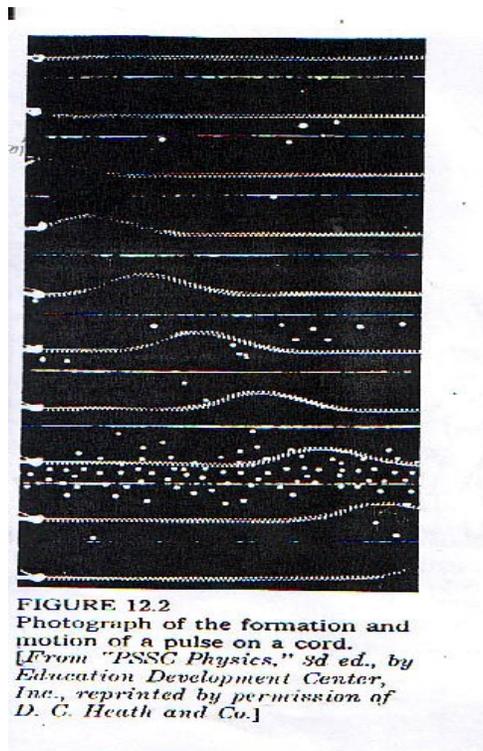


FIGURE 12.2
Photograph of the formation and motion of a pulse on a cord.
[From "PSSC Physics," 3d ed., by Education Development Center, Inc., reprinted by permission of D. C. Heath and Co.]

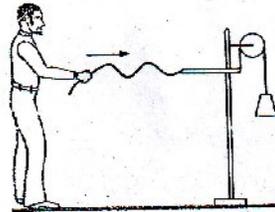
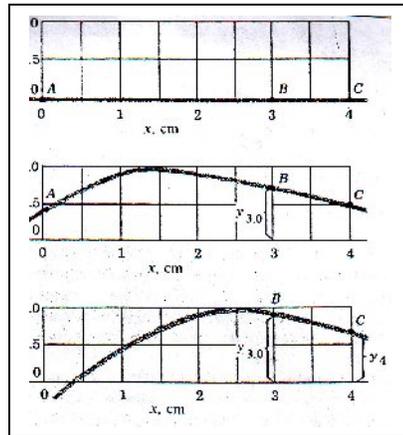


FIGURE 12.4
A train of pulses traveling on a cord.

Gelombang dalam medium yang menyebar dengan kecepatan konstan. Pada contoh sebelumnya adalah medium, dan gelombang yang dipindahkan dari suatu titik (titik keseimbangan) ke titik lain pada tali. Hal yang sangat penting untuk mengetahui bahwa setiap medium memiliki konfigurasi keseimbangan, dimana semua titik pada medium tersebut dalam keadaan seimbang. Gambar 12.5a memperlihatkan konfigurasi equilibrium (keseimbangan) dari tali yang direntangkan. Garis penunjuk digambar melalui konfigurasi ini sehingga titik pada tali dapat diketahui harganya dari posisi equilibrium. Untuk lebih tepatnya titik B terletak 3 cm dari titik A sebagai equilibrium.

Gambar 12.5b menunjukkan gelombang yang merambat pada tali. Titik B terletak 0.7 dari titik equilibrium jika diukur menggunakan sumbu y dan terletak pada 3cm dari titik equilibrium jika diukur dari sumbu x. perpindahan ini menunjukkan seberapa besar gangguan yang diberikan pada medium pada titik ini. Catatan beberapa titik pada tali hanya bergerak keatas dan kebawah dimana gangguan itu sendiri bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang tali. Kecepatan ini tidak selalu sama seperti kecepatan bergerak keatas dan kebawah titik particular pada tali. Faktanya kecepatan gerakan keatas dan kebawah tidak semuanya konstan. Seperti sekarang yang akan kita bahas.



Untuk lebih spesifik kita misalkan interval waktu antara gambar 12.5b dan gambar 12.5c adalah 0.2 s. Pada interval waktu ini titik pada tali dengan $y=0.7\text{cm}$ pada $x=3\text{cm}$ pada titik B berpindah ke titik $x=4\text{cm}$, maka kecepatan dari gelombangnya adalah sebagai berikut:

$$v = \frac{4\text{cm} - 3\text{cm}}{0.2\text{s}} = 5\text{cm/s}$$

Pada interval waktu ini juga terjadi perindahan dari $y=0.7$ ke $y=0.9$ pada titik B, sehingga rata – rata gerakan keatas dan kebawah atau tranverse, kecepatan pada titik ini adalah sebagai berikut

$$v = \frac{0.2\text{cm}}{0.2\text{s}} = 1.0\text{cm/s}$$

Kecepatan transverse v menghubungkan energi yang dibawa gelombang, dimana v adalah kecepatan dimana energi yang akan ditransfer yang bergerak sepanjang tali. Karena medium ditentukan maka kecepatan gelombang tetap, bentuk dari gelombang berdiri sendiri, dimana kecepatan transversal bervariasi dari gelombang yang satu ke gelombang yang lain, bahkan dari titik ke titik dalam gelombang yang ditentukan.

Karena titik pada tali bergerak tegak lurus terhadap arah dimana gelombang bergerak, gelombang ini dinamakan gelombang transversal. Selain itu juga ada gelombang longitudinal, yang mana titik pada medium bergerak maju dan mundur dalam arah yang sama dimana gelombang bergerak. Dapat ditunjukkan sepanjang pegas dengan

menekan secara bersama – sama beberapa coils pada ujung, kemudian dilepaskan. Koil-koil ini bergerak mundur terhadap posisi equilibrium, koiltetangnya tertekan, yang mana bergerak kembali ke posisi equilibrium, tekanan – tekanan pada koil tetap berlanjut sepanjang pegas dengan kecepatan konstan.

Gambar 12.6a menunjukkan pegas dalam posisi equilibrium, dan gambar 12.6b menunjukkan perpindahan $y=2$ dari titik equilibrium adalah 2cm dari ujung pegas. Walaupun titik ini bergerak paralel terhadap gerakan dari gelombang longitudinal, tetap saja tidak ada transfer massa sepanjang pegas karena titik hanya bergerak maju dan mundur terhadap posisi equilibrium.

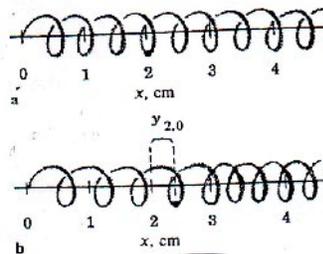


FIGURE 12.6
Portion of a spring. (a)
Equilibrium configuration of the
spring. (b) Longitudinal
displacements of points of the
spring.

Kedua gelombang yaitu transversal dan longitudinal dapat menyebar melalui medium padat. Sebagai contoh, setelah gempa bumi kedua gelombang seismic transversal dan longitudinal keluar dari tempat gempa melalui kulit bumi,. Ini adalah 2 tipe gelombang yang memiliki kecepatan berbeda yang mana tergantung dari bahan – bahan dari batuan yang kedua gelombang itu lalui. Pengukuran dari kecepatan gelombang seismic memberikan informasi informasi berharga tentang sifat alami batu karang di dalam bumi dan bulan.

Konsekuensi dari bahan fluida, hanya gelombang longitudinal yang dapat menyebar melalui medium fluida. Hal ini lebih didiskusikan pada bagian 13., dimana ditunjukkan bahwa suara tekanan gelombang longitudinal di udara. Gelombang adalah gangguan didalam materi medium, baik itu padat atau fluida dinamakan gelombang mekanik, untuk membedakan dari gelombang elektromagnetik, seperti cahaya.

12.2 Teori Matematik untuk gelombang

Semua properties dari gelombang mekanik dapat dituliskan secara matematis menggunakan prinsip mekanika terutama hukum 2 Newton. Sehingga hukum fisika baru membutuhkan pemahaman properties ini. Faktanya kemampuan prinsip mekanika untuk menjelaskan semua aspek seperti fenomena kompleks adalah bukti kuat untuk kebenaran yang universal dari prinsip ini. Meskipun begitu buku ini tidak membahas detail dari teori matematik gelombang. Beberapa diskusi dari teori ini berguna untuk memahami gelombang mekanik.

Teori matematik hanya mempertimbangkan perpindahan yang kecil dalam medium. Suatu bahan mengalami perpindahan yang sangat kecil dari posisi equilibrium kemudian bahan tersebut kembali ke titik equilibrium oleh gaya desak yang dihasilkan oleh bahan tetangganya. Pada suatu waktu, menurut Hukum 3 Newton, perpindahan oleh gaya desak yang dilakukan oleh tetangga bahannya, sehingga perpindahan bahan kembali ke titik equilibrium, hal ini membuat tetangga bahannya menjauhi titik equilibrium. Bahan – bahan yang berdekatan melakukan aksi terhadap tetangga dekatnya, proses ini berulang ulang, penyebaran gangguan melalui medium.

Pada gambar 12.7 menunjukkan berturut – turut posisi dari pulsa merambat ke kanan sepanjang tali yang panjang. Daerah kecil R dari tali adalah nyata sehingga gerakannya dapat dipelajari seperti pulsa yang melewati tali.

Pada gambar 12.7a pulsa hanya sampai pada R. Pada saat R belum bergerak, kecepatan vertikalnya sama dengan nol. Pada waktu yang sama tali memperoleh dua gaya yaitu F_1 dan F_2 , Magnitudo dari F_1 dan F_2 adalah T (gaya tegang tali), tetapi karena daerah R adalah curva, penjumlahan $S = F_1 + F_2$ tidak sama dengan nol, Gambar 12.8 menunjukkan bahwa sudut θ sangat kecil. S adalah arah naik yang tegak lurus dengan tali. Selanjutnya dengan menggunakan hukum 2 Newton Kecepatan naik elemen R adalah $a = S/m$, dimana m adalah massa dari elemen tali R. kecepatan ini adalah penyebab dari bergerak keatasnya elem tali R sebagai pulsa yang bergerak sepanjang tali.

Tidak lama kemudian R telah memperoleh suatu kecepatan menaik YANG pantas dipertimbangkan dan posisinya ditunjukkan pada gambar 12.7b. Tetapi sekarang gaya total S pada R menurun ditunjukkan pada gambar 12.8b. Ini berarti bahwa R akan kontinu untuk bergerak naik tetapi dengan penurunan kecepatan.

Dimana R samapi ke perpindahan maximum gambar 12.7c, kecepatan mendekati nol. Pada posisi tegang pada tali gaya tekan menurun S diberikan pada R gambar 12.8c, sehingga R mulai bergerak turun dengan kecepatan yang bertambah. Gambar 12.7d menunjukkan R pada posisi menurun dengan kecepatan paling cepat, dimana gambar 12.8d menunjukkan bahwa total gaya pada keadaan naik. Sehingga kecepatan menurun mengecil hingga R kembali ke posisi equilibrium gambar 12.7, dimana kecepatan nol dan percepatan nol gambar 12.8e.

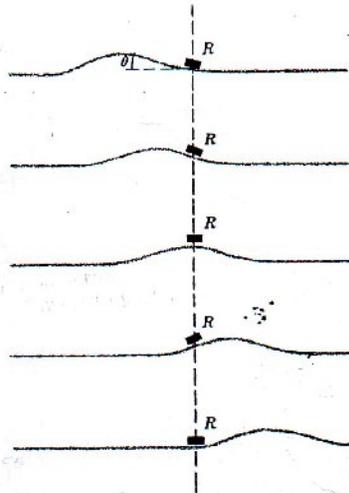
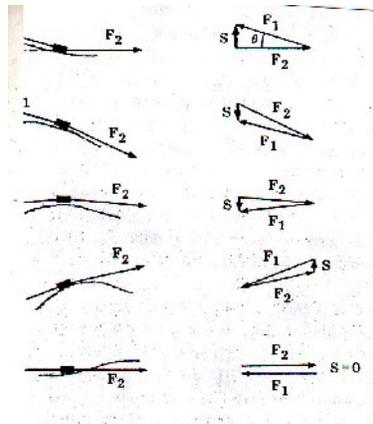
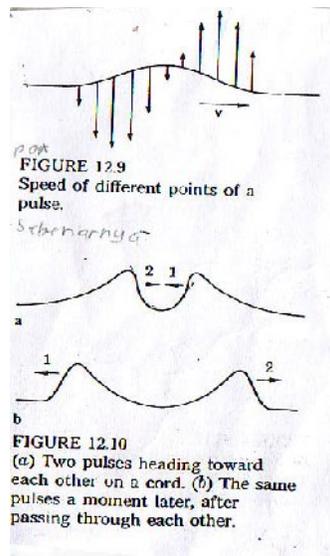


FIGURE 12.7
Successive positions of a pulse traveling to the right along a cord. A small portion R of the cord is marked so that its motion can be studied.



Diskusi ini menunjukkan bahwa saat sejumlah pulsa bergerak kekanan dengan kecepatan konstan, beberapa titik pada tali bergerak dengan perubahan speed yang teratur pada arah vertical. Gambar 12.9 menunjukkan kecepatan dari titik berbeda dari pulsa. Titik panah arah gerakan, dan juga panjang seimbang terhadap kecepatan pada titik itu. Titik pada pulsa setengah menurun bergerak naik, ketika titik pada setengah pulsa yang lain bergerak menurun.



Diskusi qualitative mengindikasikan bagaimana perpindahan menghasilkan gaya yang menjaga elemen tali tetap bergerak. Teori matematik menunjukkan secara umum gelombang dalam berbagai bentuk akan menyebar dengan bentuk yang sama. Secara particular dapat ditunjukkan bahwa kecepatan v dari gelombang pada tali dengan massa M dan panjang L adalah

$$v = \sqrt{\frac{T}{M/L}}$$

Dimana T adalah tegang tali. Kuantitas M/L adalah hanya massa persatuan panjang atau kerapatan linear dari tali. Sehingga kita dapat menuliskan

$$\mu = \frac{M}{L}$$

Kecepatan dari gelombang adalah

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Berdasarkan pada persamaan 12.2 kecepatan dari gelombang pada tali yang diregangkan naik dengan kuadrat akar dari tegang tali dan menurun dengan kuadrat akar dari massa per satuan panjang. Sebagai contoh, andaikan tegang tali pada senar gitar adalah +30 N dan massa persatuan panjang adalahkemudian kecepatan dari gelombang transversal pada senar adalah

Jika tegang tali pangkat empat, kecepatan harus menjadi double dan jika massa per satuan panjang pangkat 4, kecepatan harus setengahnya.

12.3 Superposisi

Lebih dari satu gelombang dapat berada pada titik yang sama pada medium yang sama pada saat bersamaan. Property dari gelombang dengan jelas membedakan hal itu dari objek material. Sebagai contoh, dua pulsa yang bagian puncaknya berhadapan satu sama lain pada tali, ditunjukkan oleh gambar 12.10a. menerobos satu sama lain dan melanju pada jalan mereka yang tidak menggangg gambar 12.10b. Objek materi tidak interpenetrasi pada jalur ini. Gelombang bagaimanapun adalah bukan objek materi. Gelombang memiliki pola penyebaran sendiri tentang perpindahan titik dalam materi medium.

Apa yang dipindahkan tali oleh dua pulsa lihat dalam gambar 12.10 apakah interpenetrasi? Teori matematik gelombang menjawab hal ini dengan membuktikan prinsip dibawah ini dengan luar biasa

Prinsip superposisi

Jika pada saat tertentu dua atau lebih gelombang secara serempak berada pada satu titik, Perpindahan dari titik adalah jumlah perpindahan titik yang dimiliki gelombang secara terpisah. Pada penggunaan prinsip ini perpindahan ke salah satu samping posisi equilibrium akan menjadi positive, dan perpindahan kesisi yang lain akan menjadi negatife.

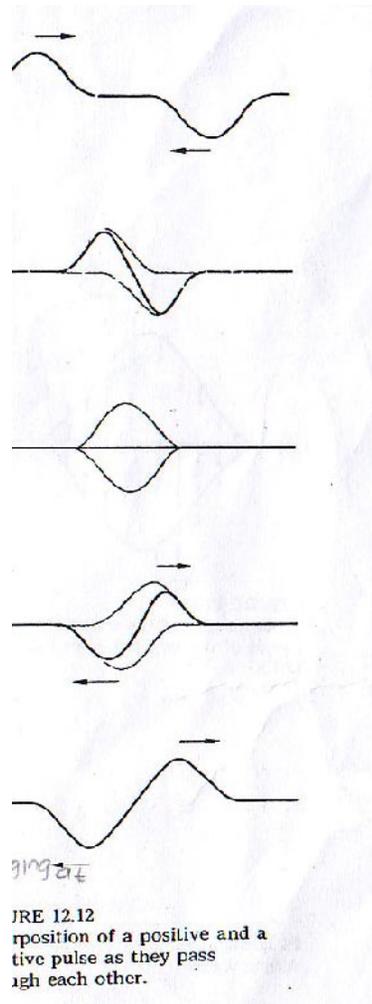
Gambar 12.11 menunjukkan bagaimana prinsip ini digunakan terhadap pulsa lihat gambar 12.10 sebagai interpenetrasi. Pada beberapa bagian gambar, adalah garis abu – **abu menunjukkan perpindahan pada tali membuat masing – masing gelombang secara terpisah.** Pulsa 1 bergerak tetap dari kanan ke kiri dimana pulsa dua pada tali pada beberapa saat ditunjukkan dengan garis hitam. Perpindahan ini diperoleh dengan menambah penyebab perpindahan dengan beberapa pulsa terpisah, yang sesuai dengan prinsip super posisi.

Sebagai contoh, dengan memperhatikan titik A pada tali. Pada gambar 12.11a Satu puncak terdiri dari 2 pulsa pada tepi secara serempak berada pada titik A. Perpindahan dari titik A adalah penjumlahan dari perpindahan yang dihasilkan dari beberapa pulsa yang terpisah. Semua titik pada kurva dihitung dengan cara yang sama. Kurva ini menunjukkan perpindahan sebenarnya dari tali, yang mana sangat kompleks, walaupun hanya menjumlahkan dua pulsa sederhana.

Penjalaran dari pulsa negative dan positif di tunjukkan pada gambar 12.12. Gambar 12.12c menunjukkan bahwa contoh ketika pulsa sepenuhnya tumpang tindih, dengan menggugurkan prinsip superposisi, jumlah dari perpindahan pulsa positif dan negative magnitudonya sama dengan nol (pelajari gambar 12.11 dan 12.12 hingga benar

– benar faham bagaimana gelombang yang berwarna hitam terbentuk dari dua pulsa abu-abu.

Sangat mengejutkan bahwa tali dapat tersusun dari konfigurasi equilibrium nyata ditunjukkan pada gambar 12.12c kedalam dua pulsa yang bergerak ditunjukkan oleh gambar 12.12d dan 12.12e. Tentu saja tali tidak benar – benar pada titik equilibrium dalam gambar 12.12c, karena titik pada superposisi tidak pada keadaan istirahat. Gambar 12.13 menunjukkan bahwa titik pada sisi pulsa positif bergerak menjauh dari equilibrium ketika titik pada sisi pembuka bergerak menembus equilibrium, titik pada pulsa negatifpun menunjukkan reaksi yang sama. Selanjutnya prinsip superposisi digunakan untuk kecepatan perpindahan. Ini merupakan kecepatan nyata dari beberapa titik pada tali adalah penjumlahan dari kecepatan yang dimiliki pulsa yang terpisah – pisah. Sehingga ketika dua pulsa tumpang tindih, mereka bersatu sebentar sehingga perpindahannya sama dengan nol untuk beberapa titik tetapi tidak nol untuk kecepatan. Beberapa titik pada gelombang melalui posisi equilibrium dengan jumlah dari kecepatan yang dimiliki beberapa pulsa ditunjukkan pada gambar 12.13.



Prinsip superposisi membuat kemungkinan gelombang kompleks sebagai penjumlahan beberapa gelombang sederhana. Faktanya, kemungkinannya untuk menunjukkan beberapa gelombang, tidak peduli betapa kompleksnya, sebagai penjumlahan bentuk sederhana yang khusus, dinamakan gelombang sinus, ini akan didiskusikan pada bagian selanjutnya.

12.4 Gelombang sinus

Panjang gelombang dan frekuensi

Gelombang sinus adalah pola dari gelombang khusus dimana pulsa positif dan negative tersusun secara berturut-turut dan berselang-seling. Jarak antara puncak

posisi tetangganya konstan, dinamakan panjang gelombang dari gelombang. Faktanya perpindahan dari gelombang sama dengan dua titik yang terpisah oleh panjang λ , seperti x dan y pada gambar 12.14. Pola gelombang jenis ini dapat dikatakan periodic karena pola berulang tepat pada interval λ .

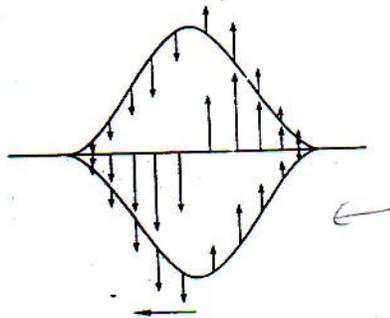


FIGURE 12.13
Superposition of the transverse speeds of the two pulses in Fig. 12.12c

Perpindahan maksimum dari gelombang sinus, dinamakan amplitude A , adalah sama untuk perpindahan positive dan negatif. Bentuk sebenarnya dari gelombang sinusnya dari gelombang sinus hubungan dengan sinus trigonometri. Untuk memahami ini misal panjang gelombang dari gelombang sinus 1, dengan amplitude A pada gambar 12.15. Interval antara $x=0$ dan $x=\lambda$ yang telah dibagi kedalam 360 bagian yang

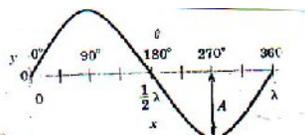


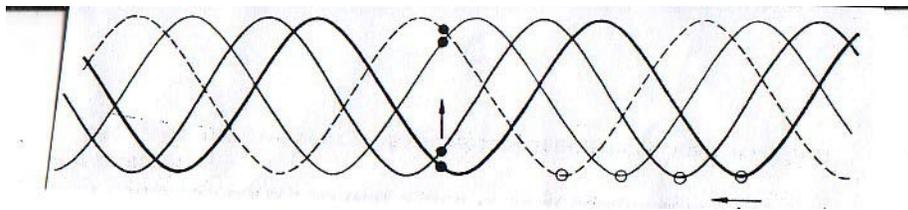
FIGURE 12.15
One wavelength of a sine wave divided into 360° .

FIGURE 12.16
A sine wave at four successive instants of time. The open circles mark a characteristic feature of the wave (a peak), whereas the solid circles mark a physical point in the medium.

sama. Sama dengan 360° pada lingkaran. Selanjutnya beberapa titik x pada sumbu x berhubungan dengan sudut θ dengan proporsi sebagai berikut:

Perpindahan y dari gelombang sinus pada titik x diberikan dalam bentuk sinus dari θ oleh

Sebagai contoh, jika gelombang sinus memiliki amplitude $A = 0.5\text{cm}$ dan panjang gelombang $\lambda = 30\text{cm}$, perpindahan pada $x = 6\text{cm}$ adalah



Gambar 12.14 menunjukkan gelombang sinus pada saat tertentu pada suatu waktu. Jika gelombang bergerak kekanan dengan kecepatan V , pola yang utuh bergerak bersamaan dengan waktu, seperti diperlihatkan pada gambar 12.16. Lingkaran yang terbuka pada gambar ini menunjukkan betapa karakteristik dari gelombang yang bergerak, mengingat lingkaran padat menunjukkan titik material tetap pada medium yang bergerak. Puncak dari gelombang yang bergerak kekanan dengan kecepatan V , dimana titik pada medium bergerak keatas dan kebawah.

Setelah gelombang bergerak dengan jarak λ , pola yang terlihat akan terlihat sama. Pada waktu $\tau = \frac{\lambda}{v}$ menunjukkan bahwa gelombang bergerak dengan jarak λ , titik tetap pada medium kembali sebagai titik awal posisi, gerakan lingkaran penuh. Waktu τ dinamakan perioda dari gelombang. Hubungannya sebagai berikut:

Atau

Diantara kecepatan, gelombang, dan perioda dari gelombang sinus adalah sangat penting dalam mempelajari gerakan gelombang.

Periode τ adalah waktu juga untuk satu keseluruhan panjang gelombang dari gelombang untuk melewati titik pada titik yang diberikan dalam ruang. Jika $\tau = 0.25s$, panjang gelombang 1 melewati titik yang diberikan setiap $0.25s$, sehingga $1/0.25 = \frac{1}{\tau} = 4$ panjang gelombang lebih beberapa detik. Kuantitasnya sebagai berikut:

Dibandingkan frekuensi dari gelombang, adalah angka dari gelombang melebihi titik dalam 1s. Unit $1/s = s^{-1}$. Frekuensi juga nomor dari lingkaran bahwa titik dalam medium sesuai dengan 1s, sehingga f sering disebut sebagai banyaknya putaran per detik. Dengan satuannya adalah (Hz). Sehingga frekuensi dari gelombang dengan periode $\tau = 0.25s$ adalah

Alternatif dari persamaan 12.4 dihasilkan dari kombinasi dengan persamaan 12.5 untuk memperoleh

Perlu diingat persamaan 12.4 dapat diperoleh dengan mudah dari persamaan 12.5 dan 12.6

Pada beberapa bagian fenomena fisika kecepatan gelombang itu konstan. Ini berarti, contoh kecepatan gelombang pada tali tidak tergantung pada panjang gelombang atau frekuensi dari tali. Kesamaan yang benar untuk kecepatan dari suara (bagian 13.2) dan kecepatan cahaya (bagian 14.1). Meskipun demikian, kecepatan dari gelombang yang berbeda ini berbeda – beda. Tetapi untuk jenis – jenis gelombang dalam medium ditentukan, persamaan 12.6 menetapkan hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi dari gelombang.

Dan amplitudo 0.5cm, sehingga ditunjukkan oleh garis vertikal tinggi 0.6cm, posisi pada 720Hz pada sumbu horizontal. Ketiga komponen ditunjukkan oleh garis tinggi 0.6cm, pada posisi 1200 Hz.

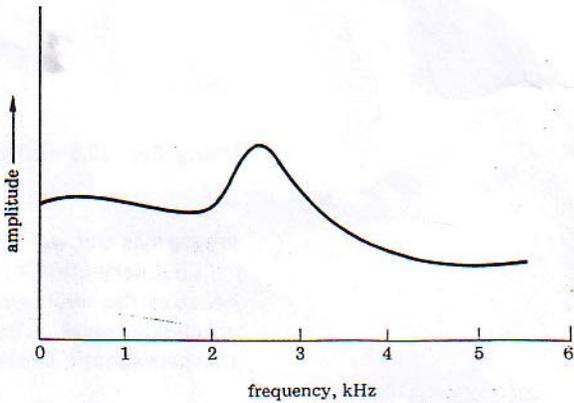
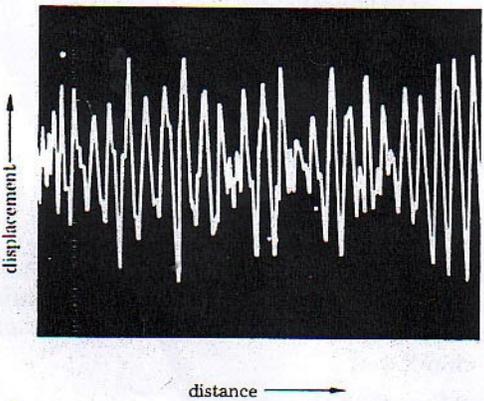
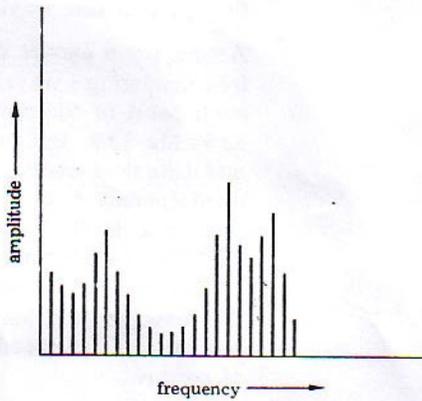
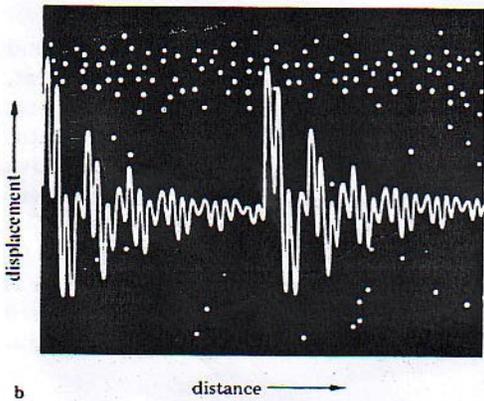
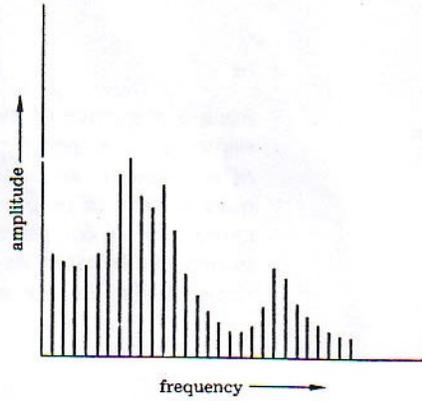
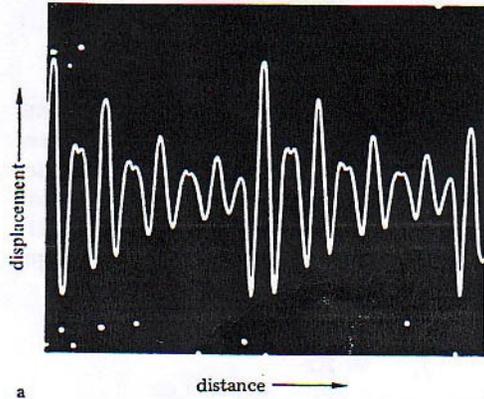
Representasi dari amplitudo dan frekuensi adalah komponen dari gelombang khusus, seperti pada gambar 12.18 dinamakan spectrum. Hal ini merupakan jalan yang tepat untuk menentukan gelombang yang unik. Gambar 12.19 menunjukkan beberapa gelombang kompleks dengan spectrum yang sama.

Pola gelombang kompleks bisa periodik dan tidak periodik. Gelombang periodik seperti gelombang sinus tunggal, terbentuk pola kembali dengan tepat pada interval dari panjang λ . Pada gelombang tidak periodik tidak pernah terbentuk pola kembali. Gelombang pada gambar 12.19c adalah tidak periodik, dan gelombang pada gambar 12.17 dan 12.19a dan b adalah periodik. Spektrum dari gelombang tidak periodik mengandung distribusi kontinu dari komponen frekuensi, dimana spectrum dari gelombang periodik adalah diskrit.

Spektrum dari gelombang periodik adalah diskrit. Karena dalam urutan untuk gelombang menjadi periodik dengan interval panjang λ , Panjang gelombang dari komponen Fourier harus diingat urutannya sbb

Dimana n adalah integer ($n=1,2,3,\dots$) Sebagai contoh, komponen dari gelombang dalam gambar 12.17 adalah yang pertama, ketiga dan kelima ingat urutannya. Dalam interval λ_1 komponen panjang gelombang pasti 1 sama dengan λ_1 , panjang gelombang pasti 3 dari komponen sama dengan $1/3 \lambda_1$, dan panjang gelombang 5 dari komponen sama dengan $1/5 \lambda_1$. Sehingga semua komponen dari gelombang pada titik ujung sama dengan titik awal, hal ini adalah penjumlahan berulang setelah interval ini. Jelasnya panjang gelombang η dari komponen sama dengan $(1/\eta)\lambda_1$, sehingga penjumlahan dari beberapa komponen berulang pada interval λ_1 .

FIGURE 12.19
 Spectra of some complex waves:
 (a), (b) periodic waves; (c)
 aperiodic. [After P. B. Denes and
 E. N. Pinson, "The Speech
 Chain," Bell Telephone
 Laboratories, Incorporated, used by
 permission.]



f_1 adalah komponen frekuensi yang mana panjang gelombangnya λ_1 :

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1}$$

Komponen frekuensi dari gelombang periodic, maka harus diingat urutannya:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1}$$

$$f_2 = \frac{v}{\frac{1}{2}\lambda_1} = \frac{2v}{\lambda_1} = 2f_1$$

$$f_n = \frac{v}{\frac{1}{n}\lambda_1} = \frac{nv}{\lambda_1} = nf_1$$

$$f_1, 2f_1, 3f_1, \dots, nf_1, \dots$$

Beberapa rangkaian (urutan/susunan) dari frekuensi yang tetap (rata/datar) dinamakan susunan harmonic. Spektrum dari gelombang periodic hanya terdiri dari susunan harmonic, walaupun tidak semua anggota dari susunan dapat diperlihatkan tidak saja f_1 .

Sebagai contoh gelombang yang mana memiliki tiga komponen Fourier memiliki frekuensi 120, 180 dan 300 Hz adalah periodic karena beberapa dari frekuensi ini sama dengan bilangan bulat waktu 60 Hz. Seperti pengulangan gelombang pada panjang interval:

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{v}{60\text{Hz}}$$

Walaupun f_1 bukan salah satu dari komponen.

Energi pada gelombang Sinus

Gelombang sinus membawa energi ketika bergerak, yang mana dapat difahami dengan memahami panjang gelombang λ dari gelombang sinus pada tali. Pada saat tertentu beberapa titik pada tali bergerak vertical dengan kecepatan berbeda – beda seperti pada gambar 12.9. Tetapi pada waktu τ dari satu periode, beberapa titik membentuk lingkaran penuh, bergerak dari nol ke A positif, kemudian kembali ke nol, kemudian ke $-A$, dan akhirnya kembali ke nol lagi. Sehingga total jarak pergerakan titik adalah $4A$ pada waktu τ , sehingga rata – rata kecepatan vertikalnya adalah $\bar{v} = 4A / \tau$.

Massa dari panjang gelombang λ dari belemen tali adalah $\mu\lambda$, dimana μ adalah massa per satuan panjang dari tali. Karena beberapa titik pada tali memiliki kecepatan rata – rata \bar{v} , rata – rata energi kinetic dari panjang gelombang λ dari tali adalah:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} m (\text{kecepatan rata – rata})^2 \\ &= \frac{1}{2} \mu\lambda \left(\frac{4A}{\tau} \right)^2 \\ &= \frac{8\mu\lambda A^2}{\tau^2} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 12.5 dan 12.6, kita dapat juga menuliskannya sebagai berikut:

$$K = 8\mu v f A^2$$

Dimana v adalah kecepatan gelombang dan f adalah frekuensi

Asal mula energi kinetic dari gelombang sinus ini tidak tepat karena harga kecepatan dikuadratkan kemudian dirata – ratakan bukannya rata – rata kecepatan dikuadratkan. Kedua rata – rata ini tidak sama. Kalkulasi matematika ditunjukkan sebagai berikut:

$$K = \pi^2 \mu v f A^2$$

Beberapa titik dari gelombang juga memiliki energi potensial hasil dari kerja yang bekerja pada perpindahan dari titik equilibrium. Dapat ditunjukkan bahwa energi

potensial pada panjang gelombang 1 adalah sama dengan energi kinetic , sehingga total energi pada panjang gelombang 1 adalah:

$$E = K + V = 2K \\ = 2\pi^2 \mu v f A^2$$

Nomor dari panjang gelombang adalah nilai titik tetap pada 1 adalah f. Selanjutnya total energi itu lewat titik ini masing-masing detik/second adalah

$$P = fE = 2\pi^2 \mu v f^2 A^2$$

Simbol P digunakan karena memiliki dimensi sama sebagai energi. Yang paling penting dari hasil ini ditunjukkan bahwa gelombang bergerak pada arah yang telah ditentukan membawa energi dan harga dari energi yang di transfortasikan proportional dengan kuadrat dari amplitude gelombang.

12.5 Gelombang berdiri

Pola gelombang khusus dibentuk oleh superposisi dari dua gelombang sinus dengan panjang gelombang sama dan amplitude bergerak berlawanan arah. Sebagai contoh ($t=0$) ketika dua gelombang sinus pada satu posisi ditunjukkan pada gambar 12.20a, superposisi itu (kurva gelap) menghasilkan perpindahan nol dari medium dimanapun. Satu perempat dari dari periode sebelumnya($t=1/4 \tau$) satu gelombang telah bergerak $1/4$ panjang gelombang kearah kanan sementara itu gelombang yang lainnya bergerak $1/4$ panjang gelombang kearah kiri. Ini menyebabkan dua gelombang bergerak pada waktu bersamaan seperti ditunjukkan pada gambar 12.20c, sehingga superposisinya adalah gelombang sinus dengan amplitude $2A$.

Gambar 12.20b menunjukkan superposisi dari gelombang pada waktu tengah($t=1/8 \tau$) juga gelombang sinus, tetapi dengan amplitude kurang dari $2A$. Selanjutnya, posisi gelombang hasil perpindahan dari medium adalah nol sama pada kedua waktu. Gambar 19.20ddan e menunjukkan bahwa situasinya sama pada $t=1/2 \tau$ dan $t=3/4 \tau$. Sehingga saat dua gelombang sinus bergerak melalui satu sama lain, superposisinya tetap gelombang sinus dengan amplitude berubah dan nol tetap.

Hasil perpindahan dari medium pada waktu yang berbeda – beda ditunjukkan pada gambar 12.21. Pola gelombang jenis ini dinamakan gelombang berdiri karena bagaimanapun pola akan berubah bersamaan dengan waktu yang berubah, gelombang

tidak berjalan terus sepanjang tali. Hasil nol dari pola titik tetap meratakan ruang pada interval panjang gelombang $\frac{1}{2}$. Titik pada medium terletak pada nodes tidak memiliki osilasi vertikal, saat titik berada ditengah antara dua nodes (dinamakan antinode) osilasi keatas dan kebawah antar +2 dan -2. Titik A antara Node dan antinode memiliki amplitude antara 0 dan $2A$.

Semua titik pada gelombang berdiri memenuhi satu osilasi pada waktu τ sama dengan periode dari gelombang sinus. Hal ini dapat dilihat pada gambar 12.20 dimana titik O pada medium ditunjukkan bergerak melalui satu osilasi pada waktu τ . (Pola pada waktu $t = \tau$ adalah identik dengan pola pada waktu $t=0$).

Gelombang berdiri sangat penting karena dapat terkurung pada ruang terbatas. Gelombang ini juga sebagai gelombang natural untuk memahami ketika mempelajari pergerakan gelombang pada medium terbatas. Senar gitar, yang mana merupakan tali dengan panjang L yang kedua ujungnya dikatkan. Gelombang sinus tunggal bergerak pada satu arah tidak dapat berada pada tali, karena seperti gelombang memerlukan titik ujung untuk berosilasi. Bagaimanapun gelombang berdiri dapat terjadi pada tali dengan panjang L .

Kondisi titik ujung berada pada nodes meletakkan pembatasan pada panjang gelombang dari gelombang berdiri yang mungkin. Karena nodes terjadi pada interval $\frac{1}{2} \lambda$, dan harus ada kepastian nomor bulat dari panjang gelombang setengah ini pada tali, panjang gelombang dari gelombang berdiri menghubungkan dengan panjang L dari tali oleh

$$n \frac{1}{2} \lambda = L$$

Dimana n adalah bilangan bulat. Sehingga hanya panjang gelombang diatas yang mencukupi kondisi ini:

Hal ini akan menyebabkan adanya gelombang berdiri pada tali. Gambar 12.22 menunjukkan gelombang berdiri dengan n sama dengan 1,2 dan 5.

Frekuensi dari osilasi pada tali memiliki hubungan dengan panjang gelombang dan kecepatan dari gelombang oleh persamaan 12.6. Sehingga tali tetap pada kedua ujung tali dapat berosilasi hanya dengan frekuensi f_n diberikan oleh:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$

Frekuensi terendah, yang terjadi ketika $n=1$ adalah

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

Dinamakan dasar, yang bersesuaian dengan $L = \frac{1}{2\lambda}$ (gambar 12.22a) persamaan 12.8

menunjukkan bahwa semua frekuensi adalah kelipatan bulat dari f_1 :

$$f_n = nf_1$$

Frekuensi yang mungkin dari osilasi pada tali pada bentuk deretan harmonik.

Ketika senar gitar dipetik, hasil osilasi adalah superposisi dari beberapa gelombang berdiri yang berbeda – beda. Tentu saja frekuensi dari beberapa komponen gelombang berdiri memenuhi persamaan 12.8. Biasanya frekuensi dasar mendominasi, Memiliki banyak amplitude lebih besar dari pada komponen lain. Osilasi pada tali menyebabkan udara juga berosilasi, yang mana menyebabkan gelombang suara dengan frekuensi yang sama. Telinga mendengar gelombang ini sebagai nada musik dari frekuensi f_1 . Frekuensi yang lain (dinamakan nada tambahan) berkontribusi terhadap kualitas dari nada.

Semua senar instrument musik, seperti Violin, gitar, harpa dan piano, menghasilkan nada. Perbedaan kualitas dari suara yang dihasilkan oleh instrument ini ketika memainkan note yang sama, Osilasi dengan frekuensi dasar yang sama, disebabkan oleh perbedan amplitude dari nada tambahan. Gambar 12.23 menunjukkan spectrum dari suara yang dihasilkan oleh violin dan piano dimainkan dengan note yang sama ($f_1 = 440\text{Hz}$). Beberapa instrument menghasilkan urutan frekuensi sama dari frekuensi harmonic tetapi dengan ampilutde yang berbeda.

Instrumen senar bermain dengan menmbahkan tegangan pada senar tersebut. Bentuk persamaan 12.2 ini dapat mmplihatkan perubahan dari kecepatan v dari gelombang pada senar dan sehingga terbentuk persamaan 12.8, perubahan frekuensi ini pada osilasi senar. Sekali didalam lagu, violin atau gitardibuat untuk memainkan perbedaan nada dengan menekan senar pada titik yang berbeda – beda, sehingga merubah

panjang L sehingga terjadi osilasi bebas. Instrumen lainnya seperti harpa dan pian, memiliki nomor yang besar dari panjang dan kerapatan yang berbeda – beda, masing-masing disesuaikan untuk menghasilkan suatu catatan berbeda.