

Getaran dan Bunyi

Sutisna, S.Pd., M.Si.



PENDAHULUAN

Pada modul pertama ini Anda akan diajak untuk mengetahui hal-hal yang mendasar tentang gejala/fenomena fisika dari benda yang bergetar (istilah lain yang juga sering dipakai adalah gerak osilasi). Mengetahui fenomena ini menjadi penting karena pemahaman tentang gejala gelombang yang berdampak begitu luas dalam kehidupan kita, didasari kuat bagaimana kita bisa memahami fenomena getaran atau gerak osilasi ini. Peristiwa runtuhnya jembatan Tacoma Narrows di Puget Sound Washington hanya dengan hembusan angin yang lembut adalah salah satu contoh betapa kita tidak bisa berpaling untuk tidak memahami fenomena fisika ini.

Bunyi sebagai fenomena yang dihasilkan dari suatu benda yang bergetar juga merupakan fenomena fisis yang menarik untuk kita pelajari. Dengan getaran pita suara, kita dapat berbicara dan berkomunikasi dengan orang lain, atau bunyi indah dari petikan senar gitar adalah hal-hal biasa yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, yang semuanya tidak bisa terlepas dari konsep getaran yang akan kita pelajari pada modul ini.

Pada Modul 1 ini, akan dibagi menjadi 2 kegiatan belajar. Pada Kegiatan Belajar 1, Anda akan disuguhkan dengan konsep-konsep dasar terkait dengan fenomena getaran. Bahasan tentang mengapa benda bisa bergetar, besaran-besaran fisis yang memberi identitas pada getaran. Kegiatan Belajar 1 ini akan diakhiri dengan tinjauan tentang gerak harmonik sederhana, yaitu getaran yang ditimbulkan oleh gaya pulih yang sebanding dengan perpindahan benda dari titik kesetimbangannya.

Pada Kegiatan Belajar 2, akan dipelajari tentang bunyi yang merupakan fenomena yang berkaitan erat dengan konsep getaran. Bahasan tentang pengertian bunyi dan sumber bunyi akan mengawali Kegiatan Belajar 2, dilanjutkan dengan tinjauan tentang berbagai besaran fisis terkait dengan bunyi, kaitan antara frekuensi dan amplitudo dengan keras lemah dan tinggi

rendahnya bunyi. Gejala resonansi dan pemantulan bunyi akan jadi bagian penutup dari materi pada Kegiatan Belajar 2 Modul 1 ini.

Setelah mempelajari modul ini, secara umum Anda diharapkan dapat menerapkan konsep getaran dan bunyi dalam kehidupan sehari-hari. Secara khusus, Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan pengertian getaran;
2. menjelaskan mekanisme terjadinya getaran dan gaya pulih;
3. menghitung besaran-besaran fisika terkait fenomena getaran;
4. menjelaskan pengertian gerak harmonik sederhana;
5. menghitung persoalan gerak harmonik sederhana;
6. menjelaskan pengertian bunyi dan sumber bunyi;
7. menjelaskan hubungan besaran-besaran fisika pada bunyi;
8. menjelaskan kaitan frekuensi dan amplitudo gelombang bunyi dengan tinggi rendah dan keras lemahnya bunyi;
9. menjelaskan gejala resonansi;
10. menjelaskan gejala pemantulan bunyi;
11. menyelesaikan soal-soal yang berhubungan dengan bunyi.

KEGIATAN BELAJAR 1

Getaran

Fenomena getaran banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Senar gitar yang dipetik, beduk yang dipukul, pita suara ketika kita berbicara, dan beban yang diikat pada pegas, adalah contoh benda yang memperlihatkan gejala getaran. Atom-atom dalam suatu benda juga mengalami getaran. Untuk alasan pedagogik maka kajian kita tentang getaran akan diawali dengan pengertian getaran itu sendiri, penyebab terjadinya getaran, dan diakhiri dengan tinjauan khusus tentang gerak harmonik sederhana.

A. PENGERTIAN GETARAN

Pernahkah Anda main ayunan atau melihat orang bermain ayunan? Dalam permainan tersebut, kita akan bergerak bolak-balik naik-turun atau ke atas-ke bawah. Atau saat pemain drum memukul drum, akan tampak bahwa kulit drum bergerak bolak-balik naik-turun.

Suatu benda yang mengalami getaran selalu mempunyai posisi kesetimbangan yang stabil. Jika benda tersebut dijauhkan dari posisi ini dan dilepaskan, akan timbul suatu gaya atau torsi untuk menarik benda tersebut kembali ke posisi setimbangnya. Akan tetapi, pada saat benda tersebut mencapai posisi setimbangnya, benda tersebut telah memiliki energi kinetik sehingga melampaui posisi tersebut, berhenti di suatu tempat pada sisi yang lain, untuk kemudian kembali lagi ke posisi kesetimbangannya. Dari ilustrasi sederhana ini, kita dapat mendefinisikan getaran sebagai gerak bolak-balik di sekitar titik/posisi kesetimbangan.

Ada beberapa istilah yang akan kita gunakan dalam membicarakan segala macam gerak osilasi, yaitu amplitudo, periode, frekuensi, dan frekuensi sudut.

Amplitudo getaran yang biasa disimbolkan dengan huruf A merupakan besar perpindahan maksimum dari titik kesetimbangan.

Periode getaran yang biasa disimbolkan dengan huruf T merupakan waktu yang diperlukan untuk satu kali getaran/satu siklus.

Frekuensi getaran dengan simbol huruf f adalah banyaknya getaran untuk satu satuan waktu. Satuan SI untuk frekuensi adalah hertz. $1 \text{ hertz} = 1 \text{ Hz} = 1 \text{ getaran/ sekon} = 1 \text{ getaran } s^{-1}$.

Hubungan antara frekuensi dengan periode dinyatakan oleh Persamaan

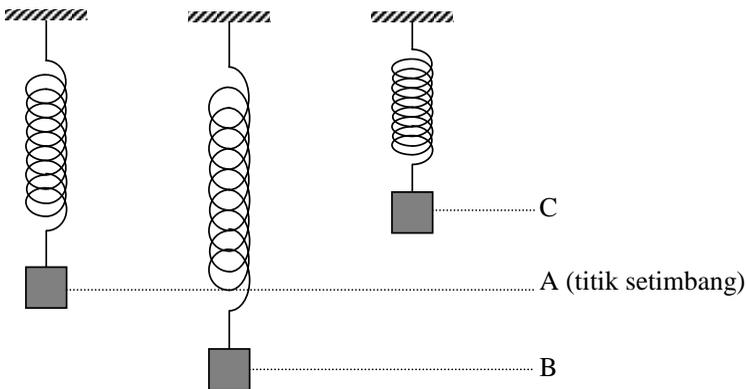
$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

Frekuensi sudut getaran dengan simbol ω didefinisikan oleh

$$\omega = 2\pi f \quad (1.2)$$

Satuan SI untuk frekuensi sudut adalah radian (rad).

Supaya Anda lebih memahami definisi besaran-besaran di atas, sekarang perhatikan sistem getaran massa-pegas sebagai berikut:



Gambar 1.1.
Getaran Sistem Massa-Pegas
Satu Getaran adalah Gerak Satu Siklus, misalkan A-B-A-C-A

Satu getaran adalah gerak satu siklus dari A-B-A-C-A. Amplitudo getaran adalah jarak vertikal titik A ke B atau titik A ke C.

Contoh soal:

Jika pegas pada Gambar 1.1 kita simpangkan sejauh 2 cm dari titik setimbangnya dan kemudian dilepaskan maka benda akan bergetar. Jika dari pengamatan diperoleh bahwa waktu untuk 10 getaran adalah 12 s maka tentukan:

- a. Amplitudo getaran.
- b. Periode getaran.
- c. Frekuensi getaran.
- d. Frekuensi sudut.

Penyelesaian:

- a. Simpangan awal pada pegas akan menjadi amplitudo dari getaran pegas tersebut, jadi $A = 2 \text{ cm}$.
- b. Karena untuk 10 getaran diperlukan waktu 12 s maka periodenya adalah

$$T = \frac{12}{10} \text{ s} = 1,2 \text{ s}$$

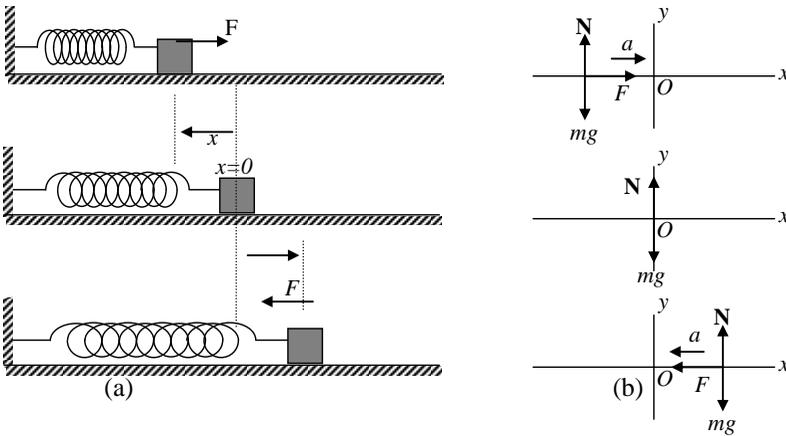
- c. $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,2} \text{ Hz} = 0,833 \text{ Hz}$
- d. $\omega = 2\pi f = 1,67\pi \text{ rad}$

Untuk sekedar menguatkan pemahaman Anda tentang konsep getaran, coba Anda lakukan percobaan sederhana sendiri di rumah. Misalnya, dengan menggunakan ayunan benda yang diikatkan pada tali, kemudian Anda tentukan besaran-besaran yang terkait seperti pada contoh soal di atas.

B. GAYA PULIH DAN MEKANISME TERJADINYA GETARAN

Pada uraian bagian A kita telah pelajari tentang apa itu getaran serta hubungan besaran-besaran terkait dengan gerak tersebut tanpa sedikit pun menyinggung mengapa getaran tersebut bisa terjadi. Apakah Anda juga tidak memikirkannya?

Sebelum kita membahas tentang penyebab getaran, ada baiknya kita tinjau suatu sistem massa pegas seperti pada Gambar 1.2(a). Dari sini nanti kita akan dapatkan jawaban mengapa getaran bisa terjadi.



Gambar 1.2.

Model untuk Gerak Periodik

- (a) Jika benda berada pada sisi kiri dari posisi kesetimbangan, pegas yang tertekan memberikan gaya ke arah kanan. Jika benda ada pada posisi kesetimbangan, pegas tidak mengerjakan gaya pada benda. Jika benda di sebelah kanan titik setimbang, pegas yang teregang akan memberikan gaya ke kiri pada benda.
- (b) Diagram-diagram benda bebas untuk ketiga posisi benda.

Suatu benda dengan massa m diikatkan pada pegas dan bergerak pada sistem pemandu horizontal tanpa gesekan sehingga benda hanya bergerak sepanjang sumbu x . Gaya pegas adalah satu-satunya gaya horizontal yang bekerja pada benda. Resultan gaya dalam komponen vertikal sama dengan nol. Besaran-besaran x, v, a , dan F merujuk pada komponen- x dari posisi, kecepatan, percepatan, dan vektor gaya. Kita pilih sistem koordinat O terletak pada posisi kesetimbangan sistem. Dari Gambar 1.2 (b) dapat terlihat bahwa saat benda menyimpang dari titik kesetimbangannya, gaya pegas cenderung untuk memulihkannya ke posisi kesetimbangan kembali. Gaya dengan karakteristik seperti itu disebut gaya pemulih (*restoring force*). Gaya inilah yang paling bertanggung jawab sebagai penyebab gerak osilasi.

Mari sekarang kita analisis mekanisme getaran dari sistem pada Gambar 1.2. Jika kita memindahkan benda ke sisi kiri garis $x = -A$ dan kemudian dilepaskan, gaya total dan kecepatan menuju ke arah kanan. Laju benda meningkat dengan mendekatnya benda menuju posisi kesetimbangan O . Ketika benda berada pada posisi O , gaya total sama dengan nol, tetapi akibat inersianya benda akan melewati posisi kesetimbangannya. Pada sisi

yang lain dari posisi setimbang tersebut, kecepatan menuju ke arah kanan, akan tetapi percepatan menuju ke arah kiri, laju berkurang sampai benda berhenti di $x = A$. Benda tersebut kemudian mengalami kecepatan ke kiri melewati titik setimbang lagi dan berhenti di $x = -A$, dan begitu seterusnya.

C. TINJAUAN TENTANG GERAK HARMONIK SEDERHANA

1. Pengertian Gerak Harmonik Sederhana

Seperti sudah dijelaskan di atas bahwa penyebab benda bergetar adalah karena adanya gaya pemulih yang bekerja pada benda tersebut. Ketika gaya pemulih berbanding lurus dengan perpindahan dari titik kesetimbangan, getaran yang terjadi disebut gerak harmonik sederhana. Tidak semua getaran periodik merupakan gerak harmonik sederhana. Secara umum, gaya pemulih bergantung pada perpindahan dalam cara yang lebih rumit. Akan tetapi, dalam kebanyakan sistem, gaya pemulih kira-kira sebanding dengan perpindahan jika perpindahannya cukup kecil. Artinya, jika amplitudonya cukup kecil, getaran sistem yang demikian akan mendekati gerak harmonik sederhana.

Suatu sistem yang menunjukkan gejala gerak harmonik sederhana adalah sebuah benda yang terikat ke sebuah pegas, di mana gaya pulihnya dinyatakan oleh Hukum Hooke

$$F = -kx \quad (1.3)$$

dari Hukum II Newton:

$$F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1.4)$$

Dengan eliminasi Persamaan (1.3) dan (1.4) diperoleh:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \quad (1.5)$$

Tanda minus berarti percepatan dan perpindahan selalu memiliki tanda berlawanan.

Untuk dapat mengetahui posisi simpangan x sebagai fungsi waktu, kita harus menyelesaikan Persamaan diferensial (1.5). Ada cara lain yang lebih mudah untuk tujuan ini, yaitu melalui percobaan sebagai berikut. Pasangkan sebatang pena pada benda yang tertambat ke pegas vertikal. Aturilah pena sehingga dapat menulis di atas kertas yang dapat bergerak tegak lurus arah

getaran. Simpangkan benda sejauh A dan bersamaan dengan itu kertas ditarik ke kiri dengan laju konstan lalu beban dilepaskan. Goresan pena di atas kertas akan membentuk kurva sinusoidal yang tentunya persamaan fungsinya sudah sangat kita kenal, yaitu:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.6)$$

di mana $\cos(\omega t + \varphi)$ disebut fase gerak dan φ konstanta fase.

Kalau kita turunkan Persamaan (1.6) sekali terhadap waktu maka menghasilkan kecepatan gerak v :

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.7)$$

Diferensial x dua kali terhadap waktu menghasilkan percepatan getaran a ,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.8)$$

atau

$$a = -\omega^2 x \quad (1.9)$$

Eliminasi Persamaan (1.9) dengan Persamaan (1.5) menghasilkan:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Telah kita ketahui bahwa $\omega = 2\pi f$ maka persamaan di atas menjadi sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.10)$$

dan

$$T = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.11)$$

Dari Persamaan (1.11) terlihat bahwa periode dan frekuensi gerak harmonik sederhana (untuk sistem massa-pegas) hanya bergantung pada massa benda dan konstanta pegas, tidak pada amplitudo. Untuk lebih

memahami sifat ini, coba Anda lakukan percobaan dengan menggunakan dua pegas identik, yang salah satu ujungnya terikat dan pada ujung bebasnya dipasangkan benda dengan massa yang sama. Letakkan sistem tersebut pada bidang mendatar yang licin, simpangkan kedua pegas dengan simpangan yang berbeda kemudian Anda amati periode dan frekuensi gerak kedua sistem tersebut. Selamat mencoba!

Untuk konstanta fase $\varphi = 0$ maka Persamaan (1.6), (1.7), dan (1.8) menjadi:

$$x = A \cos \omega t \quad (1.12.a)$$

$$v = -A\omega \sin \omega t \quad (1.12.b)$$

$$a = -A \omega^2 \cos \omega t \quad (1.12.c)$$

Jika kita analisis persamaan di atas, di titik kesetimbangan $x = 0$, $\cos \omega t = 0$, percepatan pada saat itu juga nol, dan kecepatan mencapai nilai maksimumnya, yaitu ωA (karena saat $\cos \omega t = 0$, $\sin \omega t$ maksimum yaitu 1 atau -1).

Contoh soal:

Simpangan x dari sebuah getaran partikel diberikan oleh persamaan

$$x = 2 \cos\left(3\pi t + \frac{2\pi}{5}\right)$$

di mana x dalam cm dan t dalam sekon, tentukan:

- Frekuensi, periode, amplitudo, frekuensi sudut, dan konstanta fase gerak.
- Di manakah posisi partikel saat $t = 2s$.
- Kecepatan dan percepatan setiap saat.
- Posisi dan kecepatan awal partikel.

Penyelesaian:

a. Secara umum $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ maka

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3\pi}{2\pi} \text{ Hz} = 1,5 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2}{3} \text{ s}$$

$$A = 2 \text{ cm}$$

$$\omega = 3\pi \text{ rad / s}$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{5}$$

b. Pada saat $t = 2s$ maka posisi partikel $x = 2 \cos(6\pi + \frac{2\pi}{5}) = 0,62 \text{ cm}$

c. Kecepatan $v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) = -6\pi \sin(3\pi t + \frac{2\pi}{5}) \text{ cm/s}$

$$\text{Percepatan } a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) = -18\pi^2 \cos(3\pi t + \frac{2\pi}{5}) \text{ cm/s}^2$$

d. Posisi awal x_0 adalah posisi pada saat $t = 0$, yaitu

$$x_0 = 2 \cos(\frac{2\pi}{5}) = 0,62 \text{ cm}$$

Kecepatan awal v_0 adalah kecepatan pada saat $t = 0$, yaitu

$$v_0 = -6\pi \sin(\frac{2\pi}{5}) = 5,71\pi \text{ cm/s}$$

2. Tinjauan Energi dalam Gerak Harmonik Sederhana

Sejauh ini kita sudah mempelajari tentang perilaku gerak harmonik sederhana. Bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan dari gerak harmonik sederhana berubah terhadap waktu. Sekarang mari kita tinjau suatu besaran fisis yang tidak kalah pentingnya dari besaran-besaran yang sudah kita bahas di atas, yaitu energi untuk gerak harmonik sederhana.

Untuk sistem massa-pegas jika tidak ada gaya nonkonservatif (misal gaya gesekan) yang bekerja pada sistem maka energi total sistem (kinetik + potensial) bersifat kekal. Oleh karena energi potensial sebuah pegas dengan konstanta gaya k yang teregang sejauh x dari kesetimbangannya adalah:

$$U = \frac{1}{2} kx^2 \quad (1.13)$$

Sementara energi kinetik sebuah benda bermassa m yang bergerak dengan kelajuan v adalah

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1.14)$$

maka energi total sistem tersebut adalah:

$$E_{\text{Total}} = U + K = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} mv^2 = \text{kekal} \quad (1.15)$$

Saat simpangan maksimum, $x = A$, kecepatan nol maka

$$E_{Total} = \frac{1}{2}kA^2 \tag{1.16}$$

Sifat umum penting yang kita peroleh dari Persamaan (1.16) adalah bahwa:

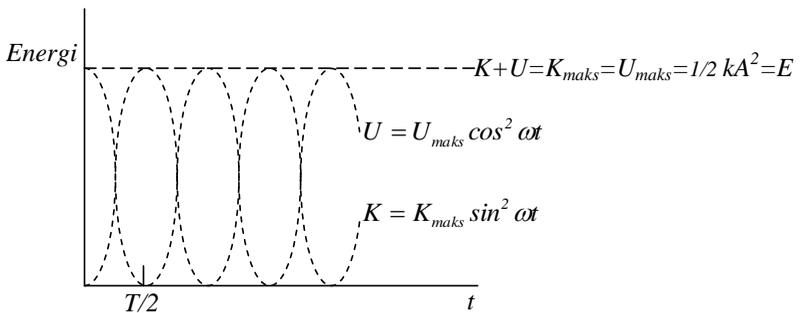
“Energi total dalam gerak harmonik sederhana berbanding lurus dengan kuadrat amplitudonya.”

Untuk dapat melukis kurva energi gerak harmonik sederhana, kita substitusikan Persamaan (1.6) ke (1.13) dan Persamaan (1.7) ke (1.14), kita peroleh:

$$U = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \tag{1.17}$$

$$K = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \tag{1.18}$$

Penjumlahan kedua persamaan di atas akan menghasilkan Persamaan (1.16). Persamaan (1.16), (1.17), dan (1.18) dapat diplot ke dalam bentuk grafik seperti pada Gambar (1.3).



Gambar 1.3.
Energi osilator harmonik sederhana

Contoh soal:

Sebuah benda bermassa 2 kg dihubungkan ke sebuah pegas berkonstanta gaya 40 N/m. Benda tersebut bergerak dengan kelajuan 20 cm/s. Ketika berada pada posisi kesetimbangannya:

- Berapakah energi total benda?
- Berapakah amplitudo geraknya?

Penyelesaian:

- Di titik setimbang $x = 0$ maka energi total benda sama dengan energi kinetiknya, yaitu $E_{Total} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(2)(0,2)^2 J = 4 \times 10^{-2} J$.

- Amplitudo gerak dapat dicari dari Persamaan (1.16), yaitu

$$A = \frac{2E_{Total}}{m} = \frac{2(4 \times 10^{-2})}{2} m = 4 \times 10^{-2} m .$$

Selain sistem massa-pegas, benda yang bergerak melingkar beraturan serta osilasi bandul sederhana untuk sudut simpangan kecil juga merupakan fenomena dari gerak harmonik sederhana. Coba Anda pelajari sendiri dari referensi yang tertulis di bagian akhir modul ini, tentang gerak harmonik sederhana dari benda yang bergerak melingkar dengan laju konstan dan ayunan bandul sederhana.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- Sebuah benda pada pegas horizontal bergetar dengan periode 4 s. Jika benda digantung secara vertikal, berapakah besarnya regangan pegas dari panjang awalnya ketika benda pada keadaan kesetimbangan?
- Sebuah partikel bermassa m mulai dari keadaan diam pada $x = +25m$ dan bergetar di sekitar posisi kesetimbangannya pada $x = 0$ dengan periode 1,5 s. Tuliskanlah persamaan untuk:
 - Posisi x sebagai fungsi waktu t .
 - Kecepatan v sebagai fungsi waktu t .
 - Percepatan a sebagai fungsi waktu t .

- 3) Sebuah benda 2 kg beresilasi dengan gerak harmonik sederhana pada pegas yang mempunyai konstanta gaya $k = 500 \text{ N/m}$. Laju maksimumnya 60 cm/s.
- Berapakah energi total?
 - Berapakah amplitudo osilasi?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Periode getaran diketahui maka kita bisa mencari nilai tetapan gaya k dari persamaan $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} = \frac{\pi^2 m}{4}$. Saat sistem digantung vertikal maka pada saat setimbang dari Hukum Newton kita dapatkan $mg = kx$, atau

$$x = \frac{mg}{k} = \frac{mg}{\pi^2 m / 4} = \frac{4g}{\pi^2}.$$

- 2) Kecepatan awalnya sama dengan nol dan simpangan mula-mula benda adalah +25 cm maka saat beresilasi ini akan menjadi amplitudo osilasinya. Frekuensi sudut dapat dicari dari persamaan $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{4\pi}{3} \text{ rad/s}$. Dengan mengambil konstanta fase sama dengan nol dan memasukkannya ke dalam Persamaan (1.12) maka diperoleh:

a. $x = 25 \cos\left(\frac{4\pi}{3}t\right) \text{ cm}$

b. $v = -\frac{100\pi}{3} \sin\left(\frac{4\pi}{3}t\right) \text{ cm/s}$

c. $a = -\frac{400\pi^2}{9} \cos\left(\frac{4\pi}{3}t\right) \text{ cm/s}^2$

- 3) Laju maksimum benda terjadi pada saat posisi benda di titik kesetimbangannya (energi potensialnya sama dengan nol). Dengan menggunakan Persamaan (1.15) dan (1.16) Anda akan peroleh:
- $E_{Total} = 0,36 \text{ J}$
 - $A = 3,8 \text{ cm}$



Getaran adalah gerak bolak-balik di sekitar titik kesetimbangan. Gerak periodik ini terjadi saat benda memiliki posisi kesetimbangan yang stabil dan sebuah gaya pemulih atau torsi yang bekerja jika benda tersebut dipindahkan dari posisi kesetimbangannya. Besaran-besaran fisis yang terkait dengan getaran benda adalah:

1. Frekuensi (f): banyaknya getaran persatuan waktu.
2. Periode (T): waktu untuk satu getaran.
di mana $f = 1/T$
3. Frekuensi sudut (ω): yang didefinisikan oleh $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$.
4. Amplitudo (A): simpangan maksimum dari posisi kesetimbangan.

Jika gaya pemulih yang bekerja pada sistem berbanding lurus dengan perpindahan x maka getarannya disebut gerak harmonik sederhana. Pada kasus tersebut:

$$F = -kx \text{ dan } a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x$$

Untuk beberapa kasus, pendekatan gerak harmonik sederhana dapat digunakan untuk perpindahan kecil.

Frekuensi sudut, frekuensi, dan periode gerak harmonik sederhana tidak bergantung pada amplitudo tapi hanya pada massa m dan konstanta gaya k :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Persamaan untuk perpindahan x , kecepatan v , dan percepatan a untuk gerak harmonik sederhana berbentuk sinusoidal dengan bentuk umum:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$$

dengan φ adalah konstanta fase dan A adalah amplitudo.

Energi total untuk gerak harmonik sederhana bersifat kekal, yaitu:

$$E_{\text{Total}} = U + K = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \text{kekal}$$


TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sebuah pegas memiliki konstanta gaya k , dan sebuah massa m digantungkan padanya. Pegas dipotong menjadi dua bagian yang sama dan kemudian massa tadi digantungkan pada salah satu potongannya. Perbandingan frekuensi osilasi sebelum dan setelah pegas dipotong adalah
 - A. $1/\sqrt{2}$
 - B. $\sqrt{2}$
 - C. $1/2$
 - D. 2

- 2) Sebuah benda digantung pada tali vertikal sehingga membentuk bandul sederhana. Jika bandul ini diberi gangguan ia akan berosilasi, hal ini disebabkan
 - A. tidak ada gaya lain yang bekerja pada benda selain gaya gravitasi
 - B. gaya gesekan udara diabaikan
 - C. momen gaya oleh gaya gravitasi yang bekerja pada benda selalu mengembalikan benda ke titik setimbangnya
 - D. adanya gaya sentripetal yang bekerja pada benda

- 3) Perubahan yang harus dilakukan pada suatu osilator harmonik sederhana agar laju maksimum massa yang berosilasi menjadi dua kali lipat harga semula adalah
 - A. massa benda diduakalilipatkan
 - B. massa benda diempatkalilipatkan
 - C. amplitudo getaran diduakalilipatkan
 - D. amplitudo getaran diempatkalilipatkan

- 4) Sebuah partikel bergetar harmonik dengan posisi setiap saat dinyatakan oleh persamaan $x = (5\text{ cm})\cos 4\pi t$, dengan t dalam sekon. Kecepatan dan percepatan getaran pada saat $t = 0,5$ s berturut-turut adalah
 - A. $-20\pi\text{ cm/s}$ dan $-80\pi^2\text{ cm/s}^2$
 - B. $20\pi\text{ cm/s}$ dan $80\pi^2\text{ cm/s}^2$
 - C. $4\pi\text{ cm/s}$ dan $16\pi^2\text{ cm/s}^2$
 - D. 0 dan $-80\pi^2\text{ cm/s}^2$

- 5) Semua pernyataan di bawah ini benar, *kecuali*
- jika periode getaran harmonik dilipatduakan maka frekuensi getarannya menjadi setengahnya
 - jika massa beban dari sistem massa-pegas ditambah, periodenya akan bertambah pula
 - jika tetapan gaya dari sistem massa pegas diempatkanlipatkan, frekuensi akan bertambah menjadi dua kali lipat
 - dalam merancang struktur di daerah rawan gempa maka frekuensi getaran alamiah struktur tersebut harus sama dengan frekuensi gempa
- 6) Sebuah benda 2 kg dihubungkan pada suatu pegas horizontal dengan konstanta gaya $k = 5k \text{ N/m}$. Pegas diregangkan 10 cm dari titik kesetimbangannya lalu dilepaskan. Kapan benda pertama kali mencapai posisi kesetimbangannya?
- $4\pi \times 10^{-2} \text{ s}$.
 - $\frac{1}{4\pi} \times 10^{-2} \text{ s}$.
 - $4\pi \times 10^{-4} \text{ s}$.
 - $\frac{1}{4\pi} \times 10^{-4} \text{ s}$.
- 7) Sebuah osilator harmonik memiliki frekuensi sudut ω dan amplitudo A . Pada saat energi potensial elastisnya sama dengan energi kinetiknya, berapakah perpindahannya?
- $A/\sqrt{2}$.
 - $\sqrt{2}A$.
 - $A/2$.
 - $2A$.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$
--

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Bunyi

Pada Kegiatan Belajar 1 kita telah mempelajari tentang getaran. Getaran yang merambat disebut dengan gelombang. Berdasarkan mediumnya gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik (memerlukan medium rambat) dan gelombang elektromagnetik (tidak memerlukan medium dalam perambatannya). Berdasarkan arah getar dan rambatnya, gelombang dibedakan menjadi gelombang transversal (arah getar tegak lurus arah rambat) dan gelombang longitudinal (arah getar dan arah rambatnya berimpit).

Salah satu peristiwa yang terkait dengan getaran adalah bunyi. Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang getarannya dirambatkan melalui suatu medium (karenanya merupakan gelombang mekanik juga) dalam bentuk rapatan dan renggangan. Berdasarkan frekuensinya, ada tiga penggolongan bunyi, yaitu infrasonik ($f < 20 \text{ Hz}$), audiosonik ($20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ KHz}$), dan ultrasonik ($f > 20 \text{ KHz}$).

Untuk dapat menerapkan konsep bunyi maka cermati uraian Kegiatan Belajar 2 yang meliputi bunyi dan sumber bunyi; gelombang bunyi harmonik; keras lemah dan tinggi rendahnya bunyi; serta resonansi dan pemantulan bunyi.

A. BUNYI DAN SUMBER BUNYI

Seperti telah disinggung sedikit di pendahuluan, bahwa bunyi dihasilkan dari getaran sebuah benda. Bunyi dihasilkan ketika sebuah benda, seperti garpu tala atau senar gitar digetarkan dan menyebabkan gangguan kerapatan medium. Gangguan dijalarakan di dalam medium melalui interaksi molekul-molekulnya. Getaran molekul tersebut berlangsung sepanjang arah penjalaran gelombang. Pada saat kita mendengar bunyi, sebetulnya ada tiga proses yang terjadi. Bunyi yang dihasilkan oleh sumber bunyi kemudian merambat melalui zat antara. Bunyi yang merambat kemudian menggetarkan selaput gendang telinga sehingga kita bisa mendengar bunyi tersebut.

Medium perambatan bunyi bisa zat padat, fluida, atau gas. Di dalam gas kerapatan dan tekanan terkait erat. Oleh karena itu, gelombang bunyi dalam

gas, seperti udara, dapat dipandang sebagai gelombang kerapatan atau gelombang tekanan. Fungsi gelombang untuk gelombang bunyi adalah simpangan longitudinal molekul-molekul gas dari posisi kesetimbangannya atau fungsi yang berkaitan dengan perubahan tekanan gas.

Cepat rambat bunyi untuk medium rambat yang berbeda akan berbeda pula. Di dalam zat padat, bunyi akan merambat lebih cepat dibandingkan dengan di udara karena di dalam zat padat jarak antarpartikelnya sangat berdekatan sehingga memudahkan getaran untuk merambat dari satu partikel ke partikel lainnya. Oleh karena itu, kita akan lebih cepat mendeteksi kedatangan kereta dengan cara mendekatkan telinga kita di rel kereta ketimbang dengan melihatnya. Berikut adalah cepat rambat bunyi untuk tiga medium yang berbeda:

Fluida:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (1.19)$$

B = modulus Bulk fluida

ρ = rapat massa fluida.

Zat padat:

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (1.20)$$

Y = modulus Young

ρ = rapat massa zat padat.

Gas:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1.21)$$

γ = konstanta yang bergantung pada jenis gas

R = konstanta gas umum = 8,314 J/mol. K

T = temperatur mutlak (K)

M = massa molar gas.

Contoh soal:

Untuk gas helium, $M = 4 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ dan $\gamma = 1,67$. Berapakah laju gelombang bunyi dalam helium tersebut pada suhu 27°C ?

Penyelesaian:

Dengan memasukkan nilai-nilai ini ke dalam Persamaan (1.21) diperoleh:

$$v = \sqrt{\frac{1,67(8,314)(273 + 27)}{4 \times 10^{-3}}} \text{ m/s} = 1020,5 \text{ m/s}$$

B. GELOMBANG BUNYI HARMONIK

Gelombang bunyi harmonik dapat dibangkitkan oleh suatu sumber yang bergetar dengan gerak harmonik sederhana, seperti garpu tala atau pengeras suara yang digetarkan oleh osilator audio. Sumber yang bergetar menyebabkan molekul-molekul udara di dekatnya berosilasi dengan gerak harmonik sederhana di sekitar posisi kesetimbangannya. Molekul ini bertumbukan dengan molekul-molekul tetangganya sehingga menyebabkan molekul-molekul tersebut berosilasi. Simpangan molekul $s(x,t)$ untuk gelombang bunyi harmonik dinyatakan oleh persamaan:

$$s(x,t) = s_o \sin(kx - \omega t) \quad (1.22)$$

dengan s_o adalah simpangan maksimum molekul dari posisi kesetimbangannya, dan k merupakan bilangan gelombang

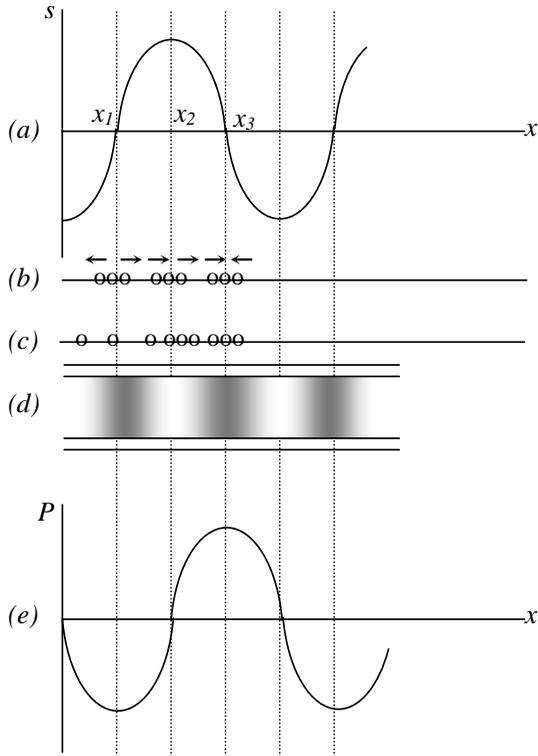
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.23)$$

ω adalah frekuensi sudut

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1.24)$$

Cepat rambat gelombang

$$v = \lambda f = \frac{\omega}{k} \quad (1.25)$$



Gambar 1.4.

- (a) Simbangan dan titik setimbang molekul-molekul udara dalam gelombang bunyi harmonik versus posisi pada suatu saat. Molekul-molekul berada pada titik setimbang di x_1 dan x_3 , dan simpangan maksimum di x_2 .
- (b) Molekul-molekul pada posisi kesetimbangan sebelum gelombang bunyi tiba. Arah panah menyatakan arah simpangan yang akan disebabkan gelombang bunyi.
- (c) Molekul-molekul di dekat x_1 , x_2 , dan x_3 setelah gelombang bunyi tiba.
- (d) Kerapatan maksimum pada x_3 dan minimum pada x_1 .
- (e) Perubahan tekanan versus posisi.

Pada Gambar (1.4) tersebut terlihat bahwa gelombang tekanan atau kerapatan berbeda fase 90° dengan gelombang simpangan sehingga gelombang tekanan dapat kita nyatakan dalam bentuk:

$$P = P_o \sin(kx - \omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1.26)$$

Amplitudo tekanan maksimum P_o berkaitan dengan amplitudo pergeseran maksimum s_o menurut Persamaan

$$P_o = \rho v \omega s_o \quad (1.27)$$

di mana v seperti pada Persamaan (1.27) adalah cepat rambat gelombang bunyi.

Ketika gelombang bunyi bergerak seiring waktu, simpangan molekul udara, kerapatan, dan tekanan pada satu titik semuanya berubah secara sinusoidal dengan frekuensi f , yang sama dengan frekuensi sumber getar.

Contoh soal:

Gelombang bunyi di udara menghasilkan suatu variasi tekanan yang diberikan oleh Persamaan

$$P(x, t) = 0,75 \cos \frac{\pi}{2} (x - 340t)$$

dengan P dalam pascal, x dalam meter dan t dalam sekon. Berapakah:

- Amplitudo tekanan?
- Panjang gelombang?
- Frekuensi?
- Laju gelombang bunyi?

Penyelesaian:

Dengan mengambil ekivalensi persamaan di atas dengan Persamaan (1.26) maka kita dapatkan:

- Amplitudo tekanan 0,75 pascal.
- Panjang gelombang didapat dari persamaan $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{\pi/2} = 4m$.
- Frekuensi didapat dari persamaan $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{340\pi/2}{2\pi} = 85 \text{ Hz}$.
- Laju gelombang bunyi diperoleh dari persamaan $v = \frac{\omega}{k} = \frac{340\pi/2}{\pi/2} = 340m/s$.

C. KERAS LEMAH DAN TINGGI RENDAHNYA BUNYI

1. Amplitudo dan Keras Lemahnya Bunyi

Jika Anda petik senar gitar perlahan-lahan, kemudian ulangi lagi dengan petikan yang lebih kuat, apa yang terdengar? Ternyata bunyi petikan yang kedua lebih kuat dibandingkan bunyi petikan yang pertama. Percobaan ini juga bisa dilakukan dengan sebuah garpu tala. Ketika Anda memukulkan garpu tala ke meja dengan dua kekuatan pukulan yang berbeda maka pukulan yang lebih kuat akan menghasilkan bunyi yang lebih keras.

Petikan gitar dan pukulan garpu tala yang kuat menunjukkan amplitudo getaran yang terjadi lebih besar. Dengan demikian, berdasarkan dua percobaan sederhana tersebut dapat disimpulkan bahwa keras lemahnya bunyi tergantung pada besar kecilnya amplitudo gelombang bunyi. Makin besar amplitudo, makin keras juga bunyi yang dihasilkan.

2. Frekuensi dan Tinggi Rendahnya Bunyi

Berdasarkan frekuensinya, bunyi yang dihasilkan oleh suatu benda ada dua jenis. Bunyi yang frekuensinya teratur disebut nada, dan yang frekuensinya tidak teratur disebut *noise*.

Kita akan lakukan suatu percobaan sederhana. Coba sekarang Anda ambil sebuah penggaris plastik panjang. Letakkan sebagian penggaris di atas meja dan dipegang tetap, ujung penggaris lainnya berada bebas di tepian meja. Sekarang getarkan ujung bebas penggaris tersebut dan perhatikan getaran dan bunyi yang ditimbulkannya. Sekarang geserkan penggaris sehingga bagian bebasnya menjadi lebih pendek dan lakukan percobaan yang sama (untuk menghindari bias percobaan, usahakan simpangan getarannya sama). Pada percobaan kedua Anda akan merasakan bahwa getaran penggaris tersebut lebih cepat atau frekuensinya lebih tinggi dibanding percobaan pertama. Seiring dengan hal tersebut Anda akan mendengar bunyi yang dihasilkan percobaan kedua memiliki nada yang lebih tinggi. Apakah betul demikian?

Berdasarkan percobaan sederhana tersebut, kita dapat simpulkan bahwa tinggi rendahnya bunyi bergantung pada frekuensi getar sumber bunyi. Makin besar frekuensinya, makin tinggi nada bunyinya.

3. Intensitas dan Tingkat Intensitas Bunyi

Intensitas I gelombang bunyi didefinisikan sebagai jumlah rata-rata energi yang dibawa oleh gelombang persatuan waktu persatuan luas permukaan yang tegak lurus arah rambatannya. Oleh karena luasnya daerah intensitas bunyi yang dapat diterima telinga ($10^{-12} \text{ W/m}^2 - 1 \text{ W/m}^2$) maka untuk memudahkan dalam skala logaritma.

Tingkat intensitas β gelombang bunyi ditentukan dari persamaan:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1.28)$$

di mana I adalah intensitas bunyi dan I_0 adalah intensitas acuan yang akan diambil sebagai ambang pendengaran

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Pada skala ini ambang pendengaran adalah

$$\beta = 10 \log \frac{I_0}{I_0} = 0 \text{ desibel (dB)} \quad (1.29)$$

dan ambang sakit adalah

$$\beta = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 \text{ dB} \quad (1.30)$$

Jadi, rentang intensitas bunyi dari 10^{-12} W/m^2 sampai 1 W/m^2 bersesuaian dengan rentang tingkat intensitas dari 0 dB hingga 120 dB. Berikut adalah tingkat intensitas berbagai bunyi yang lazim.

Tabel 1.1.
Tingkat Intensitas Berbagai Sumber Bunyi

Sumber atau Keterangan Bunyi	Tingkat Intensitas (dB)
Ambang rasa sakit	120
Alat pemasangan paku kling (<i>riveter</i>)	95
Kereta api di atas jalan raya (<i>elevated train</i>)	90
Jalan ramai	70
Percakapan biasa	65
Mobil yang mulus	50
Bunyi biasa radio dalam rumah	40
Bisik-bisik	20
Desiran daun-daun	10
Ambang pendengaran	0

Istilah keras bunyi (*loudness*) menyangkut semata-mata sensasi pendengaran seseorang, jadi bersifat subjektif, dan tak dapat diukur dengan suatu alat. Kepekaan terhadap kenyaringan bunyi bergantung pada intensitas bunyi, juga pada frekuensi.

Contoh soal:

Seekor anjing yang menggonggong melepas daya sekitar 1 mW.

- Jika daya ini terdistribusi secara seragam ke semua arah, berapa tingkat intensitas bunyi pada jarak 5 m?
- Berapa tingkat intensitas dari dua anjing yang menggonggong secara bersamaan jika masing-masing melepas daya 1 mW?

Penyelesaian:

- Intensitas pada jarak 5 m adalah daya dibagi dengan luas

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{10^{-3}W}{4\pi(5m)^2} = 3,18 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

Tingkat intensitas pada jarak ini adalah

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{3,18 \times 10^{-6}}{10^{-12}} \\ &= 10 \log(3,18 \times 10^6) = 65 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Jika ada dua anjing menggonggong pada saat yang bersamaan, intensitas akan menjadi dua kali lebih besar, atau

$$I = 2 \times (3,18 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2) = 6,36 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

sehingga tingkat intensitas menjadi

$$\beta = 10 \log(6,36 \times 10^6) = 68,0 \text{ dB} .$$

D. RESONANSI DAN PEMANTULAN BUNYI

1. Resonansi

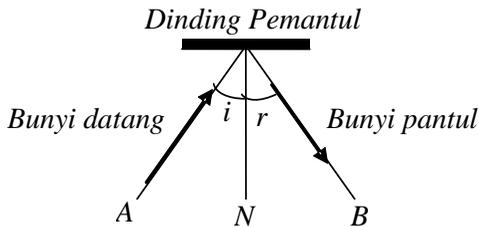
Resonansi ialah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena pengaruh getaran benda lain. Peristiwa resonansi terjadi bila frekuensi getar kedua benda tersebut sama. Peristiwa resonansi dapat ditunjukkan dengan percobaan menggunakan dua buah garpu tala yang frekuensi getarnya sama dan diletakkan bersebelahan. Saat salah satu garpu tala digetarkan, garpu tala lainnya akan ikut bergetar pula.

Peristiwa resonansi juga dapat terjadi pada kolom udara. Dengan resonansi kolom udara kita dapat menentukan cepat rambat bunyi di udara (coba Anda pelajari referensi tentang ini!). Peristiwa resonansi banyak dimanfaatkan dalam pembuatan suatu alat musik. Alat musik tiup, senar, dan alat musik selaput tipis mengalami penguatan bunyi oleh resonansi kolom udara.

Di lain pihak, dalam kehidupan sehari-hari resonansi terkadang harus diredam atau dihindari, sebab jika tidak dapat menimbulkan bahaya atau bencana. Seperti pada kejadian runtuhnya jembatan gantung Selat Tacoma Amerika Serikat pada tahun 1940. Angin yang bertiup melalui jembatan dengan kecepatan tertentu dan dengan frekuensi datangnya angin yang tertentu pula, menyebabkan resonansi pada jembatan. Jembatan mulai berayun dengan hebat dan pada akhirnya runtuh.

2. Pemantulan Bunyi

Permukaan-permukaan yang keras, seperti tembok, dinding lereng gunung dapat memantulkan gelombang bunyi. Peristiwa pemantulan bunyi mengikuti suatu aturan tertentu, yaitu Hukum Pemantulan Bunyi yang isinya sebagai berikut.



Gambar 1.5.
Fenomena Pemantulan Bunyi

- Bunyi datang (AP), garis normal (PN), dan bunyi pantul (PB) terletak pada satu bidang, dan ketiganya berpotongan pada satu titik P.
- Sudut pantul (r) sama dengan sudut datang (i).

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari fenomena pemantulan bunyi:

- Mengukur kedalaman laut.
- Pemeriksaan Ultrasonografi (USG).

- c. Menentukan cepat rambat bunyi di udara.
- d. Melakukan survei geofisika.
- e. Mendeteksi cacat dan retak pada logam.
- f. Mengukur ketebalan pelat logam.

Contoh Soal:

Seorang pengamat berdiri 100 m dari sebuah gedung rendah. 40 m di belakang gedung rendah terdapat gedung yang lebih tinggi. Ketika pengamat berteriak, ia mendengar dua pantulan dari bunyi teriaknya, dengan selisih waktu 0,25 sekon.

Hitunglah cepat rambat bunyi di udara!

Penyelesaian:

Ingat bahwa bunyi menempuh jarak bolak-balik sehingga cepat rambat bunyi dapat dihitung sebagai berikut.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2(140 - 100)}{0,25} \text{ m/s} = 320 \text{ m/s}$$



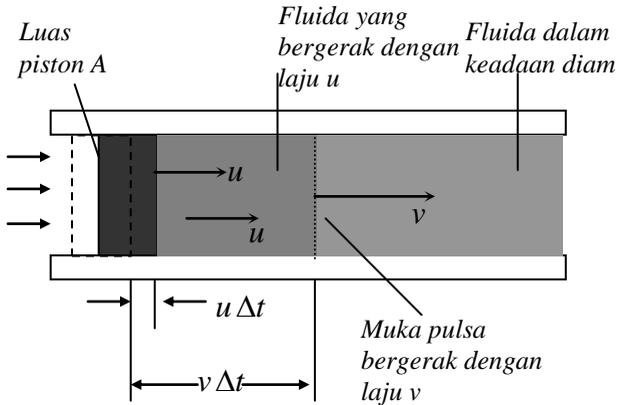
LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Turunkan Persamaan (1.19)!
- 2) Kita mendengar bunyi petir sesaat setelah melihat cahaya petir. Mengapa hal ini bisa terjadi?
- 3) Seorang mahasiswa berdiri di depan sebuah tebing. Ia mengamati bahwa bunyi pantul tepuk tangannya terdengar 5,5 sekon setelah ia bertepuk tangan. Kemudian ia berjalan sejauh 250 m menuju tebing, dan bertepuk tangan lagi. Kali ini ia mencatat bahwa bunyi pantul terdengar 4 sekon kemudian. Berapakah kecepatan bunyi di udara? Berapa jarak tebing dari tempat mahasiswa tersebut melakukan tepuk tangan yang kedua? (jawab 333,3 m/s; 666,7 m).

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Tinjau fluida dengan rapat massa ρ dan tekanan P . Sebuah piston dengan luas penampang A menekan ke kanan selama waktu Δt sehingga terjadi perubahan tekanan ΔP .



Gambar 1.6.
Gerak fluida dalam piston untuk menurunkan
cepat rambat bunyi dalam fluida

Suatu gangguan dalam bentuk pulsa gelombang akan menjalar melalui tabung. Jika piston bergerak konstan dengan laju u yang jauh lebih kecil dari laju gelombang v . Kita dapat menghitung laju pulsa dengan menetapkan perubahan momentum fluida sama dengan impuls yang bekerja pada fluida karena tekanan yang bertambah selama Δt

$$\text{Impuls} = F \Delta t = A \Delta P \Delta t$$

Massa fluida yang bergerak adalah kerapatan kali volume, sehingga perubahan momentum

$$\text{Perubahan momentum} = \rho (A v \Delta t) u$$

Dengan menyamakan kedua Persamaan diperoleh:

$$A \Delta P \Delta t = \rho (A v \Delta t) u \quad \text{atau} \quad \Delta P = \rho v u$$

Perubahan tekanan berkaitan dengan penurunan volume fluida melalui modulus bulk

$$\Delta P = B \frac{-\Delta V}{V}$$

Volume mula-mula $V = AV \Delta t$ dan perubahan volume yang disapu oleh piston adalah $\Delta V = -Au \Delta t$. Jadi, $\Delta P = \frac{Bu}{v}$ karena $\Delta P = \rho v u$ maka akhirnya kita dapatkan

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (\text{terbukti}).$$

- 2) Cepat rambat cahaya lebih besar dari cepat rambat bunyi, oleh karenanya pada saat terjadi petir, cahaya akan lebih cepat sampai ke pengamat sehingga pengamat akan melihat cahaya petir lebih dulu dibandingkan bunyi petir.
- 3) Cepat rambat bunyi: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2(250)}{1,5} = 333,3 \text{ m/s}$

Jarak orang ke tebing =

$$\frac{\text{jarak tempuh bunyi}}{2} = \frac{v \times \Delta t}{2} = \frac{333,3 \times 4}{2} = 666,7 \text{ m}$$



RANGKUMAN

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dihasilkan ketika sebuah benda (misal garpu tala atau senar gitar) digetarkan sehingga menyebabkan gangguan kerapatan medium. Gangguan tersebut kemudian dijalarakan di dalam medium melalui interaksi molekul-molekul dalam medium tersebut.

Cepat rambat bunyi bergantung pada medium rambatnya. Secara matematik, cepat rambat bunyi di dalam medium gas, fluida, dan zat padat adalah sebagai berikut:

Fluida:

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

B = modulus Bulk fluida

ρ = rapat massa fluida.

Zat padat:

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

Y = modulus Young

ρ = rapat massa zat padat.

Gas:

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

γ = konstanta yang bergantung pada jenis gas

R = konstanta gas umum = 8,314 J/mol. K

T = temperatur mutlak (K)

M = massa molar gas.

Gelombang bunyi harmonik adalah gelombang bunyi yang ditimbulkan oleh getaran harmonik suatu benda. Simpangan molekul $s(x,t)$ untuk gelombang bunyi harmonik dinyatakan oleh Persamaan

$$s(x,t) = s_o \sin(kx - \omega t)$$

Di mana: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ adalah bilangan gelombang

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ adalah frekuensi sudut

Cepat rambat gelombang

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

Ketika gelombang bunyi harmonik bergerak, simpangan molekul udara, kerapatan, dan tekanan pada suatu titik semuanya berubah secara sinusoidal dengan frekuensi sumber getarnya. Gelombang tekanan/kerapatan berbeda fase 90° dengan gelombang simpangannya

$$P = P_o \sin(kx - \omega t - \frac{\pi}{2})$$

Gelombang bunyi dengan frekuensi yang teratur disebut nada, sedangkan bunyi yang frekuensinya tidak teratur disebut *noise*. Tinggi rendahnya nada bergantung pada frekuensi, sementara keras lemahnya nada bergantung pada amplitudo.

Intensitas I gelombang bunyi didefinisikan sebagai jumlah rata-rata energi yang dibawa oleh gelombang persatuan waktu persatuan luas permukaan yang tegak lurus arah rambatannya.

Tingkat intensitas β gelombang bunyi ditentukan dari Persamaan:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_o}$$

di mana I adalah intensitas bunyi dan I_o adalah intensitas acuan sebagai ambang pendengaran, yaitu $I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Resonansi ialah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena pengaruh getaran benda lain. Peristiwa resonansi terjadi bila frekuensi getar kedua benda tersebut sama.

Bunyi akan dipantulkan ketika mengenai suatu penghalang yang keras. Hukum pemantulan bunyi:

1. Bunyi datang, garis normal, dan bunyi pantul terletak pada satu bidang.
2. Sudut pantul (r) sama dengan sudut datang (i).



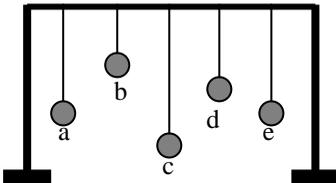
TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Berikut ini merupakan syarat terjadi dan terdengarnya bunyi, *kecuali*....
 - A. sumber bunyi getar
 - B. ada medium perambatan bunyi
 - C. bunyi memantul
 - D. ada penerima bunyi

- 2) Dari bagian bawah kapal dikirim pulsa-pulsa bunyi ke dasar laut. Bunyi pantul diterima kembali 4 sekon setelah pengiriman pulsa tersebut. Bila cepat rambat bunyi dalam air laut 1400 m/s maka kedalaman laut adalah....
 - A. 1400 m
 - B. 2800 m
 - C. 5600 m
 - D. 8400 m

- 3) Gelombang bunyi dengan frekuensi 256 Hz merambat di udara dengan kecepatan 330 m/s. Kecepatan rambat gelombang bunyi dengan frekuensi 512 Hz di udara adalah
- 22,5 m/s
 - 165 m/s
 - 330 m/s
 - 660 m/s
- 4) Modulus Young aluminium $7,0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$. Kerapatan aluminium $2,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Laju bunyi dalam sebatang tongkat aluminium adalah....
- 2091,8 m/s
 - 3091,8 m/s
 - 4091,8 m/s
 - 5091,8 m/s
- 5) Manakah dari pernyataan berikut yang benar?
- Tinggi rendahnya bunyi bergantung pada frekuensi bunyi.
 - Tinggi rendahnya bunyi bergantung pada amplitudo gelombang bunyi.
 - Keras lemahnya bunyi bergantung pada frekuensi dan amplitudo gelombang bunyi.
 - Kualitas bunyi bergantung pada amplitudo gelombang bunyi.
- 6) Relatif terhadap intensitas referensi sebesar $10^{-16} \text{ watt cm}^{-2}$, berapakah taraf intensitas suatu gelombang bunyi yang intensitasnya $10^{-10} \text{ watt cm}^{-2}$ bila dinyatakan dalam dB?
- 50 dB.
 - 60 dB.
 - 70 dB.
 - 80 dB.
- 7) Perhatikan Gambar berikut.



Saat bandul a digetarkan maka yang akan terjadi adalah

- bandul yang lainnya akan ikut bergetar dengan frekuensi yang sama
- bandul yang lainnya akan ikut bergetar dengan frekuensi yang berbeda

- C. hanya bandul e yang akan bergetar
- D. bandul yang lainnya tetap diam

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Pegas yang dipotong sama panjang konstanta pegasnya dua kali konstanta pegas sebelum pegas tersebut dipotong maka perbandingan frekuensi sebelum dan setelah pegas dipotong adalah:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_2}} = \frac{\sqrt{k}}{\sqrt{2k}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

- 2) C. Momen gaya oleh gravitasi akan menjadi gaya pulih pada sistem bandul sederhana, ini yang menimbulkan bandul berosilasi.
 3) C. Laju maksimum terjadi di titik kesetimbangan (energi potensial = 0), maka $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2 \rightarrow v = A\sqrt{\frac{k}{m}}$, dari Persamaan ini jawaban bisa dianalisis.

4) D. $v(t) = \frac{dx}{dt} = -20\pi \sin 4\pi t \rightarrow v(t = 0,5) = 0$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -80\pi^2 \cos 4\pi t \rightarrow a(t = 0,5) = -80\pi^2.$$

- 5) D. Jika frekuensi alami struktur bangunan sama dengan frekuensi gempa, akan terjadi resonansi dan bangunan bisa ambruk.
 6) B. Benda pertama kali mencapai titik setimbang dalam waktu

$$t = \frac{1}{4}T = \frac{1}{8\pi} \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{8\pi} \sqrt{\frac{2}{5 \times 10^3}} = \frac{1}{4\pi} \times 10^{-2} s.$$

- 7) A. Saat energi potensial sama dengan energi kinetik

$$\frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \rightarrow x = \frac{A}{\sqrt{2}}.$$

Tes Formatif 2

- 1) C. Sudah jelas.
 2) B. $h = \frac{v \times t}{2} = \frac{1400 \times 4}{2} = 2800 m.$
 3) C. Cepat rambat bunyi hanya bergantung pada medium, selama mediumnya tidak diganti maka kecepatannya tetap.

- 4) A. $v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{7 \times 10^{10}}{2,7 \times 10^3}} = 5091,8.$
- 5) A. Sudah jelas.
- 6) B. $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log 10^6 = 60dB.$
- 7) C. Dari definisi resonansi maka yang akan ikut bergetar adalah yang frekuensi alaminya sama dengan bandul a. Frekuensi bandul bergantung pada panjang tali maka bandul e yang akan bergetar.

Glosarium

Bayangan maya	:	bayangan yang dihasilkan dari perpotongan perpanjangan sinar pantul/sinar bias. Bayangan ini tidak bisa ditangkap oleh layar.
Difraksi	:	peristiwa pelenturan gelombang saat gelombang melewati celah sempit. Syarat terjadinya difraksi adalah bahwa lebar celah harus se orde dengan panjang gelombang.
Fase	:	perbandingan antara waktu gerak/getar dengan periode t/T atau jarak tempuh gelombang dengan panjang gelombang x/λ . Dua titik pada gelombang yang terpisah sejauh $1/2 \lambda$, beda fasenya $1/2$.
Gelombang sferis	:	gelombang dengan muka gelombang berbentuk permukaan bola.
Interferensi	:	peristiwa penggabungan dua gelombang atau lebih. Syarat interferensi adalah bahwa gelombang harus memiliki beda fase yang tetap (koheren).
Konstanta fase	:	fase getaran/gelombang pada saat $t = 0$.
Kurva sinusoidal	:	kurva dari fungsi sinus atau kosinus.
Massa molar	:	massa tiap satu mol zat.
Refraksi/pembiasan	:	peristiwa pembelokan cahaya saat melewati bidang batas dua medium yang berbeda.
Sinar x	:	radiasi yang ditimbulkan dari pengereman partikel bermuatan dalam material. Sinar x memiliki panjang gelombang antara (0,01–0,05) nm sehingga memiliki daya tembus yang cukup tinggi. Sinar x ditemukan oleh Rontgen pada tahun 1901.
Sudut kritis	:	sudut datang yang menghasilkan sudut bias sebesar 90° .
Titik Kesetimbangan	:	titik pusat gerak osilasi, di mana pada titik tersebut resultan gaya yang bekerja pada sistem sama dengan nol.
Ultrasonografi (USG)	:	alat untuk mendeteksi organ dalam (biasanya kandungan) dengan memanfaatkan gelombang bunyi ultrasonik.

Daftar Pustaka

- Halliday, D. & Resnick, R. (1978). *Physics*. Third Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Sears, F.W. & Zemansky, M.W. (1964). *University Physics*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Tipler, P.A. (1991). *Physics for Scientist and Engineers*. Third Edition. California: Worth Publisher Inc.
- Young, H.D. & Freedman, R.A. (2000). *University Physics*. Tenth Edition. New York: Addison-Wesley Longman Inc.