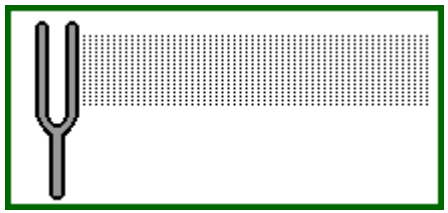
Sifat Alami Gelombang

Bunyi Sebagai Gelombang Mekanik

Sifat alami gelombang bunyi serupa dengan gelombang slinki. Seperi halnya gelombang slinki, pada gelombang bunyi ada medium yang membawa gangguan dari satu tempat ke tempat lainnya, seperti udara, air atau baja. Sifat alami lainnya yang dimiliki gelombang bunyi adalah adanya sumber gelombang, yaitu benda bergetar yang mengganggu partikel pertama medium. Getaran udara menimbulkan gangguan pada pita suara manusia, getaran kawat pada gitar atau getaran gerigi garpu pada garpu tala. Selain kedua sifat alami di atas, gelombang bunyi merambat dari satu tempat ke tempat lainnya melalui interaksi antar partikel. Jika gelombang bunyi merambat melalui udara, maka satu partikel udara bergeser dari posisi kesetimbangannya yang menghasilkan dorongan atau tarikan pada partikel udara di dekatnya. Karena gelombang bunyi merupakan gangguan yang merambat sepanjang medium melalui mekanisme interaksi antar partikel, maka gelombang bunyi dikarakterisasi sebagai gelombang mekanik.

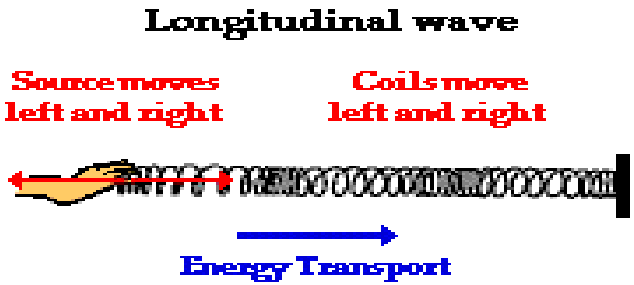
Perambatan gelombang bunyi sering didemonstrasikan di kelas dengan menggunakan garpu tala. Garpu tala merupakan benda logam yang terdiri atas dua gerigi garpu yang dapat bergetar jika dipukul dengan palu. Getaran gerigi garpu tala menimbulkan gangguan pada molekul udara di sekitarnya. Gangguan ini melewati molekul udara melalui mekanisme interaksi antar partikel. Gerak gangguan dari gerigi garpu tala yang bergerak melalui medium udara menimbulkan gelombang bunyi. Pembangkitan dan perambatan gelombang bunyi didemonstrasikan dalam animasi di bawah ini.



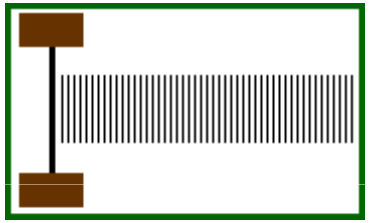
Diketahui bahwa garpu tala bergetar karena kita mendengar suara yang dihasilkan oleh getaran garpu tala tersebut. Meskipun demikian, kita tidak dapat mendeteksi secara nyata setiap getaran gerigi garpu tala. Hal ini disebabkan karena gerigi garpu bergetar pada frekuensi yang sangat tinggi. Jika garpu tala yang digunakan berkorespondensi dengan kunci C pada keyboard piano, maka gerigi garpu bergetar pada frekuensi 256 Hz, yaitu 256 getaran per detik

Bunyi sebagai Gelombang Longitudinal

Pada pembahasan sebelumnya, disebutkan bahwa bunyi sebagai gelombang mekanik yang ditimbulkan oleh getaran benda. Untuk gelombang bunyi yang merambat melalui medium udara, getaran partikel udara digambarkan sebagai gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang gangguannya sejajar dengan arah perambatannya



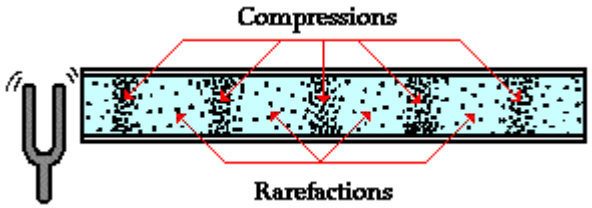
Gelombang bunyi dalam udara dan medium fluida lainnya merupakan gelombang longitudinal karena partikel yang melewati medium dimana suara dipindahkan bergetar sejajar dengan arah gerak gelombang bunyi. Karena molekul udara (partikel medium) bergerak dalam arah sejajar terhadap arah rambatan gelombang, maka gelombang bunyi dapat diacu sebagai gelombang longitudinal. Hasil getaran longitudinal berupa regangan dan mampatan partikel udara.



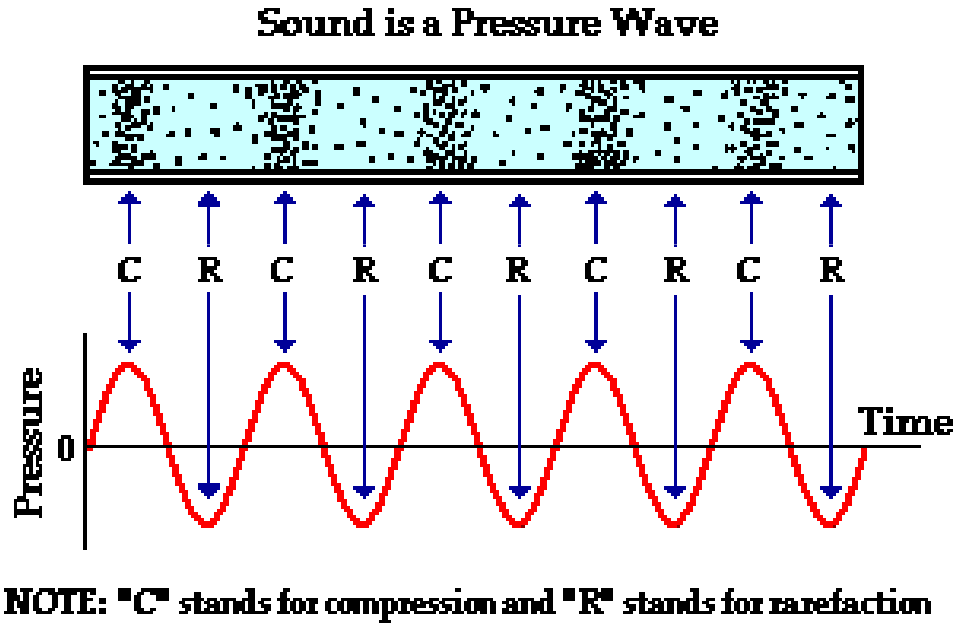
Bunyi sebagai Gelombang Tekanan

Sebuah garpu tala dapat dugunakan untuk membangkitkan gelombang longitudinal. Jika gerigi garpu tala bergetar bolak-balik, maka gerigi tersebut menekan partikel udara yang berada di sekitarnya. Gerakan maju gerigi garpu tala menekan molekul udara dalam arah horizontal ke kanan dan gerak mundur gerigi garpu menyebabkan tekanan menjadi rendah di daerah tersebut sehingga partikel udara bergerak kembali ke kiri.

Karena gerak longitudinal partikel udara, ada daerah dimana partikel udara dimampatkan dan ada daerah dimana partikel udara menyebar. Daerah-daerah tersebut dikenal sebagai daerah mampatan dan regangan. Mampatan merupakan daerah dimana tekanan udara tinggi, sedang regangan merupaka daerah dengan tekanan rendah. Diagram di bawah menggambarkan gelombang bunyi yang dibangkitkan oleh garpu tala dan merambat melalui udara dalam tabung terbuka



Karena gelombang bunyi terdiri atas daerah dengan pengulangan pola tekanan tinggi dan rendah, maka gelombang bunyi disebut sebagai gelombang tekanan. Jika fluktuasi tekanan dideteksi oleh suatu detektor secara periodik, maka hubungan tekanan terhadap waktu akan tampak seperti kurva sinusoidal. Titik puncak kurva sinusoidal berkorespondensi dengan mampatan, titik bawah kurva berkorespondensi dengan regangan dan titik nol berkorespondensi dengan tekanan udara jika tidak ada gangguan yang melewating. Diagram di bawah menunjukkan korespondensi antara bentuk longitudinal gelombang bunyi dalam udara dengan fluktuasi tekanan tiap saat.



Properti Gelombang Bunyi

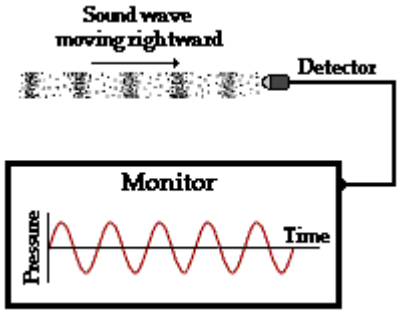
B.1. Frekuensi dan Periode Gelombang Bunyi

Frekuensi sebuah gelombang mengacu pada seberapa sering partikel medium bergetar ketika gelombang melewati medium. Frekuensi gelombang dihitung sebagai jumlah gerak bolak-balik suatu partikel medium per satuan waktu. Jika partikel udara melakukan 1000 getaran longitudinal dalam dua detik, mkaa frekuensi gelombang tersebut sebesar 500 getaran per detik. Satuan frekuensi yang sering digunakan adalah hertz (Hz), dimana

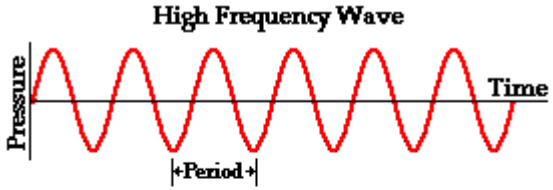
1 Hertz = 1 getaran/second

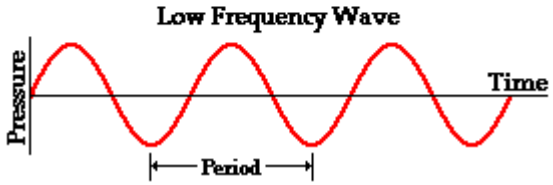
Karena gelombang bunyi merupakan gelombang tekanan, sebuah detektor dapat digunakan untuk mendeteksi osilasi tekanan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah dan kembali ke tekanan tinggi. Jika mampatan (tekanan tinggi) dan regangan (tekanan rendah) bergerak melalui medium, maka pada suatu saat tekanan tersebut akan mencapai detektor pada suatu frekuensi tertentu. Sebagai contoh, suatu mampatan akan mencapai detektor 500 kali per detik jika frekuensi gelombang 500 Hz. Sama halnya dengan mampatan, regangan akan mencapai detektor 500 kali per detik jika frekuensi gelombang 500 Hz. Frekuensi gelombang bunyi tidak hanya bergantung pada jumlah getaran bolak-balik partikel per satuan waktu, tapi juga pada jumlah mampatan atau regangan yang melewati suatu titik tertentu per satuan waktu. Detektor

dapat digunakan untuk mendeteksi frekuensi osilasi tekanan pada satu periode waktu. Bentuk keluaran detektor dengan memplot tekanan terhadap waktu dapat digambarkan seperti di bawah ini.



Karena plot tekanan-waktu menunjukkan fluktuasi tekanan terhadap waktu, periode gelombang bunyi dapat diketahui dengan mengukur waktu antara titik-titik tekanan tinggi yang berurutan (berhubungan dengan mampatan) atau waktu antara titik tekanan rendah yang berurutan (terkait dengan regangan). Telah diketahui bahwa frekuensi berbanding terbalik dengan periode. Dengan demikian, gelombang bunyi dengan frekuensi tinggi akan berkorespondensi dengan plot tekanan-waktu dengan periode kecil dan sebaliknya. Diagram di bawah menunjukkan dua plot tekanan-waktu untuk frekuensi tinggi dan rendah.





Teling manusia mampu mendeteksi gelombang bunyi dengan jangkau frekuensi yang lebar, yaitu antara 20 – 20.000 Hz. Setiap bunyi dengan frekuensi di bawah 20 Hz dikenal sebagai bunyi infrasonik dan bunyi dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz disebut sebagai bunyi ultrasonik.

Kelajuan Bunyi

Seperti halnya pada jenis gelombang yang lain, kelajuan gelombang bunyi menyatakan seberapa cepat gangguan berpindah dari satu partikel ke partikel lainnya. Jika frekuensi menyatakan jumlah getaran partikel per satuan waktu, maka kelajuan menggambarkan jarak dimana gangguan berpindah per satuan waktu. Dengan demikian besaran kelajuan menyatakan seberapa cepat gangguan merambat sedangakan frekuensi menyatakan seberapa sering terjadinya getaran.

Kelajuan gelombang didefinisikan sebagai jarak suatu titik pada gelombang yang berpindah per satuan waktu yang sering dinyatakan dalam satuan meter/detik (m/s). Dalam bentuk persamaan:

Kelajuan = jarak/waktu

Kelajuan setiap gelombang bergantung pada sifat medium dimana gelombang berjalan. Secara khusus ada dua sifat utama yang mempengaruhi kelajuan gelombang yaitu sifat inersial dan sifat elastis. Sifat elastis terkait dengan kecenderungan material untuk menjaga bentuknya dan tidak mengalami deformasi ketika suatu gaya dikenai padanya. Ketika suatu gaya diberikan untuk mendeformasi suatu material, interaksi antar partikel yang sangat kuat akan mencegah terjadinya deformasi dan membantu bahan tersebut menjaga bentuknya. Secara umum, benda padat mempunyai interaksi antar partikel yang paling kuat, diikuti oleh cairan dan kemudian gas. Berdasarkan hal tersebut, gelombang bunyi longitudinal akan merambat lebih cepat dalam padatan daripada dalam cairan dan gas.

Vpadatan > vcairan> vgas

Sifat inersial merupakan sifat yang terkait dengan kecenderungan bahan menjadi melempem (*sluggish*) untuk mengubah keadaan geraknya. Kerapatan medium merupakan contoh dari sifat inersia. Gelombang bunyi akan merambat lebih cepat dalam material dengan kerapatan yang rendah dibandingkan pada material dengan kerapatan yang lebih besar.

Kelajuan gelombang bunyi dalam udara bergantung pada sifat-sifat udara, khususnya suhu dan tekanan. Tekanan udara akan mempengaruhi kerapatan massa udara (sifat inersial) dan suhu akan mempengaruhi kekuatan interaksi partikel (sifat elastis). Pada tekanan atmosferik normal, ketergantungan kelajuan gelombang bunyi pada suhu dapat didekati dengan persamaan berikut ini:

v = 331 m/s + (0.6 m/s/C)•T

dengan T adalah suhu udara dalam derajat Celcius

Seperti halnya jenis gelombang yang lain, gelombang bunyi mempunyai kelajuan yang secara matematis berhubungan dengan frekuensi dan panjang gelombang. Seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, hubungan matematis antara kelajuan, frekuensi dan panjang gelombang dinyatakan dalam persamaan berikut:

Kelajuan = panjang gelombang • frekuensi

Dengan menggunakan simbol **v**, , and **f**, persamaan di atas dapat dituliskan kembali sebagai

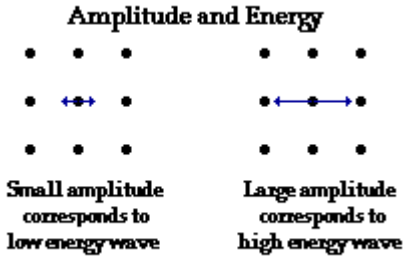
$$v = f \cdot \lambda$$

kelajuan gelombang tidak berubah. Kelajuan gelombang bunyi hanya bergantung pada sifat medium yang dilaluinya dan hanya akan berubah jika sifat mediumnya berubah

Intensitas Gelombang.

Gangguan yang berpindah dari satu partikel ke partikel lainnya melalui medium membawa energi ketika bergerak. Jumlah energi yang dipindahkan ke medium bergantung pada amplitudo getaran. Pertambahan amplitudo getaran partikel medium sebanding dengan bertambahnya jumlah energi yang dibawa oleh partikel.Jumlah energi yang dipindahkan oleh partikel medium dalam satu satuan luasan per satuan waktu dikenal sebagai intensitas gelombang bunyi. Semakin besar amplitudo getaran partikel medium, maka semakin besar laju energi yang dipindahkan sehingga semakin besar pula intensitas gelombang bunyi. Intensitasadalah energi/waktu/luas; dan karena perbandingan energi/waktu ekivalen dengan besara daya, maka intensitas dapat dinyatakan sebagai daya/luas.

Satuan khusus untuk menyatakan intensitas gelombang bunyi adalah watt/meter2



$$\text{Intensity} = \frac{\text{Energy}}{\text{Time} * \text{Area}} \quad \text{or} \quad \text{Intensity} = \frac{\text{Power}}{\text{Area}}$$

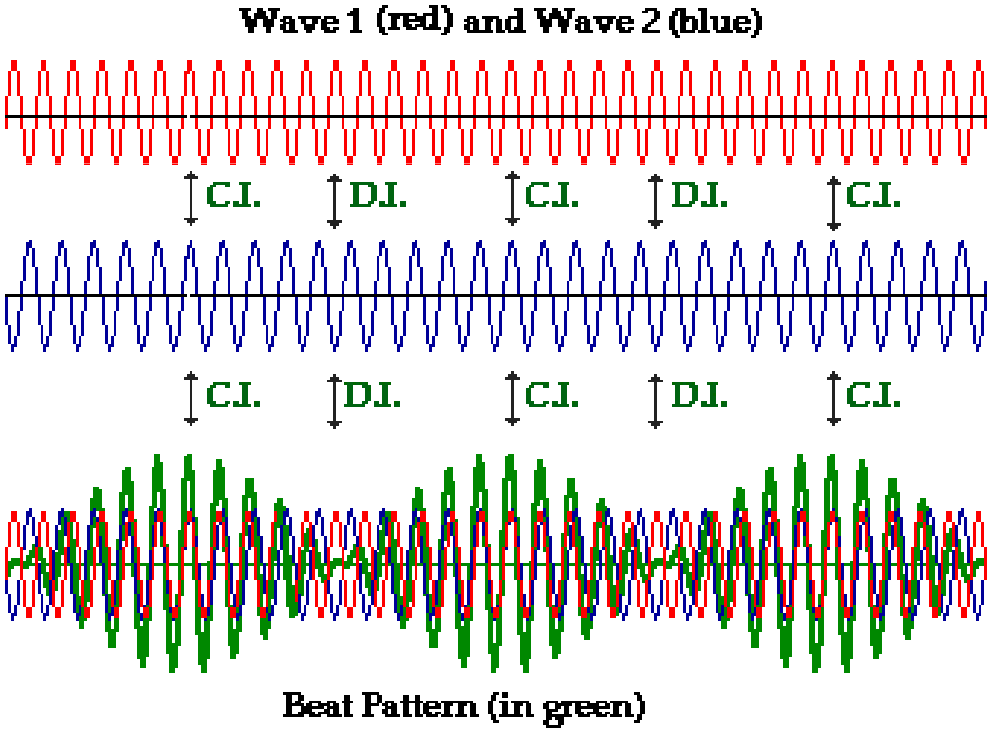
Intensitas bunyi terendah yang masih dapat didengar oleh telinga manusia adalah 10^{-12} W/m^2, dan disebut sebagai **intensitas ambang pendengaran**, Sedangkan intensitas bunyi tertinggi yang masih dapat didengar oleh telinga manusia tanpa menimbulkan rasa sakit adalah 1 W/m^2, dan disebut sebagai **intensitas ambang perasaan**. Karena jangkauan bunyi yang dapat didengar sangat besar, maka perlu didefinisikan besaran baru yang menyatakan intensitas dalam bilangan yang lebih kecil. Besaran tersebut adalah **taraf intensitas bunyi** (*TI*) yang didefinisikan sebagai logaritma dari perbandingan antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$$ satuannya decibel (dB)

Layangan Bunyi

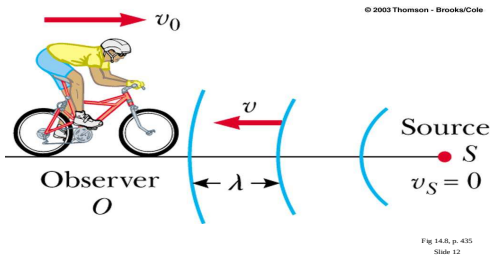
Interferensi gelombang bunyi mempunyai penerapan yang sangat luas dalam bidang akustik dan musik. Salah satu aplikasi interferensi berupa layangan bunyi. Layangan adalah fluktuasi intensitas bunyi yang terdengar secara periodik ketika dua gelombang dengan frekuensi yang sedikit berbeda mengalami interferensi satu sama lain. Diagram di bawah menggambarkan pola interferensi gelombang yang dihasilkan dari dua gelombang dengan frekuensi yang hampis sama. Pola layangan dikarakterisasi sebagai gelombang dengan amplitudo yang berubah pada kelajuan yang teratur. Dapat diamati bahwa pola layangan beroislasi secara berulang dari amplitudo nol sampai amplitudo besar, kembali ke amplitudo nol dengan pola yang sama. Titik interferensi konstruktif (CI) dan intereferensi destruktif (DI) ditandai pada diagram. Jika interferensi konstruktif terjadi antara dua puncak atau dua lembah, bunyi nyaring akan terdengar. Hal tersebut berkoresponedensi dengan puncak pada pola layangan (berwarna hijau). Ketika interferensi destruktif terjadi antara satu puncak dan lembah bunyi tidak akan terdengar, yang berkorespondensi dengan titik yang tidak mengalami perpindahan pada pola layangan

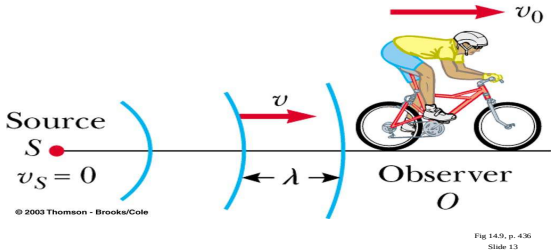
Frekuensi layangan berhubungan dengan laju dimana volume terdengar yang berosilasi dari volume tinggi ke rendah. Sebagai contoh, jika dua putaran penuh volume tinggi dan rendah terdengar setiap detik, maka frekuensi layangan sebesar 2 Hz. Frekuensi layangan selalu sama dengan perbedaan frekuensi dua titik yang berinterferensi menghasilkan layangan. Jika dua gelombang bunyi dengan frekuensi 256 Hz dan 254 Hz dimainkan secara bersamaan, maka frekuensi layangan akan dideteksi sebesar 2 Hz.

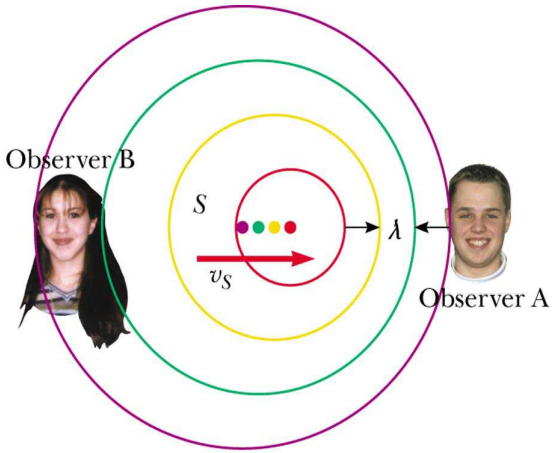


Efek dopler

Seperti telah dibahas sebelumnya, bahwa merupakan perubahan semu frekuensi suatu gelombang yang teramati akibat gerak relatif antara sumber dan pengamat







Kasus 1 Gambar atas
Pengamat mendekati sumber yang diam. Pengamat merasakan penambahan jumlah muka gelombang perdetik sehingga Frekuensi yang terdengar bertambah
Kasus 2 Gambar tengah
Pengamat menjauhi sumber yang diam
Pengamat merasakan lebih sedikit muka gelombang per detik sehingga Frekuensi yang terdengar lebih rendah

Kasus 3 Gambar bawah
Ketika sumber bergerak mendekati pengamat (A), panjang gelombang yang muncul lebih pendek dan frekuensinya bertambah
Ketika sumber bergerak menjauhi pengamat (B), panjang gelombang yang muncul lebih panjang dan frekuensinya berkurang

Persamaan frekuensi relatifnya adalah

$$f' = f\left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right)$$

Dengan v_o (kecepatan pengamat) dan v_s (kecepatan sumber) positif jika bergerak searah kecepatan gelombang

Sumber Bunyi.

Senar sebagai Sumber Bunyi

Getaran yang terjadi pada senar gitar merupakan gelombang stasioner pada dawai dengan ujung terikat. Satu senar dapat menghasilkan berbagai frekuensi dengan pola gelombang seperti terlihat pada gambar berikut.

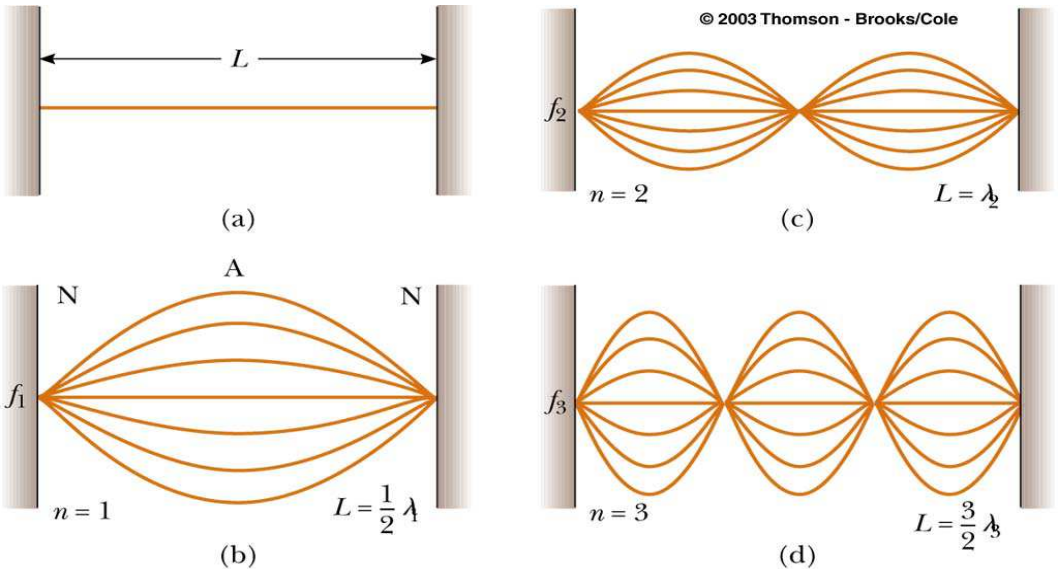


Fig 14.18, p. 443

Slide 25

Frekuensi getaran terendah dinamakan *frekuensi nada dasar.*

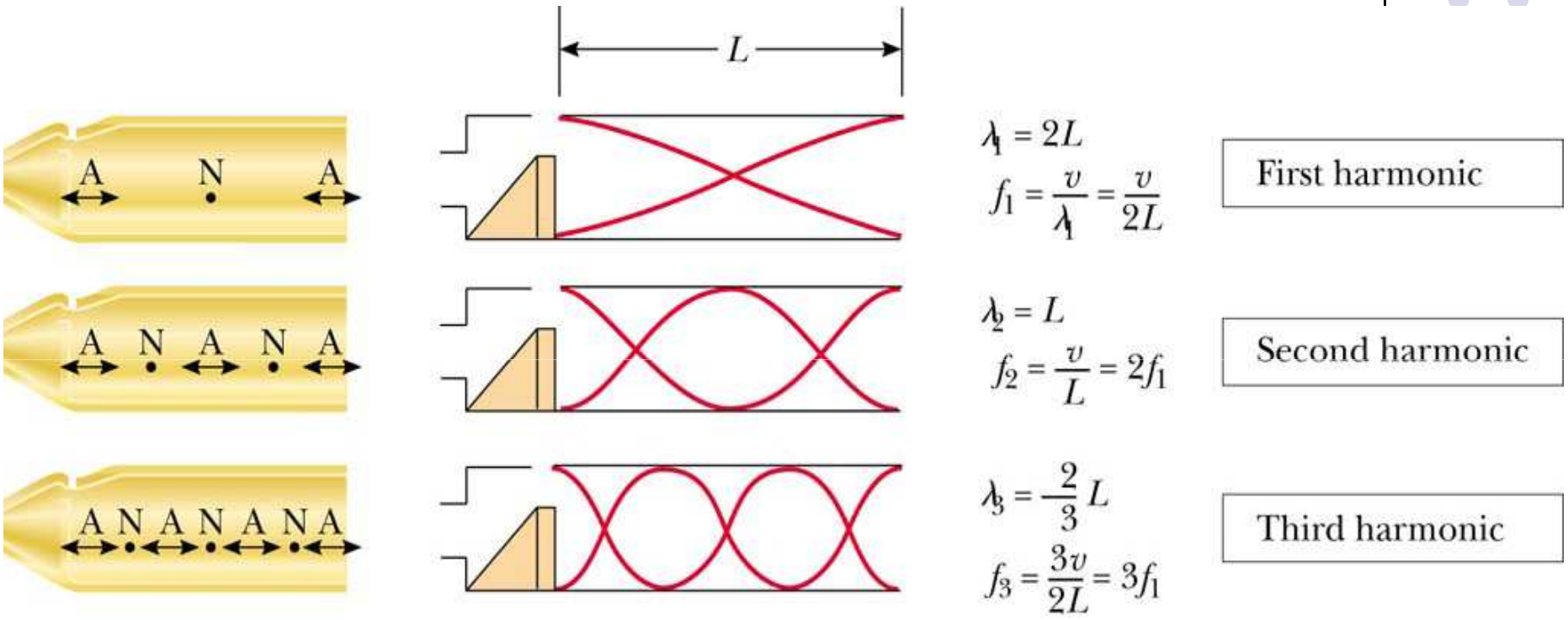
f_0, f_1, f_2 membentuk deret harmonik

f_0 adalah nada dasar dan juga disebut harmonik pertama

f_1 adalah nada atas pertama juga disebut harmonik kedua

$$f_n = (n+1) f_0 = \frac{(n+1)}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Pipa Organa sebagai Sumber Bunyi
Pipa Organa Terbuka

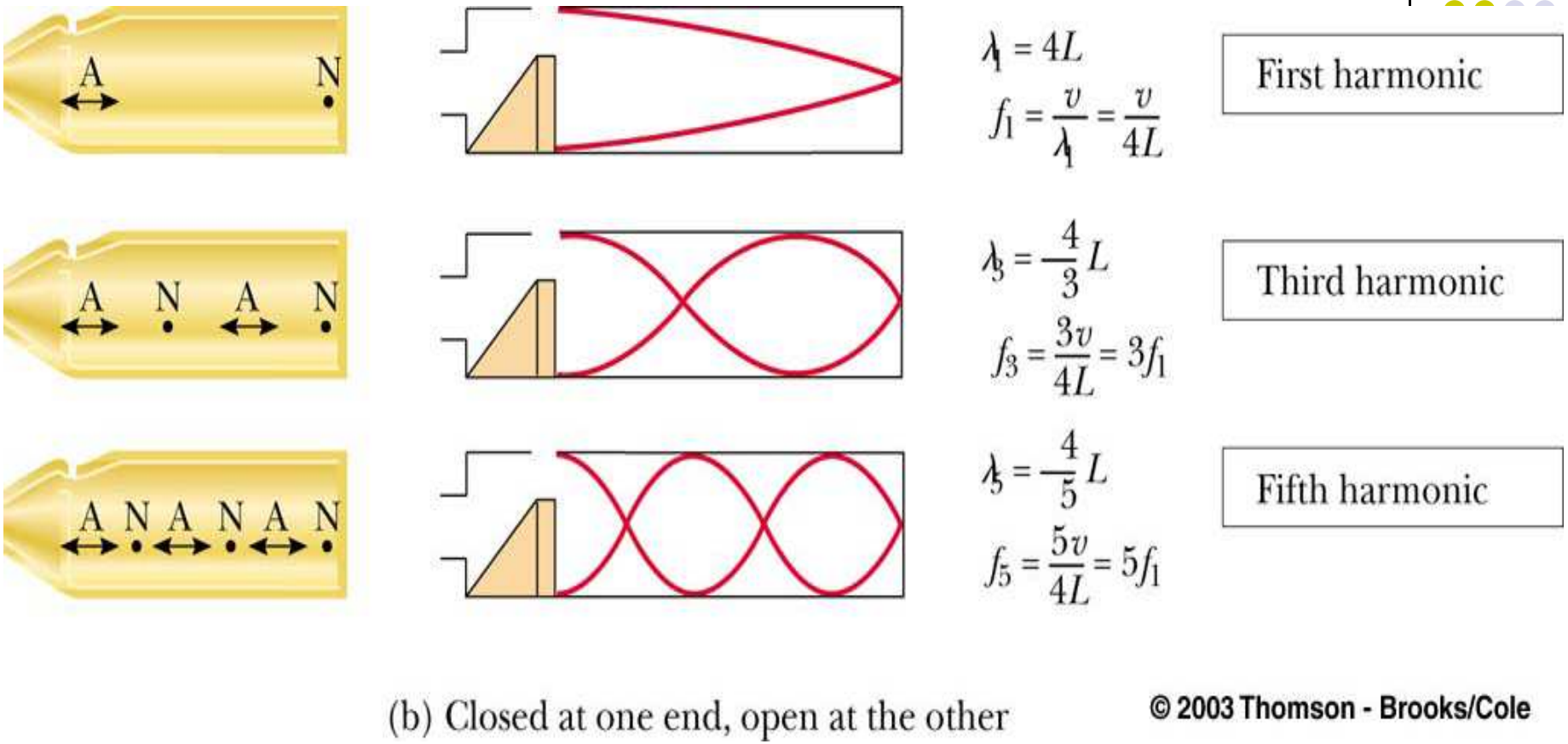


© 2003 Thomson - Brooks/Cole

(a) Open at both ends

Pada pipa organa terbuka, frekuensi alami membentuk sebuah deret harmonik perkalian frekuensi dasar dengan bilangan bulat

Pipa Organa Tertutup



(b) Closed at one end, open at the other

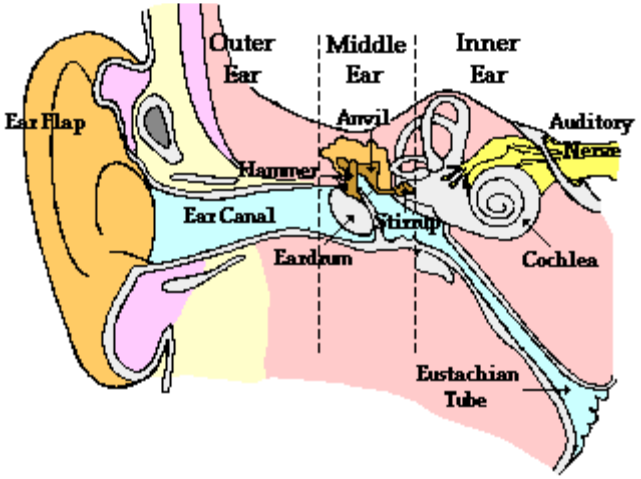
© 2003 Thomson - Brooks/Cole

Pada pipa organa tertutup, frekuensi alami membentuk sebuah deret harmonik perkalian frekuensi dasar dengan bilangan ganjil

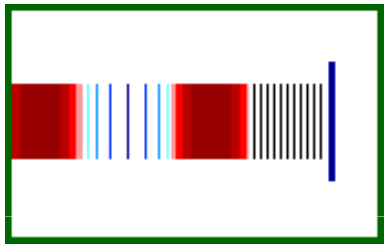
Telinga Manusia

Memahami bagaimana manusia bisa mendengar merupakan subyek kompleks yang melibatkan bidang kajian fisiologi, psikologi dan akustik. Pada bagian ini, kita akan memfokuskan pembahasan pada kajian akustik (cabang ilmu fisika yang terkai dengan bunyi) pendengaran.

Telinga terdiri atas tiga bagian dasar, yaitu telinga bagian luar, telinga bagian tengah dan telingan bagian dalam. Setiap bagian telinga bekerja dengan tugas khusus untuk mendeteksi dan menginterpretasikan bunyi. Teling bagian luar bertugas mengumpulkan dan menyalurkan bunyi ke telinga bagian tengah. Teling bagian tengah berfungsi mentransformasikan energi gelombang suara menjadi getaran internal pada struktur tulang telinga bagian tengah dan secara langsung mengubah getaran tersebut menjadi gelombang termampatkan di teling bagian dalam. Telinga bagian dalam berfungsi mengubah energi gelombang termampatkan di dalam cairan telinga bagian dalam menjadi impuls syaraf yang dapat diteruskan ke otak. Ketiga bagian telinga tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Telinga bagian luar terdiri atas daun telinga dan sebuah saluran telinga dengan panjang sekitar 2 cm. Daun telinga memberikan perlindungan untuk telinga bagian tengah untuk mencegah kerusakan pada gendang telinga. Telinga bagian luar juga menyalurkan gelombang bunyi yang mencapai telinga melalui saluran telinga menuju gendang telinga di bagian tengah telinga. Panjangnya saluran telinga mampu memperkuat suara dengan frekuensi sekitar 3000 Hz. Jika bunyi merambat melalui telinga bagian luar, bunyi masih dalam bentuk gelombang tekanan, dengan pola tekanan tinggi dan rendah secara bergantian.



Telinga bagian tengah merupakan rongga yang berisi udara terdiri atas gendang telinga dan tiga tulang pengeras suara, yaitu tulang martil yang tersambung dengan tulang landasan dan tulang sanggurdi. Gendang telinga merupakan selaput yang terentang dengan kencang yang akan bergetar jika gelombang tekanan sampai padanya. Seperti ditunjukkan di atas, mampatan menekan gendang telinga ke dalam dan regangan menekan gendang telinga keluar, maka gendang telinga akan bergetar dengan frekuensi yang sama dengan gelombang bunyi.

Karena terhubung dengan tulang martil, pergeseran gendang telinga akan mengatur tulang martil, sanggurdi dan landasan menjadi gerak dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi gelombang bunyi. Tulang landasan terhubung dengan telinga dalam dan kemudian getaran tulang landasan akan diteruskan ke cairan teling dalam sehingga menghasilkan gelombang mampatan dalam cairan. Ketiga tulang tersebut berfungsi mengeraskan getaran yang diterima oleh gendang telinga, sehingga telinga bagian dalam menerima getaran 20 kali lebih besar.

Telinga bagian tengah berupa rongga yang berisi udara yang menghubungkan tabung Eustachian dengan mulut. Hubungan ini memungkinkan untuk menyamakan tekanan dalam rongga telinga yang berisi udara. Ketika tabung tersebut terumbat di saat dingin, rongga telinga tidak dapat menyamakan tekanannya, yang akan diikuti dengan sakit telinga dan nyeri lainnya Telinga dalam terdiri atas koklea, saluran setengan lingkaran dan syaraf auditori. Koklea dan saluran setengah lingkaran terisi dengan fluida seperti air. Fluida dan sel syaraf saluran setengah lingkaran berfungsi sebagai akselerometer untuk mendeteksi perpindahan yang dipercepat dan membantu dalam menjaga keseimbangan. Koklea merupakan organ berbentuk keong yang dapat teregengan sekitar 3 cm. Selain terisi dengan fluida, permukaan bagian dalam koklea dilapisi lebih dari 20.000 sel syaraf seperti rambut yang berperan penting dalam kemampuan mendengar. Setiap sel rambut syaraf mempunyai kepekaan alami terhadap frekuensi getaran tertentu. Jika frekuensi gelombang bunyi sama dengan frekuensi alami el syaraf, maka sel syaraf akan beresonansi dengan amplitudo getaran yang lebih besar. Bertambahnya amplitudo getaran menyebabkan sel syaraf melepaskan impuls listrik yang melewati syaraf auditori menuju otak