

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 slinki berikut:

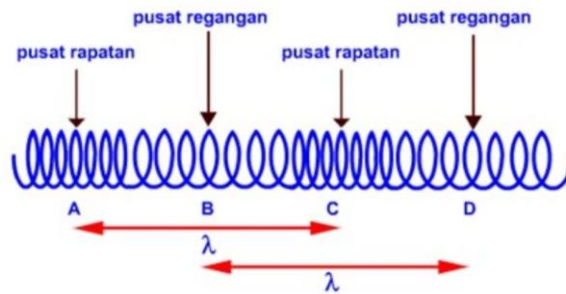


Figure 1 gelombang longitudinal

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

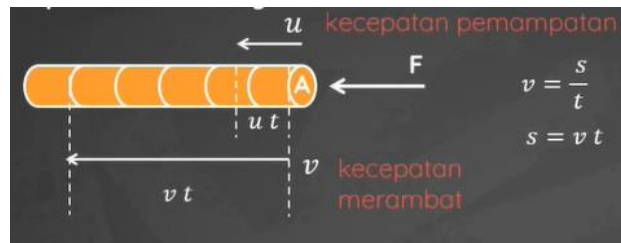


Figure 2 <https://images.app.goo.gl/648Gh8KezJ7vb2oH8>

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-rodnnya 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 $e = \frac{u}{v}$.

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



Figure 1

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

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. 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 gravitasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut kita bisa melakukan aproksimasi persamaan diatas untuk kasus tersebut menjadi

$$v = \sqrt{gd}$$

dengan g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$) 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 $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \frac{\rho R T}{Mr}}{\rho}}$$

Sehingga

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{Mr}}$$

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.

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

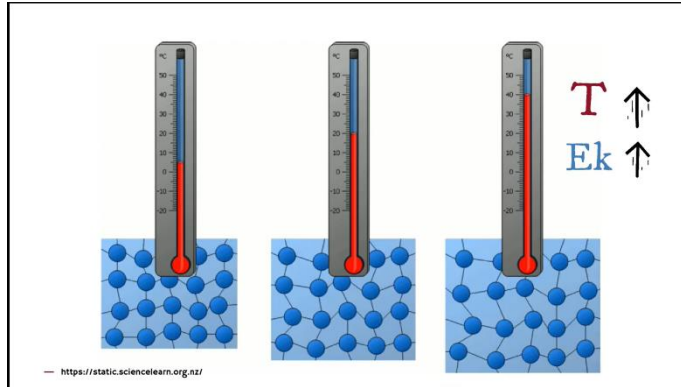


Figure 2 asumsi suhu dan pergerakan partikel

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:

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:

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

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