Sudirman

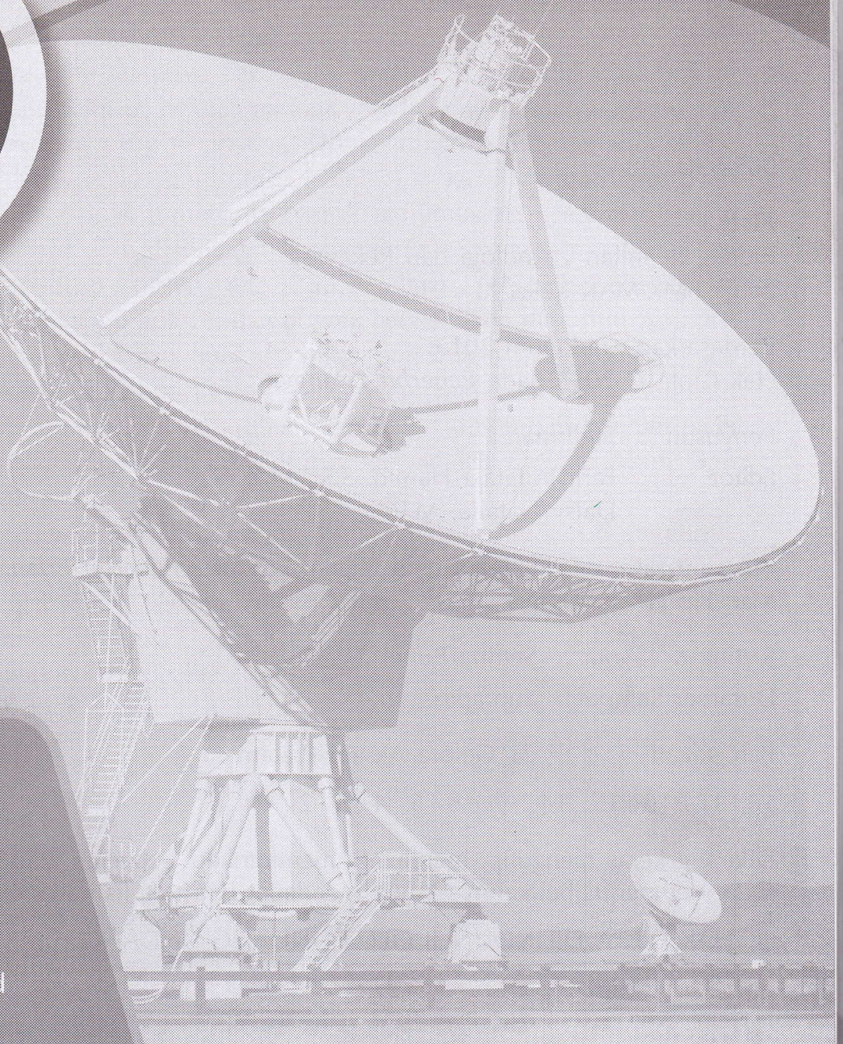
Kurikulum 2013

FISIKA

Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa

untuk SMK/MAK Kelas XI

2



PENERBIT ERLANGGA

Jl. H. Baping Raya No. 100
Ciracas, Jakarta 13740
Website: www.erlangga.co.id
(Anggota IKAPI)

Bab 1

Getaran, Gelombang, dan Bunyi

Kompetensi Dasar:

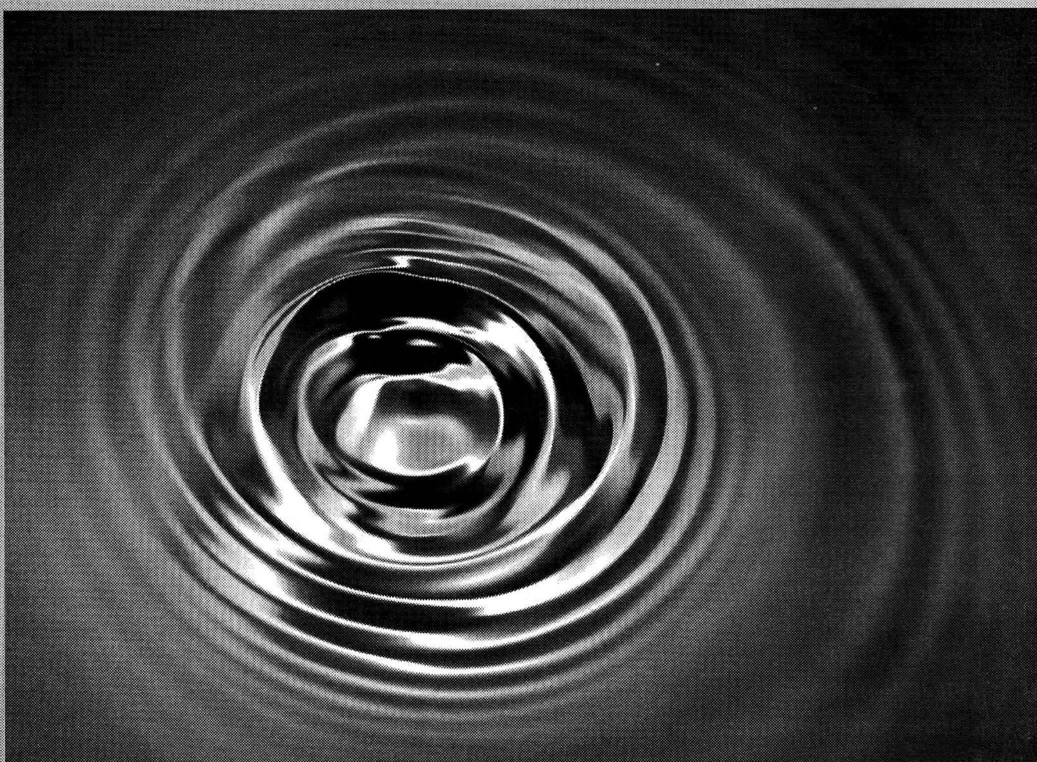
1. Memahami konsep dan prinsip getaran gerak harmonik sederhana.
2. Menerapkan konsep dan prinsip energi dalam gerak harmonik sederhana.
3. Memahami konsep dan prinsip-prinsip gejala gelombang.
4. Menganalisis perbedaan jenis-jenis gelombang.
5. Menyajikan hasil penyelidikan fenomena gelombang (interferensi, resonansi, efek Doppler, dan gelombang kejut).

Karakter yang dikembangkan:

1. Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu, objektif, jujur, teliti, cermat, tekun, hati-hati, bertanggung jawab, terbuka, kritis, kreatif, inovatif, dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari.
2. Menghargai kerja individu dan kelompok dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi melaksanakan percobaan dan melaporkan hasil percobaan.

Pendahuluan

Pernahkah kalian pergi berkunjung ke tepi pantai? Di sana, kalian akan menemukan riak-riak air yang bergelombang. Hal yang sama juga terjadi ketika kalian menepuk air dalam bak dengan telapak tangan, atau menggoyangkan penggaris bolak-balik. Pengetahuan tentang ilmu gelombang telah dimanfaatkan dalam banyak bidang, terutama bidang industri dan teknologi. Misalnya: televisi, radio, pemanas *microwave*, telepon, dan sebagainya. Pelajarilah gelombang dengan baik agar kalian memahami fondasi teknologi yang terkini.



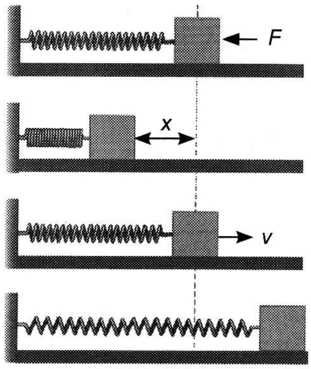
Sumber: wikimedia.com

A Getaran

1. Getaran pada Pegas

Getaran dapat kita definisikan sebagai gerak bolak-balik secara berkala suatu benda akibat pengaruh gaya dalam selang waktu yang tetap. Sebagai contoh, marilah kita tinjau sebuah pegas di atas bidang datar yang salah satu ujungnya direkatkan pada dinding dan ujung yang lain diberi beban m. Kondisi sistem kita asumsikan tidak terdapat gesekan antara beban dan permukaan bidang datar, seperti yang terlihat pada gambar di samping. Saat beban m didorong dengan gaya F sejauh x dari posisi setimbangnya, pegas akan menghasilkan gaya sebagai reaksi terhadap gaya luar yang sama besar, yaitu

$$F = -kx \tag{1.1}$$



Gambar 1.1 Sebuah benda bermasa m diikat dengan pegas dan berosilasi pada bidang datar yang licin.

Tanda minus menunjukkan bahwa gaya reaksi pada pegas berlawanan arah terhadap gaya luar yang memengaruhinya (ingat kembali Hukum III Newton). Setelah beban kita lepaskan, gaya pegas akan menjadi gaya tarik terhadap m, yaitu

$$F = ma$$

Besar percepatan yang dialami beban adalah

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

sehingga diperoleh

$$F = ma = m\,\frac{d^2x}{dt^2}$$

Kedua gaya sama besar, sehingga

$$m\,\frac{d^2x}{dt^2} = -kx \tag{1.2}$$

dengan x adalah besar simpangan yang diberikan terhadap pegas. Posisi x dari suatu titik pada pegas merupakan fungsi cosinus (atau sinus), yaitu:

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi) \tag{1.3}$$

Sehingga jika kita diferensialkan terhadap t, akan diperoleh

$$\frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \phi)$$

dan

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \phi) \tag{1.4}$$

Substitusi Persamaan (1.4) dan (1.3) pada Persamaan (1.2), sehingga diperoleh:

$$-mA\omega^2\cos(\omega t + \phi) = -kA\cos(\omega t + \phi)$$

Kita bagi kedua ruas dengan $A\cos(\omega t + \phi)$, didapatkan nilai konstanta k, yaitu

$$k = m\omega^2 \tag{1.5}$$

Info FISIKA

Percepatan adalah turunan kedua dari fungsi perpindahan (posisi).

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Physicsnet

Untuk menambah pengetahuan dan mempelajari lebih dalam mengenai getaran pada pegas dan ayunan bandul, silahkan buka link di bawah ini. *www.acoustics.salford.ac.uk/feschools/waves/shm.html#motion*

Dari Persamaan (1.5), kita dapat menurunkan besaran frekuensi (f) dan periode (T). Hubungan antara besaran sudut ω, periode T, dan frekuensi f adalah sebagai berikut.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \qquad (1.6)$$

Persamaan (1.5) kita tuliskan sebagai

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

Berarti,

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (1.7)$$

Karena $f = \frac{1}{T}$, maka

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (1.8)$$

dengan: T = periode getaran pegas dan beban (s),
m = massa beban (kg),
k = konstanta pegas (N/m),
f = frekuensi (Hz).

Sekarang, kita tinjau getaran pegas berdasarkan energi mekanik yang terjadi. Ketika pegas kita tarik sejauh x dengan gaya F, muncul energi potensial pegas yang besarnya berbanding lurus terhadap kuadrat jarak pergeseran atau peregangan pegas, yaitu

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (1.9)$$

Setelah beban dan pegas dilepaskan, energi potensial pegas akan berubah menjadi energi kinetik (karena beban bermassa m bergerak dengan kecepatan v) yang besarnya

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (1.10)$$

Energi mekanik dinyatakan sebagai

$$E_m = E_p + E_k = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 \qquad (1.11)$$

Energi mekanik selalu bernilai konstan, baik ketika berada pada posisi terjauh maupun posisi setimbang. Pada posisi maksimum (yaitu ketika beban masih dipegang), nilai E_p maksimum dan E_k nol. Ketika beban dilepaskan, E_p perlahan berkurang dan E_k perlahan bertambah. Suatu saat di posisi setimbang, E_p bernilai nol dan E_k maksimum. Hal ini berlangsung terus-menerus.

Kita misalkan energi mekanik sistem pada titik simpangan (titik terjauh) adalah

$$E_{m1} = E_k + E_p = 0 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kx^2$$

Sementara itu energi mekanik sistem pada titik setimbang adalah

$$E_{m2} = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv^2$$

Oleh karena energi mekanik selalu kekal, maka

$$E_{m1} = E_{m2}$$

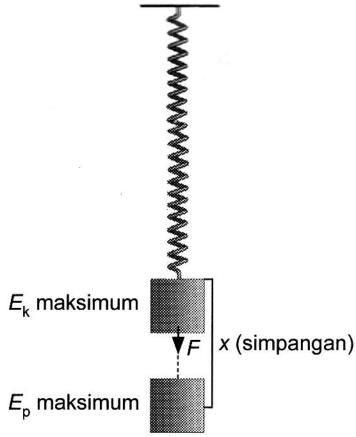
$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2$$

Didapatkan hubungan antara kecepatan v dan posisi x, yaitu

$$v = x\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (1.12)$$

Dengan: v = kecepatan (m/s),
x = simpangan (m),
k = konstanta (N/m),
m = massa beban (kg).

Jadi, besar kecepatan getaran benda dan pegas berbanding lurus terhadap besar simpangan yang diberikan terhadap pegas.



Gambar 1.2 Energi mekanik pada sistem pegas selalu konstan jika tidak ada gaya luar.

Contoh

1. Sebuah pegas pada salah satu ujungnya ditempel pada langit-langit dan pada ujungnya yang lain diberi beban 0,4 kg (sebagai ilustrasi, perhatikan Gambar 1.2). Akibat penambahan beban ini, pegas bertambah panjang sebesar 4 cm. Kemudian beban ditarik ke bawah sejauh 5 cm dari posisi setimbangnya dan dilepaskan. Hitunglah besar:
   a. periode getaran benda,
   b. frekuensi getaran benda, dan
   c. kecepatan gerak getaran.

   Jawab

   Diketahui : m = 0,4 kg, $\Delta\ell$ = 4 cm = 4×10^{-2} m, x = 5 cm = 5×10^{-2} m

   Ditanyakan : **a.** periode T?
   b. frekuensi f? dan
   c. kecepatan v?

   Penyelesaian:

   Hitung terlebih dulu konstanta pegas k dengan Persamaan (1.1), $F = -kx$.

   $k = \frac{F}{x}$ (dengan x adalah besarnya regangan pegas akibat diberi beban F, yaitu $\Delta\ell$).

   $$k = \frac{mg}{\Delta\ell} = \frac{0,4 \times 10}{4 \times 10^{-2}} = 100 \text{ N/m}$$

   a. Besarnya periode dapat dicari dengan Persamaan (1.7), yaitu $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

   $$T = 2 \times 3,14 \times \sqrt{\frac{0,4}{100}} = 0,39 \text{ s}$$

b. Besarnya frekuensi dicari dengan Persamaan (1.8), yaitu $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

$$f = \frac{1}{2 \times 3{,}14}\sqrt{\frac{100}{0{,}4}} = 2{,}5 \text{ Hz}$$

Cara lainnya, kita dapat menggunakan hubungan $f = \frac{1}{T}$. Berdasarkan hasil pada (*a*), kita dapatkan *f*, yaitu:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}39} = 2{,}5 \text{ Hz}$$

c. Menghitung kecepatan getaran *v*, gunakan persamaan $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$

$$v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$v = 5 \times 10^{-2}\sqrt{\frac{100}{0{,}4}} = 0{,}79 \text{ m/s}$$

2. Sebuah pegas dengan konstanta 10 N/m digantungkan sebuah beban dengan massa 3 kg. Hitung besar energi potensial pegas jika pegas bertambah panjang sebesar 3 cm.

Jawab

Diketahui : $k = 10$ N/m, $m = 3$ kg, $g = 10$ m/s^2, $\Delta x = 3$ cm $= 3 \times 10^{-2}$ m

Ditanya : $E_p = ?$

Penyelesaian :

$$E_p = \frac{1}{2}k\Delta x^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 10(3 \times 10^{-2})^2$$

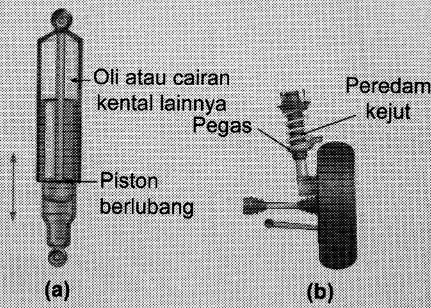
$$E_p = 45 \times 10^{-4} \text{ J}$$

Uji Kemampuan Diri

1. Sebuah pegas (panjang 20 cm) digantung pada statif dan pada bagian bawahnya digantungkan sebuah beban bermassa 2 kg sehingga pegas bertambah panjang 2 cm. Beban kemudian ditarik sehingga pegas menyimpang sejauh 5 cm lalu dilepaskan. Hitunglah
   a. frekuensi osilasi pegas,
   b. periode osilasi pegas,
   c. kecepatan maksimum pegas.
2. Sebuah pegas pada salah satu ujungnya digantungkan beban *m* dan disimpangkan sejauh 10 cm lalu dilepaskan. Kecepatan getar pegas tersebut mencapai 2 m/s. Jika konstanta pegas $k = 10$ N/m, hitunglah massa beban tersebut.
3. Sebuah benda diikat pada ujung pegas dan digetarkan harmonik dengan amplitudo 2*A*. Jika konstanta *k* dan simpangan benda $\frac{1}{4}A$, hitunglah besar energi kinetik benda.

Aplikasi

Gambar di samping menunjukkan salah satu jenis sistem suspensi pada kendaraan bermesin. Gambar (**a**) disebut *shock absorber*, berfungsi untuk meredam kejutan. Gambar (**b**) menunjukkan sebuah *shock absorber* yang telah ditanam pada roda di mana *shock absorber* diletakkan di dalam pegas yang memiliki elastisitas tertentu.



Sumber: dokumen penerbit

Cara kerja alat ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Ketika suspensi memperoleh beban atau hentakan dari luar, pegas akan memendek. Pegas memiliki gaya pemulih di mana gaya tersebut akan melawan arah gaya yang bekerja padanya sehingga pegas akan mengalami osilasi. Pemberian *shock absorber* dimaksudkan untuk meredam osilasi yang terjadi pada pegas sehingga osilasi yang terjadi hanya beberapa kali saja untuk selanjutnya pegas berhenti (berada dalam posisi setimbang).

Sistem suspensi banyak digunakan pada kendaraan bermesin. Ketika kendaraan melalui gundukan atau jalan yang tidak rata, sistem suspensi akan melindungi kendaraan dan penumpang dari hentakan-hentakan keras yang dapat mengganggu kenyaman penumpang dan keawetan komponen-komponen kendaraan.

Eksperimen

A. Tujuan

Mampu menjelaskan getaran pada benda.

B. Alat dan bahan

1. penggaris,
2. bandul (dari bahan apapun),
3. tali atau benang.

C. Langkah percobaan

1. Peganglah salah satu ujung penggaris dengan kuat (atau lakukan tindakan lain agar ujung penggaris ini tidak bergeser) sedemikian rupa sehingga penggaris berada dalam posisi horizontal.
2. Tariklah ujung yang lain ke bawah kemudian lepaskan. Perhatikan apa yang terjadi.
3. Gantungkan tali atau benang pada suatu tempat. Gantungkan bandul di ujung bebas tali.
4. Tariklah bandul kemudian lepaskan. Perhatikan apa yang terjadi.

D. Pertanyaan

1. Gambarkan peristiwa yang terjadi pada penggaris.
2. Gambarkan peristiwa yang terjadi pada bandul.
3. Pada kedua gambar yang telah Anda buat, tentukan titik dengan kecepatan maksimum dan kecepatan minimum.
4. Pada titik-titik yang telah Anda buat, tunjukkan yang dimaksud dengan $\frac{1}{4}$ getaran, $\frac{1}{2}$ getaran, dan 1 getaran.
5. Jelaskan definisi getaran melalui gambar yang telah Anda buat.

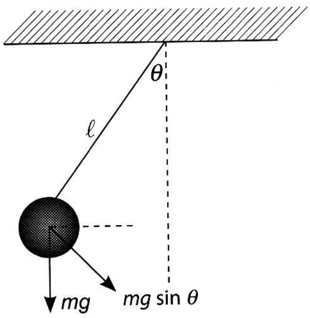
E. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan, buatlah kesimpulan lalu tuliskan hasilnya dan kumpulkan ke gurumu.

2. Ayunan Bandul

a. Frekuensi dan periode pada ayunan bandul

Gerak ayunan bandul termasuk gerak harmonik sederhana. Dengan satu-satunya gaya yang bekerja terhadap benda adalah gaya berat dari bandul itu sendiri akibat pengaruh gravitasi bumi, seperti yang terlihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Bandul disimpangkan pada sudut θ.

Ketika bandul kita tarik ke samping dengan sudut simpangan θ, besar gaya pemulih untuk mengembalikan bandul pada posisi setimbang adalah:

$$F = mg \sin \theta \qquad (1.13)$$

Kita asumsikan bahwa sudut simpangan cukup kecil, berarti nilai sudut θ mendekati nilai sinus θ. Kita tuliskan

$$\theta \cong \sin\ \theta = \frac{x}{\ell}$$

Sehingga besar gaya pemulih pada Persamaan (1.13) di atas dapat kita tulis menjadi

$$F = mg\frac{x}{\ell}$$

Jika kita bandingkan dengan persamaan gaya pemulih pada pegas $F = kx$, diperoleh

$$F = mg\frac{x}{\ell} = \frac{mg}{\ell}x = kx$$

Berarti, kita dapatkan

$$k = \frac{mg}{\ell}$$

Substitusi persamaan di atas ke persamaan $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, diperoleh

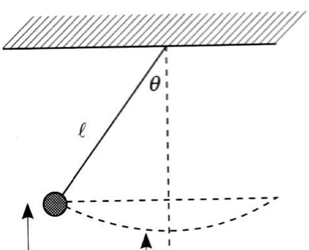
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{\ell}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (1.14)$$

dengan T = periode ayunan (s),
ℓ = panjang tali ayunan (m),
g = percepatan gravitasi (m/s^2).

Karena $f = \frac{1}{T}$, besar frekuensi ayunan menjadi

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad (1.15)$$

b. Kecepatan getar ayunan bandul



Gambar 1.4 Analisis kecepatan bandul.

Sekali lagi, kita analisis ayunan bandul dengan perspektif energi mekanik. Dalam kondisi ideal (yaitu tanpa ada gaya luar yang bekerja pada sistem, misalnya gesekan udara), energi mekanik hanyalah penjumlahan energi kinetik dan energi potensial sistem. Besarnya energi mekanik pada puncak ayunan (atau titik terjauh) adalah

$$E_m = E_k + E_p = 0 + mgh = mgh$$

Setelah bandul bergerak mencapai titik setimbangnya (yaitu pada dasar ayunan), besar energi mekanik bandul adalah

$$E_m' = E_k' + E_p' = \frac{1}{2}mv^2 + mgh'$$

Berdasarkan hukum kekekalan energi mekanik, berlaku

$$E_m = E_m'$$
$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + mgh'$$
$$2mg(h - h') = mv^2$$

Kita peroleh kecepatan ayunan bandul, yaitu

$$v = \sqrt{2g\Delta h}$$

dengan $\Delta h = h - h'$ (dalam satuan meter (m)). Perhatikan kembali Gambar 1.4, hubungan antara Δh dan ℓ secara matematis adalah

$$\Delta h = \ell(1 - \cos\theta)$$

Berarti, besar kecepatan maksimum yang dapat dicapai ayunan bandul pada saat melintasi titik setimbang adalah

$$v = \sqrt{2g\ell(1 - \cos\theta)} \qquad (1.16)$$

dengan v = kecepatan (m/s),
g = percepatan gravitasi (m/s^2),
ℓ = panjang tali ayunan (m).

Dari pembahasan di atas, terlihat dengan jelas bahwa periode, frekuensi, dan kecepatan bandul tidak bergantung pada massa bandul, tetapi dipengaruhi oleh panjang tali ayunan. Dalam pembahasan ini massa tali dapat diabaikan.

Contoh

1. Sebuah ayunan bandul dengan panjang tali 2 m diberi sudut simpangan 60° lalu dilepaskan. Hitunglah besar:
   a. periode ayunan,
   b. frekuensi ayunan, dan
   c. kecepatan gerak bandul maksimum.

   Jawab

   Diketahui : ℓ = 2 m, θ = 60°, g = 10 m/s^2

   Ditanyakan : **a.** periode T? **b.** frekuensi f? dan **c.** kecepatan v?

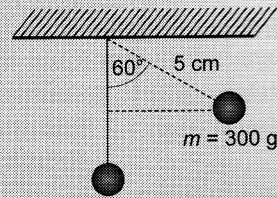
   Penyelesaian :

   a. Periode bandul:
   $$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 6{,}28 \times \sqrt{\frac{2}{10}} = 2{,}8 \text{ s}$$

   b. Frekuensi bandul:
   $$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}8} = 0{,}36 \text{ Hz}$$

   c. Kecepatan bandul maksimum:
   $$v = \sqrt{2g\ell(1 - \cos 60°)} = \sqrt{2 \times 10 \times 2\left(1 - \frac{1}{2}\right)} = 4{,}47 \text{ m/s}$$

2. Perhatikan gambar berikut.
Gambar tersebut menunjukkan ayunan bandul sederhana. Jika $g = 10$ m/s^2, hitung besar kecepatan maksimum bandul pada saat melintasi titik setimbang dan gaya yang memengaruhi ayunan pada posisi tersebut.



Jawab

Diketahui : $g = 10$ m/s^2, $m = 300$ g, $\ell = 5$ cm $= 5 \times 10^{-2}$ m, $\theta = 60°$

Ditanya : **a.** $v = ?$
b. $F = ?$

Penyelesaian :

a. $$v = \sqrt{2g\ell(1 - \cos\theta)}$$
$$= \sqrt{2 \times 10 \times 5 \times 10^{-2}\left(1 - \frac{1}{2}\right)}$$
$$= \sqrt{1\left(\frac{1}{2}\right)}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{1}{2}\sqrt{2} \text{ m/s}$$

b. $$F = mg \sin\theta$$
$$= 0{,}3 \times 10 \sin 60°$$
$$= 3 \times \frac{1}{2}\sqrt{3}$$
$$F = \frac{3}{2}\sqrt{3} \text{ N}$$

Uji Kemampuan Diri

1. Jelaskan alasan mengapa sudut θ pada bandul harus kecil? Bagaimana jika diinginkan sudut θ yang besar namun dengan perhitungan yang tetap sama, asumsi apa yang harus diambil?
2. Sebuah benda digantung pada sebuah tali sepanjang 1 m, kemudian disimpangkan dengan sudut 30°.
   a. Hitunglah besar periode ayunan, frekuensi ayunan, dan kecepatan gerak bandul maksimum.
   b. Hitunglah kecepatan bandul saat bandul membentuk sudut 15° terhadap vertikal. Petunjuk cos 15° = 0,96
3. Sebuah bandul massanya 200 gram diikat pada tali yang panjangnya 6 cm. Jika saat disimpangkan sejauh a cm ayunan membentuk sudut 30°, hitunglah besar gaya yang memengaruhi ayunan pada posisi tersebut.