

Tahu kah kalian, musik yang biasa kalian dengarkan merupakan salah satu contoh dari gelombang bunyi. Namun tidak semua gelombang bunyi itu dapat kita dengarkan salah satu contohnya adalah suara gajah yang sedang berkomunikasi satu sama lain. Lalu pertanyaannya, jenis suara seperti apa yang dapat di dengar oleh manusia? Maka jawabannya akan kita bahas pada materi kita kali ini yaitu gelombang bunyi.

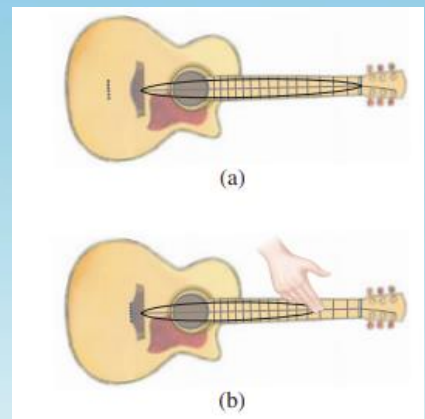
Gelombang bunyi merupakan salah satu gelombang mekanik yang membutuhkan medium dalam perambatannya, gelombang bunyi juga merupakan gelombang longitudinal yang memiliki arah getar partikel sejajar dengan arah perambatan gelombangnya.

1. Pengertian Bunyi

Bunyi atau suara sangat penting dalam kehidupan karena dengan adanya bunyi dapat memudahkan kita dalam berkomunikasi dengan orang di sekitar kita. Pada saat kita berbicara lalu pegang leher kita maka akan dirasakan ada gerakan pada leher kita, ternyata getaran itu berasal dari gerakan pita suara yang menyebabkan leher kita bergerak ketika berbicara.



Gambar 1, Sumber:
<https://th.bing.com/th>



Gambar 2, Sumber: Giancoli

Contoh lainnya suara gitar yang kita dengar itu berasal dari getaran sinar gitar saat kita petik. Dan ketika kita mengamati speaker suara saat kita memutar lagu kesukaan, ternyata suara pada speaker berasal dari getaran diaphragma speaker saat musik atau lagu sedang diputar. Atrinya dapat disimpulkan bahwa bunyi atau suara itu dapat dihasilkan oleh setiap benda yang bergetar.

Setiap benda yang bergetar dan menghasilkan bunyi di sebut dengan sumber bunyi. Bunyi atau suara yang dihasilkan oleh sumber bunyi ini akan merambat dalam bentuk gelombang bunyi sampai terdengar ke telinga kita. Gelombang bunyi ini merupakan salah satu contoh gelombang mekanik yang memerlukan medium dalam proses perambatannya sehingga gelombang bunyi ini hanya dapat merambat jika ada medium (padat, cair, ataupun gas). Itulah mengapa di luar angkasa, sekenjang apapun bunyi yang dihasilkan oleh sumber bunyinya, suaranya tidak akan terdengar karena di

luar angkasa tidak ada medium untuk merambatkan gelombangnya dengan arti lain terjadi di ruang vakum atau hampa udara.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dihasilkan oleh sumber getaran yang merambat secara terus menerus dan terjadi karena adanya rapatan dan renggangan dalam medium (padat, cair, dan gas).

2. Syarat terdengarnya bunyi

- a) Ada sumber bunyi
- b) Ada medium perambatannya (padat, cair, dan gas)
- c) Ada pendengar atau alat penerima bunyi

3. Mekanisme terdengarnya gelombang bunyi

- a) Bunyi dihasilkan oleh sumber bunyi
- b) Bunyi akan menggetarkan medium di sekitarnya
- c) Bunyi akan merambat dalam bentuk gelombang longitudinal
- d) Bunyi sampai ke telinga dan menggetarkan udara di sekitar telinga bagian luar hingga ke gendang telinga
- e) Bunyi diterima dan diteruskan menuju otak oleh telinga bagian dalam
- f) Selanjutnya bunyi diterjemahkan oleh otak, sehingga kita dapat mengenal suara atau bunyi.

Namun dan tidak semua benda yang bergetar (bunyi) dapat menghasilkan bunyi yang didengar oleh manusia, lalu bunyi seperti apa yang tidak dapat didengar oleh manusia? Oleh karena itu kita perlu mengetahui bagaimana karakteristik dari gelombang bunyi.

4. Jenis-jenis bunyi berdasarkan rentang frekuensinya

a) Infrasonik

Memiliki rentang frekuensi dari $0 \text{ Hz} < f_{\text{infrasonik}} < 20 \text{ Hz}$

Gelombang infrasonik ini dapat kita temukan pada peristiwa alam, seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, dan longsor salju.

Bunyi infrasonik ini tidak dapat didengar oleh manusia, karena frekuensinya sangat kecil. Tetapi ada hewan yang dapat mendengar bunyi pada frekuensi infrasonik ini. Berikut contoh hewan yang dapat mendengar dan berkomunikasi menggunakan bunyi infrasonik:

- Gajah, sekitar $14 \text{ Hz} - 16 \text{ Hz}$, sehingga gajah dapat mendeteksi peristiwa alam seperti gempa bumi
- Burung kausari, sekitar 23 Hz
- Paus biru, sekitar $< 14 \text{ Hz}$

Sehingga gelombang bunyi infrasonik ini dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi gempa bumi dan longsor.

b) Audiosonik

Memiliki rentang frekuensi dari $20 \text{ Hz} < f_{\text{audiosonik}} < 20.000 \text{ Hz}$. Dimana bunyi pada frekuensi ini dapat didengar oleh manusia, manusia memiliki batas dalam pendengaran dan menangkap

gelombang bunyi terbukti manusia hanya dapat mendengar bunyi audiosonik. Semakin bertambahnya usia maka tingkat kepekaan pendengaran juga akan semakin menurun, pada usia 36-55 tahun, frekuensi maksimal turun menjadi 17.000 Hz.

Berikut contoh hewan yang dapat mendengar dan berkomunikasi menggunakan bunyi sonik:

- Ikan tuna, sekitar 50 Hz – 1.100 Hz
- Ayam, sekitar 125 Hz – 2.000 Hz
- Burung, sekitar 1.000 Hz – 4.000 Hz

Gelombang bunyi audiosonik ini dimanfaatkan untuk bidang kecantikan yaitu perawatan tubuh dan wajah.

c) Ultrasonik

Memiliki rentang frekuensi $f_{ultrasonik} > 20.000 \text{ Hz}$. Dimana pada rentang frekuensi ini tidak dapat didengar oleh manusia. Berikut contoh hewan yang dapat mendengar dan berkomunikasi menggunakan bunyi sonik:

- Lumba-lumba, sekitar 75 Hz – 123.000 Hz
- Kelelawar, sekitar 2.000 Hz – 110.000 Hz
- Anjing, sekitar 67 Hz – 45.000 Hz

Bunyi ultrasonik ini dimanfaatkan dalam bidang kedokteran pada bagian diagnosis dan pengobatan.

Bagian diagnosis

- Metode A Scanning, mendiagnosa tumor otak, penyakit mata, dan tumor pada retina.
- Metode B Scanning, mendiagnosa struktur tubuh manusia dan mendeteksi kehamilan yang berusia 6 minggu.
- Metode M Scanning, mendiagnosa gerakan jantung, vulva, dan aliran darah.

1. Bagian pengobatan

Menghancurkan jaringan ganas (kanker) yang terdapat di dalam tubuh

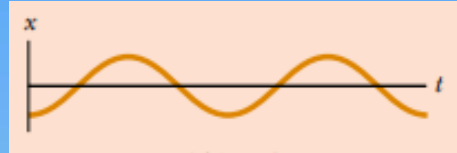
Karakteristik Gelombang Bunyi

Berdasarkan besaran-besarannya, bunyi memiliki 3 karakteristik yaitu:

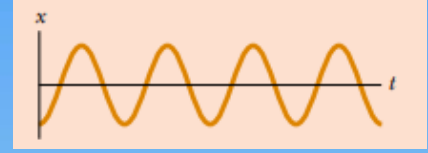
1. Tinggi rendahnya gelombang bunyi

Ketika kalian bernyanyi dengan teman laki-laki dan perempuan, biasanya suara perempuan itu lebih tinggi daripada suara laki-laki, namun mengapa kita dapat membedakan suara tinggi dan suara rendah? Lalu apa perbedaan terkait tinggi rendahnya suara? Mari kita bahas pada sub materi kali ini.

Ketika kalian bernyanyi lalu suara kalian di rekam, kemudian di tampilkan dalam layar osiloskop, maka akan mendapatkan bentuk gelombang seperti



Gambar 2 Suara rendah



Gambar 1 Suara tinggi

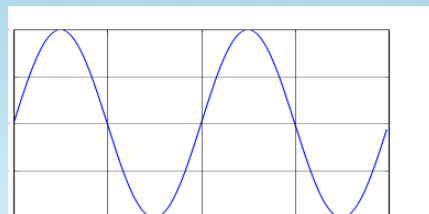
gambar berikut.

Pertanyaannya: suara atau bunyi itu merupakan gelombang longitudinal, lalu mengapa bentuknya gelombang transversal?

Perlu diperhatikan bahwa gelombang bunyi akan ditampilkan pada layar osiloskop itu tidak serta merta mengartikan bentuk gelombang bunyi yang terjadi sesungguhnya. Karena bentuk gelombang bunyi adalah gelombang longitudinal yang memiliki rapatan dan renggangan.

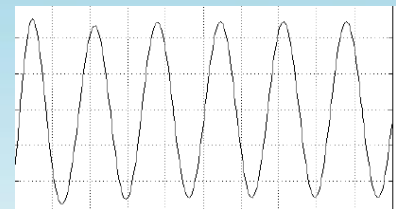
Grafik gelombang bunyi yang ditampilkan pada layar osiloskop di atas merupakan analogi gelombang bunyi yang direkam oleh osiloskop melalui transduser sehingga dapat ditampilkan sebagai gelombang transversal. Dimana bagian gunung itu menunjukkan rapatan dan bagian lembah itu merupakan bagian renggangan.

Berikut interpretasi tinggi rendahnya suara berdasarkan grafik.



Gambar 3 Sumber:

https://matplotlib.org/1.2.1/_i



Gambar 4 Sumber:

<https://www.researchgate.net/pub>

Gambar 3 untuk suara yang rendah dan gambar 4 untuk suara yang tinggi. Dalam selang waktu yang sama, suara yang tinggi memiliki getaran yang lebih banyak dari pada suara yang rendah. Artinya semakin tinggi suara maka getaran yang terjadi setiap detiknya (frekuensi) akan semakin besar. Dan semakin rendah suaranya maka getaran yang terjadi tiap sekonnya (frekuensi) nya akan semakin kecil.

Dapat disimpulkan bahwa: Tinggi rendahnya bunyi atau suara itu bergantung dan dipengaruhi oleh besar dan kecilnya nilai frekuensi. Semakin besar nilai frekuensi maka bunyi atau suara yang terdengar akan semakin tinggi, dan semakin kecil nilai frekuensinya maka bunyi atau suara yang dihasilkan akan semakin rendah.

Frekuensi juga dapat digunakan untuk membedakan jenis bunyi atau suara. Misalnya ketika kita berada di sekitar lingkungan yang bising seperti

di pasar yang membuat kita merasa pusing, kalian akan memilih mendengarkan musik daripada mendengarkan kebisingan, karena musik menghasilkan denagan frekuensi yang teratur, sedangkan suara bising menghasilkan bunyi dengan frekuensi yang tidak teratur. Oleh karena itu,



secara naluri kalian lebih memilih mendengarkan musik daripada suara bising, karena musik lebih mudah diterjemahkan oleh otak.

Gambar diatas merupakan grafik bentuk gelombang untuk musik, coba kalian perhatikan walaupun bentuk gelombangnya seperti yang tidak teratur tetapi sebenarnya bentuk gelombang ini mempunyai pola, karena ada pengulangan pola secara teratur yang mengartikan bahwa musik itu mempunyai frekuensi yang teratur. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa:

- Bunyi dengan frekuensi yang teratur disebut dengan nada.
- Bunyi dengan frekuensi yang tidak teratur disebut dengan desah.

Berdasarkan keteraturannya, nada dapat disusun menjadi suatu deret atau sistem nada

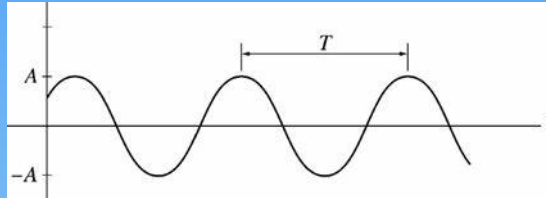
| Deret nada | c | d | e | f | g | a | b | c' |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Baca | do | re | mi | fa | sol | la | si | do |
| Frekuensi (Hz) | 264 | 297 | 330 | 252 | 396 | 440 | 490 | 528 |
| Perbandingan | 24 | 27 | 30 | 32 | 36 | 40 | 45 | 48 |

Berdasarkan tabel di atas kita dapat menyimpulkan bahwa ketika ingin mencapai nada c, maka getaran yang harus dicapai adalah 264 getaran per detiknya. Jika setiap nada kita bandingkan dengan nada c maka dihasilkan suatu interval nada.

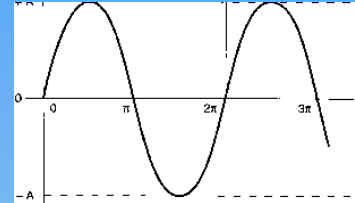
2. Kuat lemah gelombang bunyi

Apakah diantara kalian ada yang suka bermain gitar? Nah saat kalian bermain gitar dan memetik senar gitarnya dengan lemah atau pelan maka dihasilkan suara yang pelan, sedangkan jika dipetik dengan kencang maka suara yang dihasilkan juga akan semakin kencang. Oleh karena itu, kuat lemahnya gelombang bunyi ini dibedakan berdasarkan apa sih? Mari kita bahas pada sub materi kali ini.

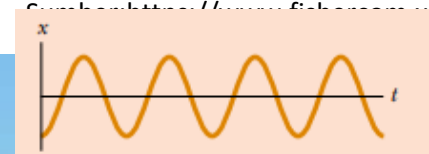
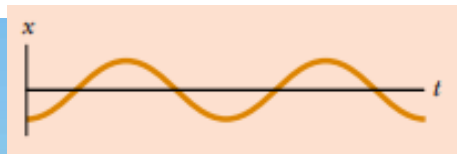
- a) Ketika bunyi yang lemah dan tinggi, kita tampilkan dalam layar osiloskop sehingga akan dihasilkan bentuk gelombang:



Gambar 5 Sumber: <https://th.bing.com/th/> 1



Gambar 6



Dari gambar 5 diatas merupakan grafik untuk petikan yang lemah, sedangkan pada gambar 4 merupakan grafik untuk petikan yang kuat. Dimana berdasarkan gambar di atas, petikan yang lebih kuat memiliki amplitudo yang lebih besar dibandingkan dengan petikan yang lemah dan petikan yang lemah memiliki amplitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan petikan yang kuat. Artinya saat senar gitar dipetik sedikit, dihasilkan amplitudo gelombang bunyi yang kecil, tetapi saat senar gitar dipetik lebih kuat maka dihasilkan amplitudo gelombang bunyi yang lebih besar.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat lemahnya bunyi dapat dibedakan berdasarkan amplitudo gelombangnya.

Dentum merupakan bunyi keras atau kuat yang masih dapat di dengar oleh telinga manusia dan terjadi dalam waktu yang singkat. Dentum ini memiliki amplitudo yang sangat besar sehingga mampu membuat gendang telinga yang mendengarnya menjadi terluka. Berikut contoh-contoh dentum adalah:

- Bunyi senapan saat menembak
- Bunyi bom saat meledak
- Bunyi petasan
- Bunyi petir

Selain amplitudo, kuat lemahnya bunyi dapat dipengaruhi juga oleh jarak yang terbentang dari pendengar ke sumber bunyi. Hal ini terjadi karena energi yang dibawa oleh gelombang bunyi akan semakin berkurang saat jarak pisah antara sumber bunyi dengan pendengarnya semakin bertambah.

Sumber bunyi □ Menghasilkan bunyi □ Merambatkan gelombang bunyi

Gelombang bunyi ini akan membawa energi, ketika jarak yang terbentang antara pendengar dan sumber bunyi semakin jauh maka gelombang bunyi ini energi nya akan semakin berkurang. Berkurangnya energi gelombang ini karena ada energi yang diubah menjadi energi panas (kalor) saat bunyi dirambatkan melalui tumbukan antar partikel mediumnya.

Oleh karena itu, ketika jarak pendengar semakin jauh maka energi yang diperlukan untuk merambatkan gelombang bunyi akan semakin besar agar dapat terdengar oleh pendengar.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara pendengar dengan sumber bunyi maka bunyi yang terdengar akan semakin lemah, dan semakin dekat jarak pendengar dan sumber bunyi maka bunyi yang terdengar akan semakin kuat.

3. Warna atau kualitas gelombang bunyi

Ketika terdapat satu teman kalian yang sedang bermain gitar dan satu teman lain kalian yang bermain piano secara bersamaan, pasti kalian dapat membedakan suara yang dihasilkan gitar ataupun piano, mengapa manusia dapat membedakan antar satu bunyi dengan bunyi yang lainnya? Dan mengapa setiap orang memiliki suara khas yang dimiliki satu sama lain? Temukan jawabannya pada pembahasan kali ini.

Warna atau kualitas bunyi (Timbre) merupakan karakteristik ketiga dari bunyi yang berkaitan dengan ragam bunyi yang diterima oleh pendengar berdasarkan sumber bunyinya. Jika sumber bunyinya berbeda maka bunyi yang diterima juga akan berbeda karena setiap sumber bunyi akan menghasilkan bentuk gelombang bunyi yang unik dan berbeda-beda. Warna atau kualitas bunyi baru dapat dirasakan saat mendengar nada atau frekuensi yang sama dari sumber bunyi yang berbeda. Terbukti, ketika dimainkan pada frekuensi yang sama namun sumber bunyinya berbeda maka bunyi yang terdengar pasti akan berbeda dan terjadilah warna atau kualitas bunyi.

Bunyi yang dihasilkan dari setiap bunyi berbeda-beda karena gelombang bunyinya merupakan gabungan nada dasar dan nada atas yang khas dimiliki setiap sumber bunyi.

Warna atau kualitas bunyi dapat terjadi dan dikenali karena bunyi yang dihasilkan dari setiap sumber bunyi itu merupakan gabungan nada dasar dan nada atas yang khas dimiliki oleh setiap sumber bunyinya.

Cepat Rambat Gelombang Bunyi Pada Medium

Gelombang bunyi merambat dalam bentuk rapatan dan juga renggangan, sehingga bunyi dapat ditransmisikan oleh air, atau material lain sebagai medium perantara. Tetapi bunyi tidak dapat merambat melalui ruang hampa. Karena di luar angkasa tidak memiliki atmosfer seperti di bumi maka para astronot menggunakan alat komunikasi berupa telepon melalui gelombang radio. Bunyi merupakan gelombang longitudinal dan ditandai dengan frekuensi, amplitudo, dan intensitas. Perhatikan gambar slinky berikut:

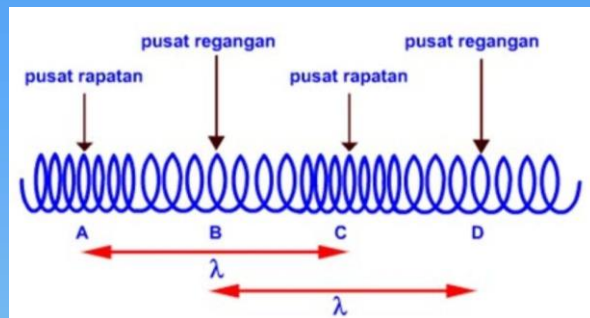


Figure 1 gelombang longitudinal

Panjang gelombang longitudinal ditandai pada pusat rapatan hingga pusat rapatan selanjutnya, begitu pun dengan pusat renggangan hingga pusat renggangan selanjutnya. Dan, pada bab sebelumnya, yaitu pada bab gelombang mekanik telah dibahas bahwa cepat rambat gelombang memiliki persamaan sebagai berikut: $v = \lambda/T$ atau $v = \lambda f$

Dengan:

v : cepat rambat gelombang (m/s)

T : periode (s)

f : frekuensi (Hz)

Berikut merupakan cepat rambat gelombang bunyi, pada medium zat padat, cair dan gas

A. Cepat Rambat Bunyi pada Zat Padat

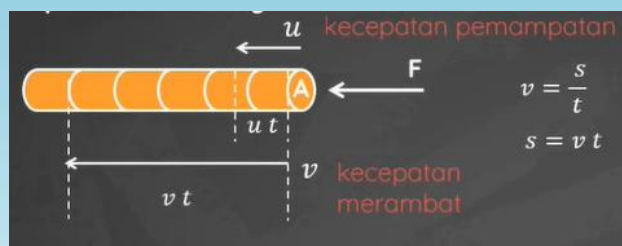


Figure 2 <https://images.app.goo.gl/648Gh8KczJ7vb2oH8>

Salah satu contoh fenomena yang mengilustrasikan cepat rambat gelombang bunyi pada zat padat adalah fenomena "suara yang terdengar jelas di sepanjang rel kereta api". Ketika kereta api melintasi rel, getaran dari gerakan

kereta dan roda-roda disebarkan ke rel. Karena rel adalah zat padat, gelombang bunyi dapat merambat dengan cepat melalui material ini. Ini berarti suara dari gerakan kereta dan roda-roda dapat dengan mudah merambat melalui rel tersebut. Karena cepat rambat bunyi yang tinggi pada zat padat seperti rel, suara dari kereta api dapat terdengar dengan jelas bahkan dari jarak yang cukup jauh. Fenomena ini merupakan contoh langsung dari bagaimana cepat rambat gelombang bunyi pada zat padat memungkinkan suara untuk merambat dengan efisien melalui material tersebut, sehingga dapat didengar dengan jelas oleh pendengar yang berada di sepanjang jalur rel.

Lantas, bagaimana persamaan cepat rambat bunyi dalam zat padat? Untuk menemukan jawabannya, perhatikan gambar berikut:



Sebuah logam dengan penampang A, dipukul ujungnya dengan gaya

Ketika sebuah logam dipukul dengan gaya F , maka pada ujungnya akan mengalami pemampatan. Kita misalkan jika kecepatan pemampatan tersebut adalah u , dengan kecepatan merambat keujung logam (v). Untuk mencari jarak u , kita dapat menggunakan persamaan $s = ut$ dan untuk mencari jarak kecepatan yang merambat keujung logam, persamaannya adalah $s = vt$

Pada bab elastisitas, kita telah mempelajari bahwa zat padat memiliki modulus Young, dimana:

$$Y = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} \text{ atau } Y = \frac{\sigma}{e}$$

Keterangan:

Y: Modulus Young (N/m^2)

σ : Tegangan = $\frac{F}{A}$ dengan satuan (N/m^2)

e: Regangan = $\frac{\text{panjang pemampatan kecepatan}}{\text{panjang rapatan}} = \frac{ut}{vt}$,

karena waktu yang ditempuh sangat singkat, maka t dapat dianggap sama, sehingga persamaan menjadi $e = \frac{u}{t}$.

Substitusikan, $\sigma = \frac{F}{A}$ dan $e = \frac{u}{t}$ kedalam persamaan $Y = \frac{\sigma}{e}$, sehingga didapat

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{u}{t}}$$

Sehingga, persamaannya menjadi

$$Y = \frac{Fv}{Au}$$

Atau

$$F = \frac{Y A u}{v}$$

Kalikan kedua ruas dengan t

$$Ft = \frac{Y A u}{v} t$$

Pada bab impuls, kelas X ingat kembali persamaannya. Dimana, impuls adalah perubahan momentum dengan persamaan sebagai berikut

$$Ft = \Delta P$$

$$Ft = m(v_2 - v_1)$$

Keterangan:

v_2 : Kecepatan setelah dipukul atau u (m/s)

v_1 : Kecepatan sebelum dipukul (m/s)

$$Ft = m(u - 0)$$

Dapat ditulis,

$$Ft = m u$$

Dan m (massa) dapat diubah dari

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Atau dapat kita ubah menjadi

$$m = \rho V$$

Dengan:

V: Volume (m^3)

ρ : Massa jenis zat (kg/m^3)

Kita dapat mengubah V, dengan menggantinya dengan luas penampang dikali panjang logam, sehingga persamaannya

$$m = \rho A v t$$

Selanjutnya, substitusikan m yang telah didapat pada persamaan $Ft = m u$

$$Ft = \rho A v t u$$

Substitusi kembali persamaan tersebut kedalam persamaan $Ft = \frac{Y A u}{v} t$, sehingga:

$$\rho A v t u = \frac{Y A u}{v} t$$

$$\rho v = \frac{Y}{v}$$

$$\rho v^2 = Y$$

$$v^2 = \frac{Y}{\rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Keterangan:

Y: Modulus Young (N/m^2)

ρ : Massa jenis zat padat (kg/m^3)

v: Cepat rambat bunyi (m/s)

Cepat rambat bunyi dalam zat padat bergantung pada modulus Young dan massa jenis zat padat, cepat rambat ini nilainya paling besar dibandingkan zat cair dan gas. Dengan menggunakan konsep serupa dalam mencari cepat rambat bunyi dari zat yang lain, maka konsep tersebut juga berlaku dan dapat dipakai pada zat cair, dan gas juga.

B. Cepat Rambat Bunyi pada Zat Cair

Kamu tahu ketika kita pergi ke kolam renang dan seseorang melompat atau menyelam ke dalam air? Kamu pasti mendengar suara 'plons' yang keras, kan? Nah, suara itu bergerak dengan cepat melalui air. Air itu seperti teman yang cepat mengirim pesan kepada kita. Jadi, ketika ada sesuatu yang terjadi di air, seperti orang melompat ke dalamnya, air langsung memberitahu kita dengan suara 'plons' yang kita dengar.



Figure 1

<https://images.app.goo.gl/58TiCzDoMtYzneXM8>

Fenomena ini menunjukkan bagaimana gelombang bunyi dapat merambat dengan cepat melalui air.

Suatu zat yang digolongkan kedalam cairan jika zat tersebut tidak mampu mempertahankan modulus volumenya (Bulk) sehingga zat cair cenderung mengikuti bentuk

wadahnya. Modulus Bulk (β) merupakan karakter kepekatan zat cair yang menentukan sulit mudahnya zat cair tersebut untuk merubah bentuk. Nilai modulus Bulk ditentukan oleh karakteristik bahan sehingga antara satu zat dengan zat lainnya akan memiliki nilai modulus Bulk yang berbeda. Berbeda dengan modulus Young, modulus Bulk bekerja pada suatu volume yang memiliki dimensi ruang. Berdasarkan persamaan 12 kita dapat melihat bahwa untuk bidang satu dimensi persamaan cepat rambat bunyi dinyatakan oleh modulus Young dan massa jenis benda. Dengan cara yang sama pada kasus tiga dimensi kita dapat mengganti variabel Y menjadi β sehingga kita memperoleh persamaan cepat rambat bunyi didalam medium cair berupa

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

Keterangan:

B: Modulus Bulk (N/m^2)

ρ : Massa jenis zat cair (kg/m^3)

v: Cepat rambat bunyi (m/s)

Untuk menentukan nilai cepat rambat bunyi didalam medium cair juga mengalami hambatan. Hambatan yang muncul adalah jika zat cair yang digunakan sebagai medium perambatan mengalami osilasi yang diakibatkan oleh gaya grafitasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut kita bisa melakukan aproksimasi persamaan diatas untuk kasus tersebut menjadi

$$v = \sqrt{gd}$$

dengan g adalah percepatan grafitasi ($9,8 m/s^2$) dan d adalah kedalaman dari cairan tersebut.

C. Cepat Rambat Bunyi pada Zat Gas



Petir menyambar selama badai

Ketika petir menyambar selama badai, terdengar suara gemuruh yang disebut guntur. Fenomena ini menunjukkan bagaimana gelombang bunyi dapat merambat dengan cepat melalui udara, yang pada dasarnya adalah zat gas. Cepat rambat bunyi dalam zat gas bergantung pada modulus Elastisitas dan massa jenis zat gas, seperti yang tertuang pada persamaan berikut:

$$v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

Keterangan:

k : Modulus Elastisitas (N/m^2)

ρ : Massa jenis zat gas (kg/m^3)

v : Cepat rambat bunyi (m/s)

Kasus perambatan bunyi pada medium gas tidak bisa disamakan dengan zat cair meskipun keduanya tergolong kedalam zat yang berwujud fluida. Dalam kasus medium gas, cepat rambat gelombang bunyi juga dipengaruhi oleh modulus Bulk dari udara yang terkandung. Akan tetapi ketika kita membahas modulus Bulk pada zat cair tidak terdapat faktor tekanan sedangkan pada gas terdapat kontribusi dari tekanan terhadap modulus Bulk. Hal tersebut disebabkan karena zat cair merupakan zat yang tergolong non-compressible sedangkan gas merupakan zat yang bersifat compressible. Merujuk pada pembahasan Teori Kinetik Gas tentunya kalian ingat dengan konstanta gas (k). Modulus elastisitas (k) digunakan pada cepat rambat bunyi zat gas, dengan persamaan:

$$k = \gamma P$$

Keterangan:

k: Modulus elastisitas

P: Tekanan gas

γ : Konstanta Laplace

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

C_p : Kapasitas kalor pada tekanan tetap

C_v : Kapasitas kalor pada volume tetap

Dengan mensubstitusikan k kedalam persamaan $v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ sehingga didapat

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

Dalam bab teori kinetik gas, terdapat persamaan umum gas ideal

$$P V = n R T$$

Dimana P adalah tekanan mutlak (bukan ukuran), n adalah jumlah mol gas, dan T merupakan temperatur dalam kelvin. Adapun lambing R adalah suatu konstanta gas, yang nilainya sama untuk semua gas, yaitu $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

Substitusikan $n = \frac{m}{Mr}$ kedalam persamaan $P V = n R T$, sehingga

$$P V = \left(\frac{m}{Mr} \right) R T$$

$$P = \left(\frac{m}{Mr V} \right) R T$$

Kita tahu, bahwa $\rho = \frac{m}{V}$, sehingga persamaan dapat ditulis

$$P = \frac{\rho R T}{Mr}$$

Persamaan tersebut kita substitusikan kembali pada persamaan $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \frac{\rho RT}{Mr}}{\rho}}$$

Sehingga

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}}$$

Keterangan:

v : Cepat rambat bunyi (m/s)

R : Konstanta gas (J/mol .K)

γ : Konstanta Laplace

T : Suhu mutlak (K)

Mr : Massa molekul relatif gas

Berdasarkan persamaan 16 dapat disimpulkan bahwa persamaan cepat rambat bunyi di udara tidak dipengaruhi oleh tekanan akan tetapi oleh temperatur udara. Kesebandingan antara $v \propto T$ menunjukkan bahwa perambatan gelombang bunyi semakin bertambah seiring dengan akar kuadrat temperature.

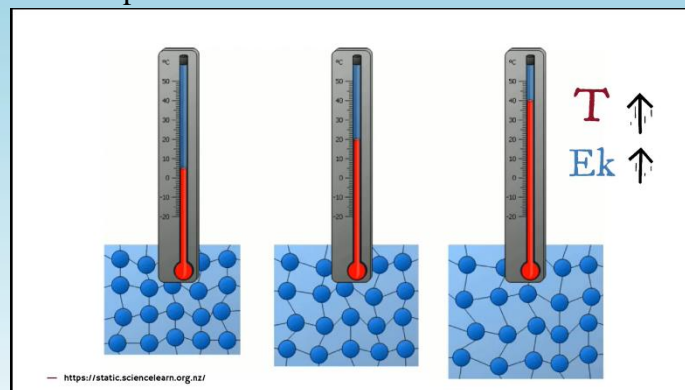


Figure 2 asumsi suhu dan pergerakan partikel

bunyi, dapat dilihat dari kasus pada gambar disamping yang dimana ketika suhu tinggi, maka energi kinetik partikel pun akan semakin tinggi sehingga akan mudah menggetarkan partikel-partikel disekitarnya sebagai bentuk perambatan energi dari bunyi. Sebaliknya ketika suhu rendah, maka bunyi akan sulit merambat pada partikel-partikel disekitarnya medium tersebut. Di udara pada 0°C dan 1 atm, bunyi berjalan pada kecepatan 331 m/s. Lihatlah tabel dibawah ini:

Medium dan suhu merupakan besaran yang dapat memengaruhi cepat rambat bunyi. Suhu yang juga berperan dalam menentukan cepat rambat

| Material | Cepat Rambat Bunyi (m/s) |
|------------|--------------------------|
| Udara | 343 |
| Udara 0°C | 331 |
| Helium | 1005 |
| Hidrogen | 1300 |
| Air | 1440 |
| Air Laut | 1560 |
| Glass | 4500 |
| Aluminium | 5100 |
| Kayu keras | 4000 |

Table 1 Laju bunyi dalam berbagai material (20°C dan 1 atm)

Menurut Giancoli (2014) Nilai-nilai agak tergantung pada temperature, terutama untuk gas. Misalnya, di udara dekat temperature kamar, laju meningkat sekitar 0,60 m/s untuk setiap peningkatan temperatur satu derajat Celcius:

$$v \approx (331 + 0,607)m/s \quad [\text{Laju bunyi di udara}]$$

Dalam menentukan cepat rambat bunyi diudara, dapat menggunakan bantuan alat yang bernama osiloskop.

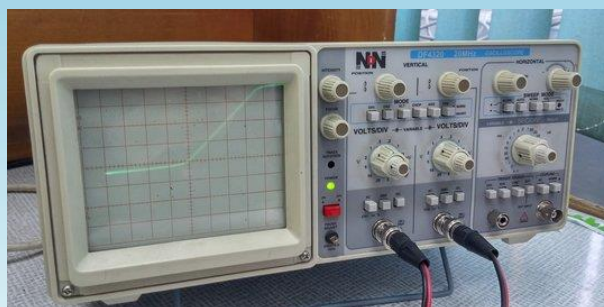


Figure 3 osiloskop

Gejala-Gejala Gelombang Bunyi

Gejala gelombang bunyi adalah berbagai peristiwa atau fenomena yang terjadi ketika gelombang bunyi merambat melalui suatu medium. Ini mencakup berbagai hal, seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, resonansi, efek Doppler dan pelayangan . Gejala ini dapat diamati dalam kehidupan sehari-hari. Ayo, sekarang kita akan berbicara tentang sesuatu yang sangat menarik, yaitu suara! Apakah kamu pernah mendengar suara burung bernyanyi di pagi hari atau suara gemuruh air terjun yang besar? Suara itu berasal dari gelombang bunyi yang bisa kita dengar dengan telinga kita. Sekarang, mari kita pelajari lebih banyak tentang gejala-gejala yang bisa kita amati ketika suara bepergian melalui udara!

1. Pemantulan Gelombang Bunyi

Sudahkah Anda pernah menyaksikan pertunjukan teater atau menonton film di bioskop? Mengapa di panggung teater atau di bioskop sering dipasang alat peredam suara? Mari kita bahas bersama!

Pemasangan alat peredam suara pada dinding panggung teater dan bioskop dilakukan sebagai langkah antisipatif untuk mengatasi fenomena pantulan gelombang suara. Ketika gelombang suara bertemu dengan suatu penghalang, seperti dinding, maka akan terjadi pantulan suara dari penghalang tersebut. Pantulan ini bisa menyebabkan gaung atau echo ketika suara pantulan tersebut bertabrakan dengan suara asli dalam arah yang berlawanan. Fenomena ini dapat mengganggu dan membuat suara tidak terdengar jelas. Meskipun fenomena pantulan suara ini memiliki dampak negatif dalam ruangan tertentu, namun juga memiliki manfaatnya sendiri. Salah satu contoh manfaatnya adalah pada penggunaan sistem sonar.

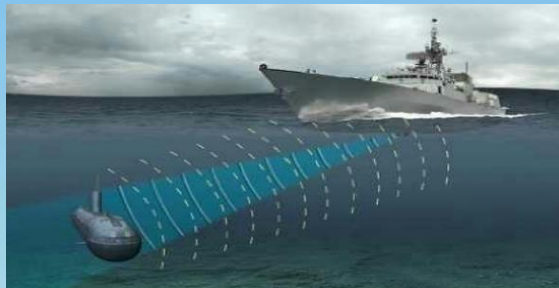


Figure 4 sonar pada kapal

Sonar adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kedalaman laut. Dalam sonar, gelombang bunyi dipancarkan ke dasar laut. Ketika gelombang bunyi tersebut memantul dari permukaan laut yang kasar, akan terjadi pantulan dengan arah yang berlawanan, yaitu

kembali ke permukaan. Gelombang pantulan dari permukaan laut kemudian ditangkap oleh sebuah sensor yang akan memetakan koordinat benda/kedalaman dengan membandingkan perbedaan waktu dari saat gelombang dipancar hingga gelombang pantul diterima oleh sensor.

Sehingga dengan kata lain, gelombang bunyi memiliki gejala yang sama pada gejala gelombang mekanik, bunyi juga menabrak saat mengenai dinding penghalang. Sehingga pada bunyi juga berlaku hukum pemantulan, “Sudut Datang = Sudut Pantul”. Pemantulan bunyi gelombang bunyi itu ada beberapa macam, yaitu:

- a. Bunyi pantul yang memperkuat bunyi asli. Terjadi jika jarak antara sumber bunyi dan bidang pemantul sangat dekat.
- b. Gaung, dimana sebagian bunyi pantul terdengar bersamaan dengan bunyi aslinya, sehingga bunyi asli menjadi tidak jelas. Seperti dalam gua atau ruangan yang besar, dan terdengar kembali oleh pendengar sebagai suara yang memantul dari dinding-dinding ruangan. Oleh karenanya, misalnya pada studio musik pada dinding-dindingnya diberi bahan yang bisa menyerap suara.



Figure 7 Studio musik

- c. Gema, bunyi pantul yang terdengar setelah bunyi asli, jarak antara sumber bunyi dengan bidang pemantul sangat jauh. Seperti tebing atau bangunan, dan terdengar kembali oleh pendengar sebagai suara yang samar-samar dan terlambat.

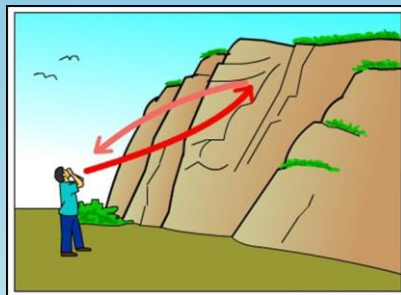


Figure 8 Ilustrasi gema

2. Pembiasan Gelombang Bunyi

Pembiasan gelombang merupakan pembelokan arah rambat gelombang. Pembelokan gelombang bunyi disebabkan oleh perbedaan kerapatan medium yang dilaluinya. Sebagai contoh sumber bunyi yang berasal dari medium yang renggang akan dibelokkan ketika memasuki medium yang lebih rapat. Kerapatan medium memberikan pengaruh terhadap cepat rambat bunyi yang bergerak. Pada medium yang lebih rapat bunyi akan mengalami perlambatan sehingga terjadi perubahan kecepatan rambat. Akibatnya terjadi penyimpangan jalur perambatan dari gelombang bunyi tersebut. Contohnya adalah pada pembiasan bunyi petir tadi, “Kenapa pada malam hari bunyi petir terdengar lebih keras dibanding siang hari?”

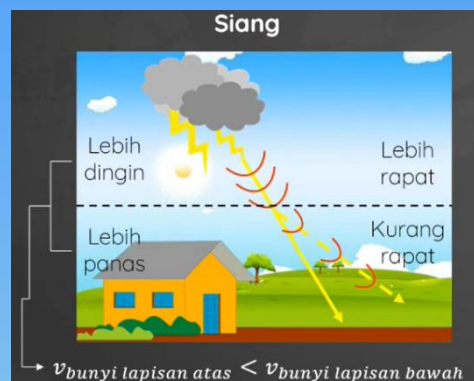


Figure 5 Ilustrasi petir pada siang hari

medium pada lapisan atas itu lebih rapat daripada medium pada lapisan bawah. Jadi, pada siang hari, bunyi petir itu merambat dari medium lebih rapat, menuju ke medium kurang rapat. Ini tegak lurus terhadap bidang).

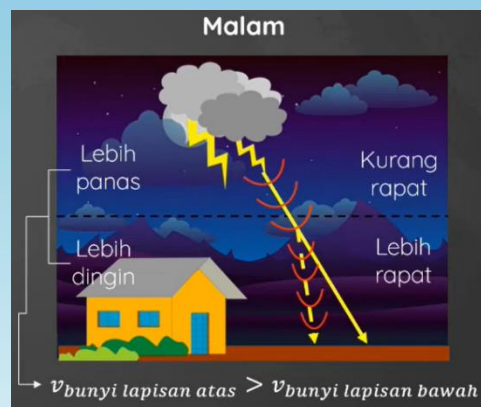


Figure 6 Ilustrasi petir pada malam hari

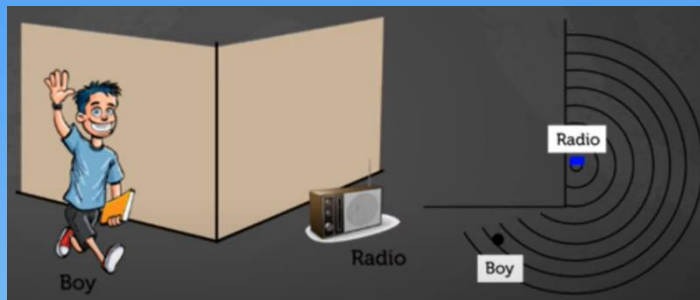
medium yang kurang rapat menuju medium yang lebih rapat, itu akan dibiaskan mendekati garis normal. Perbedaan jarak tempuh cepat rambat bunyi itulah yang menyebabkan mengapa bunyi petir pada malam hari terdengar lebih keras dibandingkan pada siang hari.

Ketika siang hari, udara pada lapisan atas lebih dingin daripada lapisan bawahnya, sedangkan pada suhu dingin cepat rambat bunyi lebih kecil ketika berada pada lapisan suhu panas. Sehingga, kecepatan rambat bunyi pada lapisan atas itu lebih kecil daripada kecepatan rambat bunyi pada lapisan bawah. Ini berarti

Sedangkan pada malam hari, lapisan atas akan lebih panas daripada lapisan bawah. Sehingga, cepat rambat bunyi lapisan atas akan lebih besar daripada cepat rambat lapisan bawah. Artinya, medium pada lapisan atas kurang rapat dan di lapisan bawah mediumnya lebih rapat. Jadi pada malam hari, bunyi petir merambat dari

3. Difraksi Gelombang Bunyi

Misalkan ada seorang anak yang akan belok pada suatu ruangan, dan pada belokan tersebut ada radio atau sumber bunyi. Pada saat itu, anak tersebut mendengar bunyi radio tersebut meskipun tidak melihat sumber bunyinya.



Nah itu dikarenakan bunyi itu mengalami difraksi. Difraksi merupakan perubahan arah gelombang ketika melewati

sebuah celah atau sebuah gelombang.

Figure 7 Ilustrasi seorang anak yang akan berbelok ke suatu ruangan

Pada kasus difraksi, panjang gelombang yang lebih panjang akan mudah didifraksi. Dalam proses difraksi salah satu faktor yang berpengaruh adalah panjang gelombang. Dengan mengadopsi persamaan:

$$d \sin \theta = n \lambda$$

Maka nilai panjang gelombang (λ) merupakan indikator alami suatu gelombang untuk mengalami difraksi. Gelombang bunyi merupakan gelombang dengan panjang gelombang yang besar yaitu berkisar pada orde centi-meter hingga meter.. Dengan panjang gelombang yang besar maka gelombang bunyi tergolong gelombang yang mudah untuk berdifraksi. Sebagai perbandingan sederhana pada gelombang cahaya yang memiliki panjang gelombang dari orde angstrom (10^{-10}) sampai ke orde mikrometer (10^{-6}).

4. Interferensi Gelombang Bunyi

Interferensi merupakan suatu fenomena yang dihasilkan oleh superposisi. Ketika terjadi superposisi gelombang mengalami perpaduan dengan gelombang lainnya yang saling koheren. Koheren menjadi suatu syarat agar terjadi interferensi pada gelombang. Koheren mengisyaratkan gelombang yang berinterferensi memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama.

Misalkan ada dua speaker yang identik sebagai sumber bunyi satu (S1) dan sumber bunyi dua (S2)

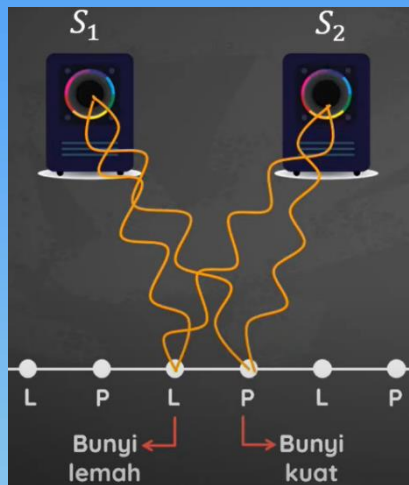


Figure 8 Ilustrasi dua buah speaker yang dinyalakan secara bersamaan

Ketika keduanya dinyalakan akan ada perpaduan bunyi atau interferensi bunyi yang mana pada posisi tertentu, yang mana didepannya akan terdengar bunyi kuat dan bunyi lemah. Jadi, interferensi atau superposisi, merupakan perpaduan dua gelombang bunyi yang menghasilkan pola-pola tertentu.

Selama proses interferensi gelombang bunyi maka akan terjadi suatu pola maksimum dan minimum dari perpaduan gelombang dengan istilah konstruktif untuk pola maksimum dan destruktif untuk pola minimum. Untuk bunyi yang kuat itu terjadi karena interferensi konstruktif, dimana

gelombang bunyi yang bertemu di titik P adalah sefase, sehingga selisih jarak sumber ke titik temu interferensi tadi itu sama dengan jarak sumber satu ke titik P dikurangi dengan jarak sumber dua ke titik P, atau dapat ditulis:

$$\Delta S = |S_1 P - S_2 P| = n\lambda, \text{ dengan bunyi kuat } (n) = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Sedangkan pada bunyi kuat lemah, terjadi karena interferensi destruktif. Di mana dua gelombang bunyi yang bertemu di titik L adalah berlawanan fase. Sehingga selisihnya:

$$\Delta S = |S_1 L - S_2 L| = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

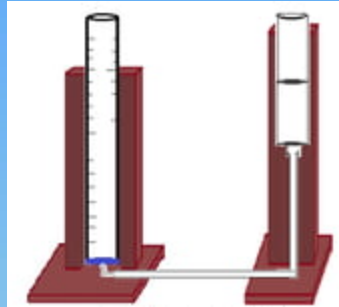
5. Resonansi

Pada suatu percobaan, ada dua buah garpu tala yang diletakkan bersebelahan. Saat salah satu garpu tala digetarkan dengan pemukul, garpu tala di sebelahnya juga bisa ikut bergetar. Hmm, kenapa bisa begitu, ya? Peristiwa ikut bergetarnya garpu tala yang memiliki frekuensi yang sama disebut dengan peristiwa resonansi. Pada saat garpu tala digetarkan maka gelombang yang dihasilkan akan merambat dalam suatu medium. Gelombang tersebut kemudian menyebabkan area disekitarnya bergetar dengan frekuensi yang sama dengan getaran sumber. Karena garpu tala B memiliki tetapan frekuensi yang sama dengan benda A maka garpu tala B akan bergetar layaknya getaran pada garpu tala A. Akan tetapi jika tetapan frekuensi garpu tala B berbeda dengan garpu tala A maka garpu tala B tidak akan ikut bergetar seperti pada garpu tala A. Sehingga dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai peristiwa resonansi maka kedua benda harus memiliki frekuensi getar yang sama.

Peristiwa resonansi kemudian dapat diimplementasikan untuk menemukan cepat rambat gelombang bunyi didalam suatu medium. Salah

satunya adalah penentuan cepat rambat bunyi dalam medium udara melalui percobaan tabung resonansi.

Figure 13 Rangkaian tabung resonansi



Percobaan tabung resonansi menggunakan dua buah tabung yang diisi dengan air. Tabung sebelah kanan digunakan untuk mengatur ketinggian cairan pada tabung sebelah kiri. Sebelumnya pada ujung tabung sebelah kiri digetarkan garpu tala dengan frekuensi tertentu. Ketinggian cairan dijadikan indikator interferensi maksimum dan minimum dimana pada saat interferensi maksimum maka akan terdengar bunyi dan pada saat interferensi minimum maka bunyi tidak akan terdengar sama sekali. Kecepatan rambat bunyi diudara kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$v = \frac{4Ln}{2n - 1} f$$

dengan v adalah cepat rambat bunyi di udara (m/s), L adalah jarak bunyi ke- n dari ketinggian cairan awal, f merupakan frekuensi garpu tala dan n merupakan urutan bunyi dengan dengan $n = 1, 2, 3$, dst. Percobaan mengenai tabung resonansi sering juga disebut dengan eksperimen resonansi udara.

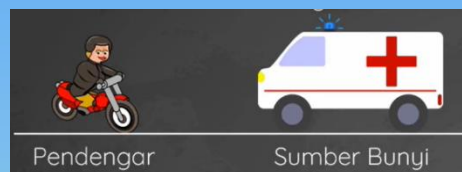
Resonansi bunyi terjadi apabila memenuhi syarat-syarat berikut.

1. Harus ada sumber bunyi atau benda lain yang menghasilkan getaran.
2. Ada medium perambatan gelombang bunyi, baik medium benda padat maupun udara.
3. Harus ada benda lain selain sumber bunyi atau sumber getaran.
4. Frekuensi sumber bunyi atau sumber getaran harus sama dengan frekuensi alami benda selain sumber bunyi tersebut

Resonansi bunyi dapat memperkuat bunyi asli, sehingga bunyi yang dihasilkan dapat terdengar lebih keras dan nyaring. Bentuk peristiwa resonansi dalam kehidupan ada yang menguntungkan dan ada juga yang merugikan. Salah satu peristiwa resonansi yang menguntungkan adalah saat berbicara dan berteriak. Disekitar selaput suara (pita suara) manusia terdapat area yang merupakan lalu lintas udara. Ketika pita suara tersebut bergetar maka udara akan ikut bergetar hingga akhirnya getaran tersebut ditransfer ke luar mulut. Sehingga kita mendengar bunyi (suara) yang jelas. Sedangkan bentuk peristiwa resonansi yang merugikan adalah pada saat

terjadi petir ataupun ledakan bom yang besar. Akibat dari getaran yang dihasilkan oleh petir ataupun ledakan bom maka benda-benda disekitar area tersebut akan ikut bergetar. Pada beberapa kasus bunyi petir dapat menyebabkan kaca rumah pecah.

6. Efek Doppler



Suatu ketika kamu pergi dengan motor ke suatu taman bermain. Diperjalanan kamu melihat mobil ambulan bergerak dengan cepat ke arah berlawanan sambil membunyikan sirine. Hingga beberapa saat kemudian kamu tidak lagi mendengar suara sirine ambulan tersebut. Menurutmu mengapa demikian? Faktor apa saja yang mempengaruhi bunyi sirine yang kamu dengar? Peristiwa tersebut didalam fisika merupakan implementasi dari efek Doppler. Efek Doppler merupakan gejala yang terjadi ketika sumber bunyi mengalami pergerakan secara relatif terhadap pengamat.

Dalam efek Doppler dijelaskan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap bunyi yang didengar oleh pengamat terdiri dari frekuensi sumber bunyi, kecepatan gerak sumber bunyi dan gerak pengamat. Ketika pengamat berada pada jarak yang dekat dengan sumber bunyi maka pengamat akan mendengar bunyi dengan frekuensi yang lebih tinggi. Sehingga frekuensi yang didengar oleh pengamat berbanding terbalik dengan posisi pengamat terhadap sumber bunyi. Selanjutnya ketika sumber bunyi mengeluarkan frekuensi yang lebih besar maka frekuensi yang diterima oleh pengamat juga akan lebih tinggi sehingga frekuensi sumber bunyi berbanding lurus dengan frekuensi yang diterima oleh pengamat. Hubungan tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\frac{f \text{ sumber}}{X \text{ sumber}} = \frac{f \text{ pengamat}}{X \text{ pengamat}}$$

$$f \text{ pengamat} = \frac{X \text{ pengamat}}{X \text{ sumber}} f \text{ sumber}$$

Ketika terjadi pergerakan baik oleh pengamat maupun sumber bunyi maka persamaan diatas berubah menjadi bentuk

$$f \text{ pengamat} = \frac{v \text{ pengamat}}{v \text{ sumber}} f \text{ sumber}$$

Karena bunyi merupakan gelombang yang merambat dalam suatu medium maka cepat rambat bunyi dalam medium tersebut menjadi faktor

yang juga berpengaruh terhadap frekuensi yang diterima oleh pengamat. Maka dengan memasukkan faktor tersebut persamaan tersebut dapat ditulis ulang menjadi:

$$fp = \frac{vb \pm vp}{vb \pm vs} fs$$

Keterangan:

fp : Frekuensi yang didengar pengamat (Hz)

fs : Frekuensi dari sumber bunyi (Hz)

vb : Cepat rambat gelombang bunyi (m/s)

vp : Kecepatan pendengar (m/s)

vs : kecepatan sumber (m/s)

Tanda positif negatif merupakan indikasi pergerakan dari sumber bunyi ataupun pengamat. Ketika sumber bunyi dan pengamat bergerak saling menjauhi maka nilai dari vs menjadi positif dan vp menjadi negatif. Begitupun sebaliknya untuk kasus yang berbeda.

Pada medium udara, bunyi juga dipengaruhi oleh kecepatan udara sehingga dengan mensubstitusikan faktor tersebut maka persamaannya dapat ditulis ulang menjadi:

$$fp = \frac{vb \pm vp \pm h}{vb \pm vs \pm h} fs$$

dengan h merupakan kecepatan udara

7. Pelayangan Gelombang Bunyi

Nada bunyi yang terdengar keras dan lemah yang saling bergantian secara periodik. Terjadi bila ada dua sumber bunyi atau lebih yang memiliki perbedaan frekuensi yang kecil. Beberapa contoh fenomena pelayangan gelombang bunyi yang sering kita jumpai termasuk:

- Suara yang dipantulkan oleh dinding atau bangunan di sekitar kita, menciptakan efek gema yang terdengar sebagai suara samar-samar yang memantul.
- Suara yang dipantulkan oleh tebing atau bukit ketika berada di daerah terbuka, menciptakan efek gaung yang terdengar sebagai suara yang memantul dari jarak tertentu.

Beberapa karakteristik dari pelayangan gelombang bunyi meliputi:

- Pantulan: Gelombang bunyi mengenai suatu permukaan dan sebagian energinya dipantulkan kembali.
- Waktu Tunda: Suara yang dipantulkan membutuhkan waktu untuk mencapai pendengar, menciptakan efek terlambat dalam persepsi suara.

- c. Samar: Suara yang dipantulkan sering kali terdengar lebih samar daripada suara aslinya karena mengalami beberapa kali pemantulan sebelum mencapai pendengar.

Gelombang stasioner pada alat penghasil bunyi

Suara dalam musik dihasilkan melalui berbagai sumber, termasuk getaran pada senar (seperti gitar, piano, dan biola), membran (seperti drum), kolom udara (seperti seruling dan oboe), serta benda-benda seperti blok kayu atau batang baja (seperti marimba dan xylophone). Instrumen-instrumen tersebut umumnya melibatkan beberapa bagian yang bergetar secara bersamaan.

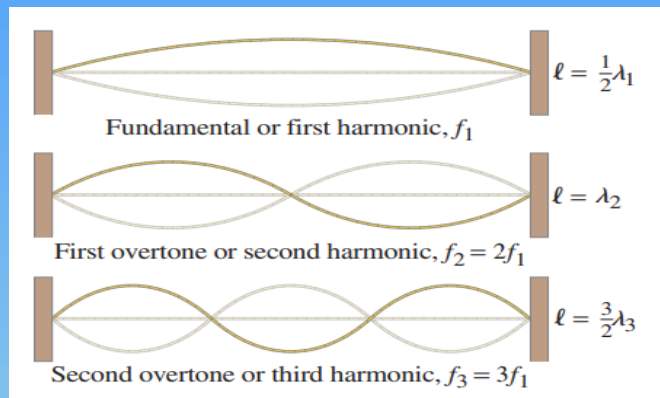
Gelombang berdiri dapat terbentuk pada senar yang terikat pada kedua ujungnya. Ketika gelombang bergerak di sepanjang senar, mereka tercermin kembali di ujung-ujungnya, menciptakan pola gelombang berdiri. Panjang gelombang yang cocok dengan panjang senar menghasilkan mode getaran yang stabil. Keuntungan dari gelombang berdiri adalah bahwa amplitudo getaran meningkat secara signifikan, menghasilkan gelombang suara yang terdengar dengan frekuensi yang sama dengan getaran senar. Hal ini sangat penting dalam produksi suara, misalnya pada gitar.

Konsep yang sama dapat diterapkan pada gelombang suara yang bergerak melalui pipa yang diisi dengan udara. Ketika gelombang suara mencapai ujung pipa, mereka tercermin dan menciptakan pola gelombang berdiri di dalam pipa. Jika panjang gelombang suara sesuai dengan panjang pipa, gelombang berdiri terbentuk dan udara di dalam pipa bergetar dengan amplitudo yang besar, menghasilkan suara dengan frekuensi yang sama dengan getaran dalam pipa. Ini merupakan prinsip penting dalam pembuatan suara, misalnya pada organ.

Banyak aspek pola gelombang suara berdiri pada pipa mirip dengan gelombang pada senar, di mana ujung tertutup pipa menyerupai ujung tetap senar dengan node di sana, sementara ujung terbuka pipa menyerupai ujung senar yang terikat pada cincin yang bergerak bebas, dengan antinode di sana. Pola gelombang berdiri yang paling sederhana pada pipa terjadi ketika pipa memiliki dua ujung terbuka.

Gelombang berdiri dapat diatur dalam tabung udara, seperti di dalam pipa organa, sebagai hasil dari interferensi antara gelombang suara longitudinal yang bepergian ke arah yang berlawanan. Hubungan fase antara gelombang yang terjadi dan gelombangnya yang tercermin dari satu ujung pipa tergantung pada apakah ujung itu terbuka atau tertutup. Hubungan ini mirip dengan hubungan fase antara gelombang transversal yang terjadi dan tercermin pada akhir string ketika ujungnya tetap atau bebas untuk bergerak.

1. Nada-nada pada senar atau dawai



Berdasarkan gambar diatas, kita dapat mencari frekuensi nada dan panjang dari masing-masing pipanya.

a) Nada dasar

Nada dasar merupakan nada yang memiliki nilai $n=1$, sehingga untuk mencari frekuensi dawai kita menggunakan rumus

$$f_n = nf_1 = n \frac{v}{2l}$$

$$2l = n \frac{v}{f_n}$$

Kita tahu bahwa

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

$$L = n \frac{1}{2} \lambda_1$$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$

Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah seperempat panjang gelombang dasarnya λ_1

$$L = \frac{1}{2} \lambda_1$$

Maka nilai frekuensi dawai pada nada dasar yaitu

$$f_1 = \frac{1}{2L} v$$

Karena

$$L = \frac{1}{2} \lambda_1$$

$$f_1 = \frac{1}{2\left(\frac{1}{2}\lambda_1\right)} v$$

$$f_1 = \frac{2v}{2(\lambda_1)} = \frac{v}{\lambda_1} = f_1$$

b) Nada Atas ke-1

Nada atas ke-1 merupakan nada yang memiliki nilai $n=2$, sehingga untuk mencari frekuensi dawai kita menggunakan rumus

$$f_n = nf_1 = n \frac{v}{2l}$$

$$f_2 = 2f_1 = n \frac{v}{2l}$$

$$2l = n \frac{v}{f_n}$$

Kita tahu bahwa

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

$$L = n \frac{1}{2} \lambda_2$$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$

Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah seperempat panjang gelombang dasarnya λ_1

$$L = \lambda_2$$

Maka nilai frekuensi dawai pada nada atas ke-1 yaitu

$$f_2 = 2f_1 = \frac{2}{2L} v$$

Karena

$$L = \lambda_2$$

$$f_2 = 2f_1 = \frac{2}{2(\lambda_1)} v$$

$$f_2 = 2f_1 = \frac{2v}{2(\lambda_1)} = \frac{v}{\lambda_1} = 2f_1$$

c) Nada atas ke-2

Nada atas ke-2 merupakan nada yang memiliki nilai $n=3$, sehingga untuk mencari frekuensi dawai kita menggunakan rumus

$$f_n = nf_1 = n \frac{v}{2L}$$

$$f_3 = 3f_1 = 3 \frac{v}{2L}$$

$$2L = 3 \frac{v}{f_n}$$

Kita tahu bahwa

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

$$L = 3 \frac{1}{2} \lambda_2$$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$

Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah seperempat panjang gelombang dasarnya λ_1

$$L = \frac{3}{2} \lambda_2$$

Maka nilai frekuensi dawai pada nada atas ke-1 yaitu

$$f_3 = 3f_1 = \frac{3}{2L} v$$

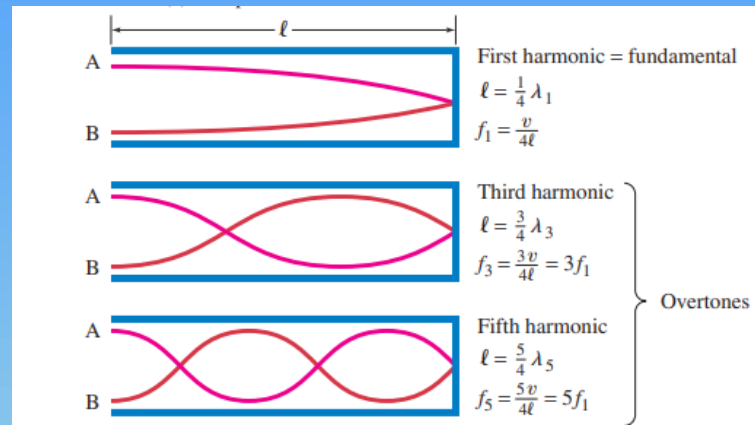
Karena

$$L = \frac{3}{2} \lambda_2$$

$$f_3 = 3f_1 = \frac{3}{2(\frac{3}{2} \lambda_1)} v$$

$$f_3 = 3f_1 = \frac{3.2v}{2.3(\lambda_1)} = \frac{v}{\lambda_1} = 3f_1$$

2. Pipa Organa Tertutup



Bersasarkan gambar diatas, kita dapat mencari:

a) Nada dasar (harmonik pertama)



Untuk pipa organa tertutup, mempunyai jumlah simpul dan perut satu, Oleh karena itu, jumlah perut akan sama dengan jumlah simpulnya.

Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah seperempat panjang gelombang dasarnya λ_1 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \frac{1}{4} \lambda_1$$

$$\lambda_1 = 4L$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$$

b) Nada atas ke-1



Untuk pipa organa tertutup, mempunyai jumlah simpul dan perut satu, Oleh karena itu, jumlah perut akan sama dengan jumlah simpulnya.

Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah tiga perempat panjang gelombangnya λ_3 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \frac{3}{4} \lambda_3$$

$$\lambda_3 = \frac{4}{3} L$$

$$f_1 = \frac{v}{\frac{4}{3} L} = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$

c) Nada atas ke-2



Untuk pipa organa tertutup, mempunyai jumlah simpul dan perut satu. Oleh karena itu, jumlah perut akan sama dengan jumlah simpulnya.

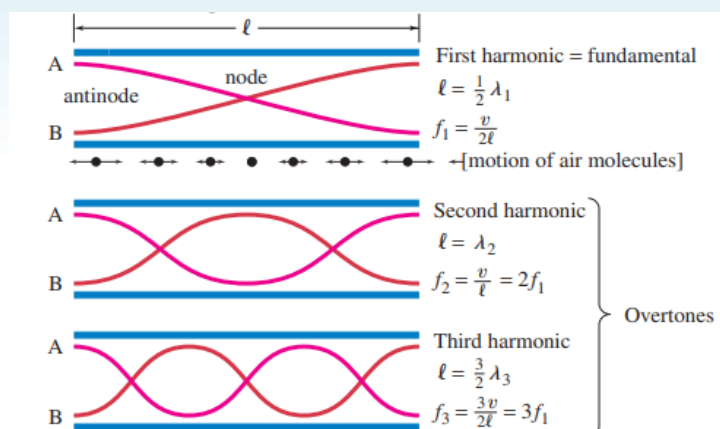
Untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah tiga perempat panjang gelombangnya λ_5 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \frac{5}{4} \lambda_5$$

$$\lambda_5 = \frac{4}{5} L$$

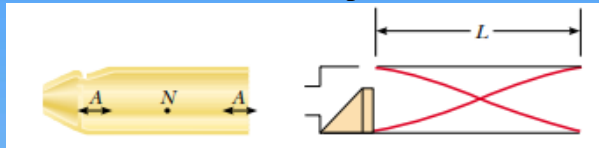
$$f_1 = \frac{v}{\frac{4}{5} L} = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

3. Pipa Organa Terbuka



Bersasarkan gambar diatas, kita dapat mencari:

a) Nada dasar (harmonik pertama)



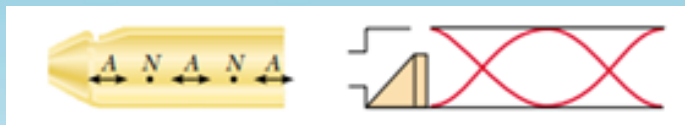
Memiliki nilai $n=1$, untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah seperempat panjang gelombang dasarnya λ_1 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \frac{1}{2} \lambda_1$$

$$\lambda_1 = 2L$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$$

b) Nada atas ke-1



Memiliki nilai $n=2$, untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah tiga perempat panjang gelombangnya λ_2 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \lambda_2$$

$$\lambda_2 = L$$

$$f_2 = n \frac{v}{L} = 2f_1$$

c) Nada atas ke-2



Memiliki nilai $n=3$, untuk melihat hubungan antara panjang pipa dengan panjang gelombangnya yaitu panjang pipa (L) nya adalah tiga perempat panjang gelombangnya λ_3 yang dapat kita lihat pada gambar.

$$L = \frac{3}{2} \lambda_3$$

$$\lambda_3 = \frac{2}{3}L$$

$$f_1 = nf_1 = \frac{v}{\frac{2}{3}L} = \frac{3v}{2L} = 3f_1$$

Keterangan:

f_n = frekuensi anda atas ke n (Hz)

f_1 = frekuensi dasar (Hz)

v = cepat rambat gelombang $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = panjang dawai (m)

λ_n = panjang gelombang ke n (m)

Energi Gelombang Bunyi

Seperti yang kita ketahui bahwasannya gelombang adalah fenomena di mana getaran merambat melalui medium dengan memindahkan energi dari satu titik ke titik lainnya. Hal tersebut berlaku juga pada gelombang bunyi. Dimana energi pada gelombang bunyi dapat kita temukan melalui energi potensial maksimum getaran. Hal tersebut kita ketahui dikarena gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal. Ketika udara dilalui oleh gelombang bunyi, partikel-partikel udara akan bergetar sehingga masing-masing akan memiliki jumlah energi. Secara matematis dapat kita tuliskan sebagai berikut.

$$E = \frac{1}{2}kA^2$$

dengan k merupakan bilangan gelombang, yang besarnya adalah $k = m\omega^2$, maka kita akan mendapatkan persamaan baru yaitu sebagai berikut.

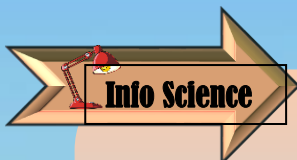
$$E = \frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

dengan mensubstitusikan $\omega = 2\pi f$, maka persamaannya menjadi

$$E = 2\pi^2mf^2A^2$$

| | |
|----------|----------------------------|
| E | = energi gelombang (J) |
| k | = bilangan gelombang (N/m) |
| A | = amplitudo (m) |
| ω | = frekuensi sudut (rad/s) |
| f | = frekuensi (Hz) |

Berdasarkan persamaan di atas energi yang dirambatkan oleh gelombang berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi dan juga kuadrat amplitudo. Berdasarkan persamaan di atas terkait dengan energi, kita juga dapat menentukan daya yang terkandung dalam suatu gelombang. Dimana daya merupakan besarnya energi yang merambat tiap satuan waktu.



Berbagai jenis gelombang memiliki tingkat energi yang berbeda. Gelombang elektromagnetik yang berasal dari Matahari memberikan energi yang besar yang vital untuk kehidupan di Bumi. Namun, gelombang suara memiliki energi yang lebih rendah karena pembentukannya memerlukan sedikit energi. Sebagai contoh, energi yang dihasilkan oleh suara 10.000.000 orang yang berbicara bersamaan setara dengan energi yang diperlukan untuk menyalakan senter biasa. Kemampuan pendengaran manusia hanya mungkin terjadi karena telinga kita yang sangat sensitif. Hanya mikrofon yang paling sensitif yang dapat mendeteksi suara yang lebih lembut dari yang dapat kita dengar.

A. Intensitas Bunyi

Sebelumnya kita telah mengenal istilah daya, yakni besarnya energi yang merambat tiap satuan waktu. Kemudian bagaimana jika energi yang dirambatkan tiap satuan waktu menembus permukaan bidang dengan luas A ?

Untuk menjawab persoalan tersebut kita akan diperkenalkan dengan besaran baru yang dinamakan intensitas. Intensitas dari suatu gelombang, atau daya per satuan luas, merupakan laju di mana energi yang dibawa oleh gelombang tersebut ditransfer melalui unit area A yang tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang. Secara matematis dapat kita tuliskan sebagai berikut.

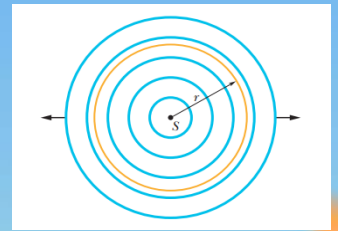
$$I = \frac{P}{A}$$

dengan

| | |
|-----|---|
| I | = intensitas gelombang bunyi (W/m^2) |
| P | = daya gelombang (W) |
| A | = luas permukaan (m^2) |

Ketika kita mengamati sumber titik yang menghasilkan gelombang suara yang merambat secara merata ke segala arah, kita dapat melihat bahwa intensitas bunyi cenderung berkurang seiring dengan berkurangnya jarak kita dari sumbernya. Untuk menggambarkan fenomena ini, kita dapat membayangkan sebuah bola imajiner dengan jari-jari r yang berpusat pada sumber bunyi tersebut. Ketika sumber memancarkan bunyi ke segala arah, polanya dapat kita gambarkan sebagai gelombang bola. Daya rata-rata yang dipancarkan oleh sumber tersebut harus tersebar secara merata di sepanjang permukaan bola yang memiliki luas $4\pi r^2$. Dengan demikian, intensitas gelombang pada jarak r dari sumber dapat kita tuliskan secara matematis sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$



Dalam beberapa situasi, kita dapat mengasumsikan bahwa sumber suara bertindak sebagai sumber titik isotropis, yang berarti ia memancarkan suara dengan intensitas yang sama ke segala arah. Dalam konteks ini, kita dapat memvisualisasikan muka gelombang yang menyebar dari sumber titik tersebut pada waktu tertentu. Meskipun intensitas suara akan bervariasi tergantung pada jarak dari sumber, asumsi ini memungkinkan kita untuk menyederhanakan analisis dalam situasi tertentu di mana efek gema atau pantulan suara dapat diabaikan.

Sebuah titik sumber S memancarkan gelombang suara secara seragam ke segala arah. Gelombang-gelombang tersebut melintasi bola imajiner

CONTOH

SOAL

Sebuah sumber suara memancarkan gelombang suara dengan daya rata-rata 80,0 W.

1. Tentukan intensitas suara pada jarak 3,00 meter dari sumbernya.
2. Cari jarak di mana intensitas suaranya adalah $1.00 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$

Penyelesaian :

$$\bullet \quad I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{80.0 \text{ W}}{4\pi(3.00)^2} = 0,707 \text{ W/m}^2$$

$$\sqrt{\frac{80.0 \text{ W}}{4\pi(3.00)^2}}$$

B. Taraf Intensitas Bunyi

Amplitudo pergeseran yang dapat di dengar oleh telinga manusia berkisar antara 10^{-5} meter untuk suara paling keras hingga sekitar 10^{-11} meter untuk suara paling lemah yang masih dapat dideteksi, dengan perbandingan sekitar 10^6 . Intensitas suara berubah sesuai dengan kuadrat amplitudonya, sehingga perbandingan intensitas pada dua batas ini dari sistem pendengaran manusia adalah 10^{12} . Berdasarkan informasi tersebut ternyata manusia dapat mendengar dalam rentang intensitas yang sangat besar. Berkaitan dengan hal tersebut, maka taraf intensitas bunyi dapat kita rumuskan sebagai berikut.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

dengan

TI = taraf intensitas bunyi (dB)

I = Intensitas (W/m^2)

I_0 = Intensitas ambang (W/m^2)

| Sound Levels | |
|-------------------------|--------------|
| Source of Sound | β (dB) |
| Nearby jet airplane | 150 |
| Jackhammer; machine gun | 130 |
| Siren; rock concert | 120 |
| Subway; power mower | 100 |
| Busy traffic | 80 |
| Vacuum cleaner | 70 |
| Normal conversation | 50 |
| Mosquito buzzing | 40 |
| Whisper | 30 |
| Rustling leaves | 10 |
| Threshold of hearing | 0 |

Paparan suara tingkat tinggi dalam waktu lama dapat merusak telinga secara serius. Penyumbat telinga direkomendasikan setiap kali tingkat suara melebihi 90 dB. Bukti terbaru menunjukkan bahwa “polusi suara” mungkin merupakan faktor yang berkontribusi terhadap tekanan darah tinggi, kecemasan, dan kegelisahan. Tabel disamping memberikan beberapa nilai tingkat suara yang umum.

Aplikasi Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi memiliki beberapa manfaat dalam kehidupan manusia. Berikut adalah beberapa penerapan dari gelombang bunyi yang dapat kita temukan dalam kehidupan sehari-hari.

1. Sonar

a. Pengertian Sonar

Sonar adalah sebuah teknologi yang memanfaatkan gelombang suara untuk mendeteksi serta menentukan posisi benda di dalam air. Singkatan dari Sonar adalah Sound Navigation and Ranging, yang bila diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia berarti Navigasi dan Pengukuran dengan Suara. Penerapan teknologi ini sangat luas, mencakup berbagai bidang seperti aplikasi militer, penelitian laut, eksplorasi bawah air, serta industri perikanan.



b. Prinsip Kerja Gelombang Bunyi dalam Mengukur Kedalaman

Penggunaan refleksi bunyi telah menjadi praktik umum dalam berbagai aplikasi untuk mengukur jarak. Salah satunya adalah dengan menggunakan sonar atau metode pulsa gema (*pulse echo*) yang berguna dalam melacak objek di dalam air. Proses ini melibatkan pengiriman sinyal bunyi melalui medium air dengan menggunakan perangkat pemancar, yang kemudian menerima kembali pantulan atau gema (*echo*) dari objek tersebut dalam selang waktu tertentu. Waktu yang diambil ini diukur dengan presisi, sehingga jarak ke objek yang memantulkan suara bisa ditentukan berdasarkan kecepatan bunyi di dalam air yang sudah diketahui sebelumnya. Teknologi ini sangat bermanfaat dalam menentukan kedalaman laut, mengidentifikasi lokasi terumbu karang, kapal tenggelam, kapal selam, atau kelompok ikan.

Dalam aplikasi lainnya, penggunaan gelombang bunyi yang dipantulkan juga berguna dalam mempelajari struktur dalam bumi dengan menggunakan pendekatan serupa. Biasanya, gelombang ini dipicu oleh ledakan yang sengaja diinduksi (*sounding*). Dengan menganalisis pola pantulan gelombang dan mengidentifikasi struktur serta batas-batas dalam bumi, kita dapat memperoleh informasi penting tentang karakteristik geologi yang dapat digunakan dalam eksplorasi sumber daya alam seperti minyak dan mineral.

2. USG (*Ultrasonografi*)

Seperti yang telah dikenal luas dalam bidang kedokteran, gelombang ultrasonik telah menjadi bagian integral dari banyak praktik medis. Penggunaan gelombang ini umumnya terlihat dalam teknik medis seperti *Ultrasonografi* atau yang lebih dikenal dengan USG. USG adalah sebuah teknologi diagnostik yang digunakan untuk mengidentifikasi lokasi tumor, memantau perkembangan janin, mengevaluasi gangguan kardiovaskular, serta mendeteksi defek mata (Mappaware, N. A. et al., 2020). Karena frekuensi gelombang ultrasonik ini melebihi 20 kHz, penggunaannya dapat disesuaikan dengan keperluan spesifik yang diinginkan dalam prosedur medis.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lyanda, A. (2011:38-43), dalam proses Ultrasonografi (USG), peran bunyi diwujudkan melalui

pantulan gelombang suara. Gelombang suara yang dipancarkan akan memantul saat bertemu dengan objek dalam tubuh manusia. Saat gelombang tersebut mencapai organ tubuh, terjadi fenomena pantulan yang kemudian diterima oleh alat bernama transduser. Selanjutnya, sinyal yang diterima ini diproses oleh mesin USG sehingga menghasilkan gambaran yang terlihat pada layar monitor.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Aviana, R. (2019), gelombang ultrasonik tidak hanya digunakan untuk memantau perkembangan janin, tetapi juga memiliki peran penting dalam mendiagnosis tumor atau kanker dalam tubuh manusia. Awalnya, gelombang ultrasonik digunakan secara terapi dan tidak untuk tujuan diagnostik. Namun, seiring perkembangan teknologi, penggunaan gelombang ultrasonik atau USG telah menjadi langkah awal dalam mendeteksi adanya pertumbuhan jaringan yang berpotensi berbahaya dalam tubuh. Teknologi ini dianggap efektif dalam membedakan berbagai struktur jaringan tanpa memerlukan paparan radiasi. Gelombang ultrasonik dianggap sebagai metode non-invasif yang aman karena tidak menghasilkan efek samping dan tidak mengandung radiasi berbahaya bagi penggunaannya. Penggunaan gelombang ultrasonik dalam pemeriksaan dianggap aman bahkan untuk anak-anak. Selain itu, gelombang ultrasonik mampu mendeteksi pertumbuhan jaringan baru yang berpotensi membahayakan dalam tubuh individu.



Komponen-komponen Ultrasonografi

DAFTAR PUSTAKA

- Raymond A. Serway, J. W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). California: Thomson Brooks.
- David Halliday, R. R. (2010). *Fisika Dasar, Edisi Ketujuh Jilid 1*. (A. M. Wibi Hardani, Penyunt., & M. D. Dr. Euis Sustini, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, D. C. (2014). *Physics Prinnciple and Applications*. New York: Jim Smith.
- Abdullah, M. (2017). *Fisika Dasar II*. Bandung: ITB.
- Haryadi, B. (2009). *Fisika untuk SMA/MA kelas XI*. Jakarta: Pusat Perbukuan.
- Fahamsyah, S. (2018). *Buku Pintar Fisika SMA/MA*. Jakarta: Bintang Wahyu.
- Foster, Bob. (1997). *Terpadu Fisika SMU Jilid 2B*. Jakarta: Erlangga.
- Kanginan, Marthen. (2006). *Fisika Untuk SMA Kelas XI*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sears & Zemansky (2001). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga
- Soedjojo. (2004). *Fisika Dasar*. Yogyakarta: CV Andi Ovset
- Apriansyah, W., Hayuningrum, E. A., Candra, S. R., & Kurniawati, W. (2024). Peran Bunyi Dalam Bidang Kedokteran. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(12).
- Mappaware, N., Syahril, E., Latief, S., Irsandi, F., Mursyid, M., Utami, D., & Ananda, F. (05 2020). Ultrasonografi Obstetri Dalam Prespektif Medis, Kaidah Bioetika Dan Islam. *Wal'afiat Hospital Journal*, 1.
- Lyanda, A., Antariksa, B., & Syahrudin, E. (2011). Ultrasonografi Toraks. *J Respir Indo*, 31(1), 38-43.