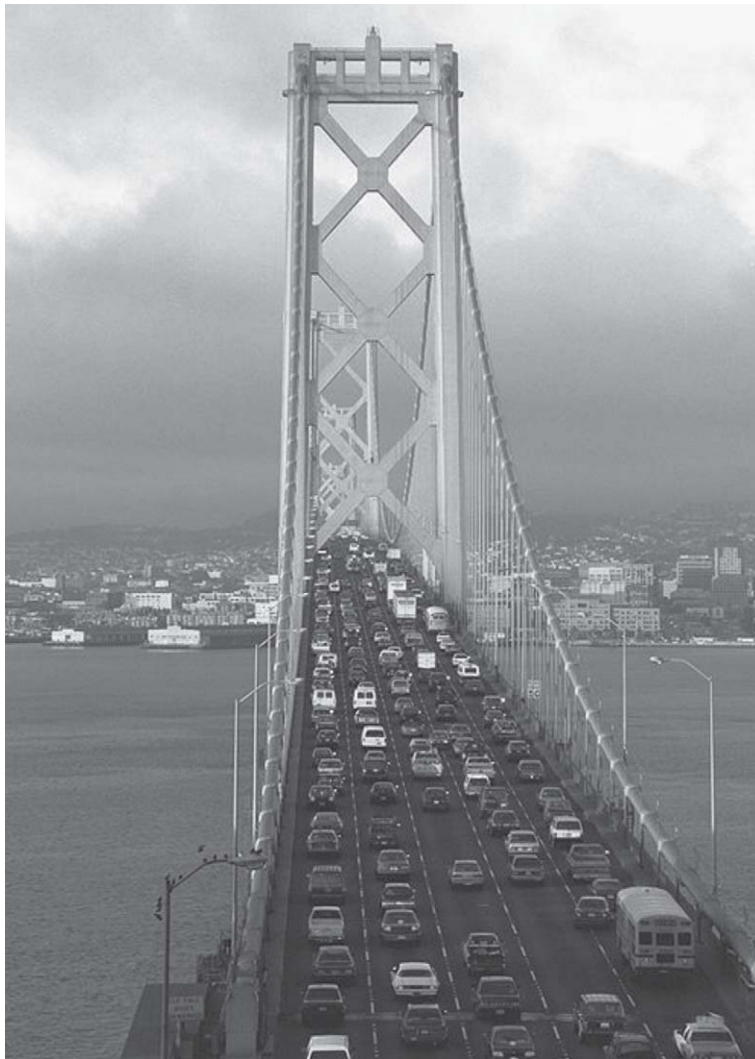


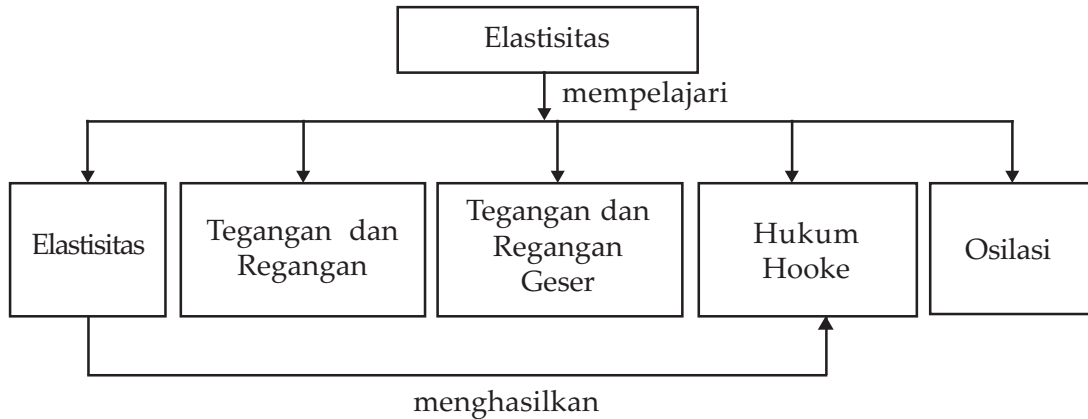
## Bab III Elastisitas



Sumber : [www.lib.ui.ac](http://www.lib.ui.ac)

*Baja yang digunakan dalam jembatan mempunyai elastisitas agar tidak patah apabila dilewati kendaraan. Agar tidak melebihi kemampuan elastisitas, harus ada pembatasan berat kendaraan yang melewatinya.*

# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu :

1. menganalisis gaya pegas yang dapat menimbulkan elastisitas, dan
2. menganalisis hubungan antara gaya, gerak, dan getaran serta mengenalinya pada gejala-gejala alam.



## Motivasi Belajar

Di alam semesta ini semua benda yang diberi gaya akan mengalami suatu perubahan. Apabila gaya hilang maka benda mungkin akan dapat kembali ke bentuk semula. Perubahan benda sangat dipengaruhi oleh elastisitas benda tersebut.

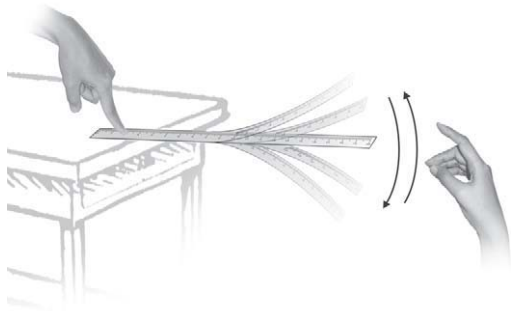
Banyak sekali kejadian di alam yang berkaitan dengan elastisitas. Kalian dapat melihat contoh-contoh elastisitas yang banyak terjadi pada kehidupan sehari-hari. Dengan adanya sifat elastisitas, maka dapat dijelaskan ada benda-benda yang tidak mudah patah dan benda yang mudah patah.



## Kata-kata Kunci

elastisitas, konstanta pegas, hukum Hooke, tegangan, regangan, modulus, osilasi, frekuensi, amplitudo, periode

### A. Elastisitas



**Gambar 3.1** Sebuah batang penggaris yang dijepit dan ujung yang lain diayunkan.

Pada bab ini kita akan mempelajari tentang elastisitas atau kemampuan benda untuk kembali ke bentuknya semula. Ambillah penggaris dari plastik, peganglah ujungnya kemudian ayunkan ke bawah dan lepaskan. Apa yang terjadi? Penggaris akan terayun ke bawah kemudian ke atas dan ke bawah lagi berulang-ulang. Penggaris selalu berusaha ke keadaan semula. Pernahkah kalian meloncat di atas *spring bed*? Apa yang terjadi? Bila kalian akan menekan *spring bed* ke bawah, kalian akan mendapat gaya yang membuat kalian

terpental ke atas. Ada gaya yang seolah menolak kalian. Gejala-gejala tadi menunjukkan elastisitas. Elastisitas sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Perhatikan gambar penggaris di atas, penggaris mampu melengkung tanpa patah karena penggaris memiliki elastisitas. Gaya yang kalian keluarkan cukup besar maka penggaris akan patah.

Jembatan dari baja akan melengkung jika terbebani atau terjadi perubahan panjang, dan akan kembali ke bentuk semula jika bebannya tidak ada. Namun jika beban kecil seringkali kita tidak melihat perubahan panjang atau kelengkungan jembatan. Mengapa pada jembatan bisa terjadi kelengkungan? Secara umum mengapa suatu materi bisa meregang? Suatu materi dapat kita anggap tersusun dari pegas-pegas. Jika kita menarik pegas maka akan terjadi regangan, jika kita menghilangkan tarikan pegas akan kembali seperti semula. Gaya yang dikerjakan oleh pegas serupa dengan gaya antaratom dalam molekul-molekul zat padat. Atom-atom tersebut dapat bergetar seperti gerakan massa yang terikat pada pegas.



### Life Skills : Kecakapan Vokasional

Carilah benda-benda di sekitarmu yang menunjukkan sifat elastisitas dan benda-benda yang tidak menampakkan sifat elastis. Adakah benda yang tidak elastis?

## B. Tegangan dan Regangan

Mari kita tinjau batang penghapus yang terbuat dari karet. Jika batang penghapus tadi kita tarik kedua ujungnya apakah yang terjadi? Batang penghapus akan memanjang. Jika tarikan kita dihentikan maka batang penghapus tadi kembali seperti semula. Benda seperti batang penghapus kita sebut benda elastis.

Benda padat yang dipengaruhi oleh gaya dari luar misalnya benda ditarik, digeser, atau ditekan maka bentuk benda akan berubah. Bila bentuk benda kembali seperti semula setelah gaya luarnya dihilangkan maka benda dikatakan elastik. Sebagian besar benda bersifat elastik sampai batas tertentu.

Bagaimana kalau benda diberi gaya melebihi batas elastisnya? Jika diberi gaya yang melebihi batas elastisnya maka benda tidak kembali ke bentuk semula, tetapi akan berubah bentuk secara permanen.

Lihatlah Gambar (3.2ab), sebuah batang tegar dipengaruhi oleh gaya tarikan sebesar  $F$  ke kanan di ujung kanan dan ke kiri di ujung kiri. Mari kita perhatikan bagian kecil dari batang yang panjangnya  $L$ . Bagian kecil batang ini dalam keadaan setimbang karena gaya di bagian kanan sama dengan gaya di

bagian kirinya. Gaya-gaya baik di bagian kiri maupun di bagian kanan didistribusikan secara merata pada luasan penampang  $A$ . Perbandingan gaya  $F$  terhadap luasan penampang  $A$  dinamakan *tegangan tarik*.  $F$  tegak lurus kuasa  $A$ .

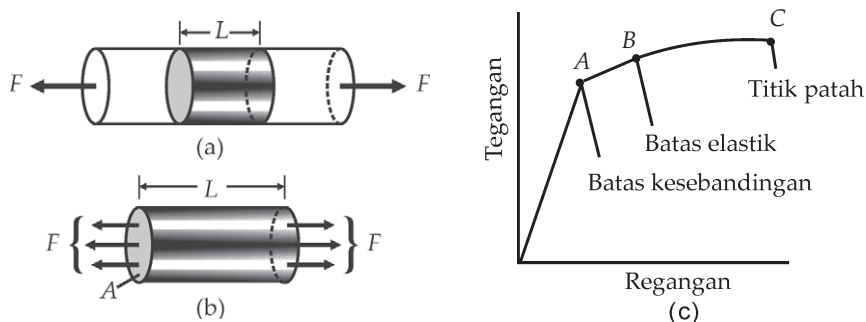
$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A} \quad \dots \quad (1)$$

Gaya-gaya yang bekerja pada batang berusaha membuat bahan meregang. Perubahan panjang per panjang dinamakan *regangan*.

Misalkan karena gaya  $F$  maka benda berubah panjangnya sebesar  $\Delta L$ .

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta L}{L}$$

Bagaimana hubungan antara regangan dan tegangan pada batang padat? Mari kita lihat grafik Gambar (2.c).



**Gambar 3.2** (a,b) Sebuah batang karet ditarik dengan gaya  $F$  akan menyebabkan terjadi perubahan panjang. (c) Grafik hubungan antara tegangan dan regangan. Tegangan dan regangan sebanding sampai titik A. Bila tegangan terus diberikan sampai titik B antara tegangan dan regangan tidak linear lagi dan akan patah di titik C.

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara regangan dengan tegangan. Grafik tersebut linear sampai titik A. Hasil regangan yang berubah secara linear terhadap tegangan dikenal sebagai hukum Hooke. Pada daerah ini bila gaya dilepas atau tegangan dihentikan maka batang akan kembali seperti semula. Apabila tegangan diperbesar maka antara regangan dan tegangan tidak linear lagi. Jika gaya diperbesar lagi atau tegangan diperbesar maka akan mencapai titik B, titik B adalah batas elastik bahan. Batang ditarik melampaui B maka batang tidak akan kembali ke panjang semula, tetapi berubah bentuk secara permanen. Seandainya gaya diperbesar lagi maka

batang akan mencapai titik C, batang akhirnya patah. Titik C dinamakan titik patah. Perbandingan tegangan terhadap regangan pada daerah grafik yang linear adalah konstan, besarnya konstanta dinamakan *Modulus Young* diberi simbol  $Y$  atau sering disebut modulus elastis.

$$Y = \frac{\text{tegangannya}}{\text{regangannya}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad \dots (2)$$

Satuan tegangan adalah satuan gaya per satuan luas atau  $N/m^2$ . Regangan tidak bersatuan. Sedangkan satuan Modulus Young adalah Newton per meter persegi atau  $N/m^2$ .



### Wawasan Kewirausahaan : Menumbuhkan Daya Saing

Kalian telah mempelajari teori tegangan dan regangan. Lakukan percobaan untuk menentukan nilai modulus young ( $Y$ ) dari suatu bahan (besi dan tembaga) di laboratorium. Buatlah laporan dari hasil percobaan tersebut. Konsultasikan dengan guru kalian.

## C. Tegangan dan Regangan Geser

Bagaimana jika gaya diberikan sejajar terhadap luas permukaan seperti gambar (3.3).

Gaya semacam itu dinamakan *gaya geser*. Perbandingan gaya geser terhadap luas  $A$  dinamakan *tegangan geser*.

$$\text{Tegangan geser} = \frac{F_s}{A} \quad \dots (3)$$

Tegangan geser akan mengubah bentuk benda seperti gambar (3.3). Perbandingan  $\frac{\Delta x}{L}$  dinamakan regangan geser

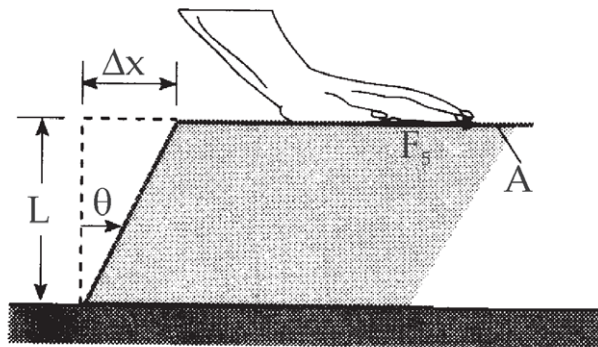
$$\text{Regangan geser} = \frac{\Delta x}{L} = \tan\theta \quad \dots (4)$$

Perbandingan antara tegangan geser terhadap regangan geser dinamakan modulus geser

$$M_s = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{regangan geser}}$$

$$M_s = \frac{F_s / A}{\Delta x / L} = \frac{F_s / A}{\tan\theta} \quad \dots (5)$$

Modulus ini hampir konstan untuk tegangan geser yang kecil, yang berarti regangan geser berubah secara linear untuk tegangan kecil. Dengan demikian hukum Hooke berlaku untuk tegangan geser. Modulus geser sering juga disebut sebagai modulus *torsi*.



**Gambar 3.3** Gaya sejajar dengan permukaan akan menyebabkan permukaan benda bergeser sehingga timbul tegangan geser. Gaya yang dikerahkan tangan menuju ke kanan.



### Keingintahuan : Rasa Ingin Tahu

Untuk mengamati tegangan dan regangan geser suatu benda dapat digunakan teknik holografi. Bersama temanmu coba kalian cari informasi tentang penggunaan holografi untuk mengamati pergeseran suatu benda. Kalian dapat memanfaatkan internet atau sumber-sumber lain.



## Contoh Soal 1

Sebuah batang besi jari-jari 9 mm dan panjangnya 80 cm. Batang ditarik oleh gaya sebesar  $6 \times 10^4$  N. (Tegangan patah besi  $4 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>)

- Berapakah tegangan tarik pada batang?
- Berapakah perubahan panjang batang? Apakah besi patah?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

Panjang besi =  $L = 80$  cm = 0,8m

Luas penampang besi =  $A = \pi r^2 = 3,14(9)^2$  m<sup>2</sup>

*Jawab :*

Tegangan tarik yang dialami besi:

$$\frac{F}{A} = \frac{6 \times 10^4 \text{ N}}{(3,14)(9 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2} = 2,3 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

Perubahan panjang besi

$$\Delta L = \frac{(F/A)L}{G} = \frac{(2,3 \times 10^8 \text{ N/m}^2) 0,8 \text{ m}}{2,0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2} = 9,2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Besi belum patah karena tegangan tarik besi masih di bawah tegangan patahnya.



## Contoh Soal 2

Tulang orang dewasa memiliki diameter minimum 2,8 cm. Berapa gaya maksimal yang boleh menekan tulang agar tidak patah?

**Penyelesaian :**

Tegangan patah tulang adalah  $270 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>.

Gaya yang menghasilkan tegangan tekan sebesar tegangan patah tulang adalah

$$\begin{aligned} F &= \text{Tegangan patah} \times \text{luas penampang} \\ F &= (270 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(\pi)(1,4 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \\ &= 1662 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$



Tabel (3.1). Sifat Elastis Berbagai Bahan

Bahan	Modulus Young ( $10^9 \text{ N/m}^2$ )	Kekuatan tarik ( $10^6 \text{ N/m}^2$ )	Kekuatan tekan ( $10^6 \text{ N/m}^2$ )
Aluminium	70	90	
Tulang			
Tarik	16	200	
Tekan	9		270
Kuningan	90	370	
Beton	23	2	17
Tembaga	110	230	
Timah hitam	16	12	
Baja	200	520	520

Sumber : Tipler



### Contoh Soal 3

Otot bisep memiliki luas penampang maksimum  $12 \text{ cm}^2$ . Berapakah tegangan otot saat mengangkat beban  $250 \text{ N}$ ?

**Penyelesaian :**

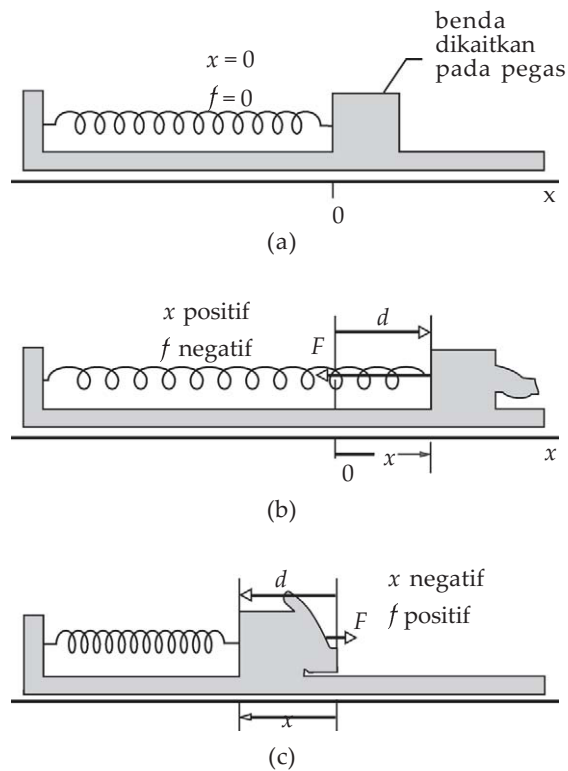
Besar tegangan tarik

$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A} = \frac{250 \text{ N}}{12 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Dari contoh 3 tersebut di atas dapat kita lihat, apabila luas penampang lebih besar maka otot dapat melakukan gaya yang lebih besar. Tegangan maksimum yang dapat diberikan untuk semua otot kurang lebih sama.

## D. Hukum Hooke

Pernahkah kalian melihat sebuah pegas? Gambar pegas ditunjukkan pada gambar berikut ini. Jika pada ujung pegas kita sambungkan dengan sebuah benda bermassa  $m$ , letak massa  $m$  tadi atau ujung pegas kita beri tanda sebagai  $x = 0$ , lalu benda kita tarik sehingga bergeser posisinya sejauh  $x$ . Apa yang terasa di tangan?



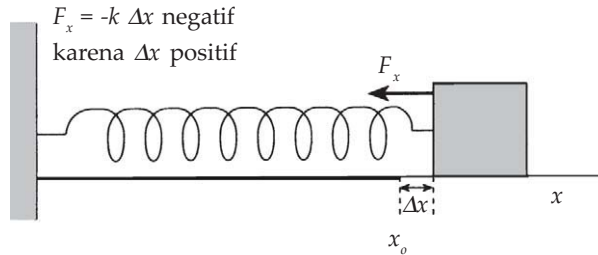
**Gambar 3.4** Gambar (a) pegas normal, (b) pegas teregang, (c) pegas tertekan.

Tangan akan merasakan adanya tarikan dari pegas. Bagaimana kalau pegas kita tekan, kita akan merasakan dorongan dari pegas pada tangan kita. Gaya semacam itu dinamakan gaya pemulih karena gaya itu cenderung memulihkan atau mengembalikan pegas ke keadaan awalnya. Besarnya gaya yang dilakukan oleh pegas adalah dinyatakan oleh hukum Hooke yaitu:

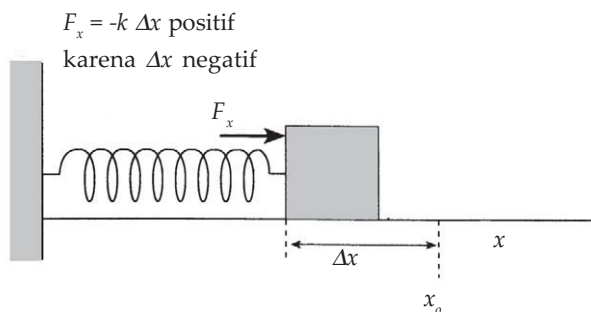
$$F_x = -k\Delta x = -k(x - x_0) \quad \dots (6)$$

Tanda negatif menunjukkan gaya pegas selalu menuju ke titik kesetimbangannya, dan  $k$  dinamakan konstanta gaya pegas, memiliki satuan gaya dibagi satuan panjang, N/m. Jika pegas diregangkan  $\Delta x$  positif maka gaya yang dikerahkan pegas negatif, bila ditekan  $\Delta x$  negatif, maka gaya yang dikerahkan pegas positif. Bila kita ambil  $x_0 = 0$  maka persamaan di atas menjadi:

$$F_x = -kx = -k(x) \quad \dots \quad (7)$$

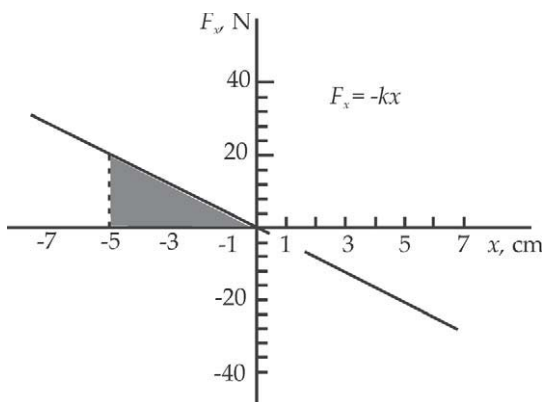


(a)



(b)

**Gambar 3.5** (a) Gambar pegas dan gayanya pegas akan meregang atau menyusut. (b) Pegas akan mengerahkan gaya agar kembali ke tempat semula.



Konstanta pegas menunjukkan perbandingan antara gaya dengan  $x$ . Selama gaya tidak melampaui titik patah maka besarnya gaya sebanding dengan perubahan panjang pegas. Semakin besar kita meregangkan pegas semakin besar pula gaya yang dikerahkan pegas. Semakin besar kita menekan pegas, semakin besar gaya yang dilakukan oleh pegas.

**Gambar 3.6** Menunjukkan grafik  $F$  dengan  $x$ . Besar konstanta pegas adalah kemiringan  $F$  dengan  $x$ . Besar  $F$  sebanding dengan besar  $x$ , atau sebanding dengan pergeserannya.



#### Contoh Soal 4

Sebuah pegas yang memiliki konstanta pegas 40 N/m ditekan sehingga pegas yang panjang 5 cm menjadi 2 cm. Berapa besar gaya pegas?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

$$k = 40 \text{ N/m}$$

$$x_1 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$x_2 = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\Delta x = 0,02 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = -0,03 \text{ m}$$

*Jawab :*

$$\text{Besarnya gaya pegas } F = -k\Delta x = (-40 \text{ N/m})(-0,03 \text{ m}) = 1,2 \text{ N}$$

Besarnya gaya yang dilakukan oleh pegas adalah 1,2 N. Gaya yang harus dikerahkan dari luar agar pegas tertekan sebesar 2 cm adalah sebesar 1,2 N arahnya berlawanan dengan gaya pegas.



#### Contoh Soal 5

Berapa gaya yang dikerahkan agar sebuah pegas dengan konstanta pegas 40 N/m yang panjang mula-mula 5 cm menjadi 7 cm?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

$$k = 40 \text{ N/m},$$

$$x_1 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m},$$

$$x_2 = 7 \text{ cm} = 0,07 \text{ m},$$

$$\Delta x = 0,07 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = 0,02 \text{ m}$$

*Jawab :*

$$\text{Besarnya gaya pegas } F = -k\Delta x = (-40 \text{ N/m})(0,02 \text{ m}) = -0,8 \text{ N}$$

Gaya yang harus dikerahkan agar pegas meregang besarnya sama dengan gaya pegas tetapi berlawanan arah. Besarnya gaya yang harus dikerahkan 0,8 N.



## Contoh Soal 6

Sebuah pegas panjang 5 cm. Bila pegas diregangkan oleh gaya sebesar 5 N panjangnya menjadi 7 cm, berapa gaya yang harus dikerahkan agar panjang pegas menjadi 10 cm?

Bila pegas tadi digantung kemudian di ujung yang bebas digantungkan benda bermassa 2 kg, berapakah panjang pegas sekarang?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

$$x_1 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m},$$

$$x_2 = 0,07 \text{ m},$$

$$x_3 = 0,1 \text{ m}, F = 5 \text{ N}$$

$$\Delta x_1 = x_2 - x_1 = 0,07 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = 0,02 \text{ m}$$

$$\Delta x_2 = x_3 - x_1 = 0,1 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

*Jawab :*

Besarnya gaya untuk mengubah panjang pegas sebesar 0,02 m adalah 5 N. Maka besarnya konstanta pegas adalah:

$$\begin{aligned} k &= \frac{F}{\Delta x} \\ &= \frac{5}{0,02} \\ &= 250 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Gaya yang dikerahkan pegas agar panjangnya menjadi 10 cm

$$F = -(250 \text{ N})(0,05 \text{ m}) = -12,5 \text{ N}$$

Maka gaya yang harus dikerahkan dari luar agar panjangnya menjadi 0,1 m adalah 12,5 N.

Pegas diberi beban 0,2 kg, maka pegas mendapat gaya sebesar berat beban

$$\begin{aligned} W &= mg \\ &= (0,2)(9,8) \\ &= 1,96 \text{ N}. \end{aligned}$$

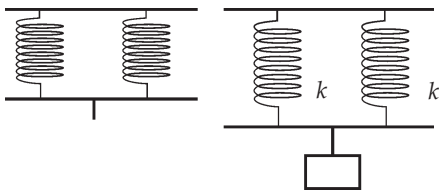
Perubahan panjang pegas

$$\begin{aligned}\Delta k &= \frac{F}{k} \\ &= \frac{19,6 \text{ N}}{250 \text{ N/m}} \\ &= 0,008 \text{ m,}\end{aligned}$$

maka panjang pegas sekarang adalah

$$\begin{aligned}x_1 + \Delta x &= 0,05 \text{ m} + 0,008 \text{ m} \\ &= 0,058 \text{ m} \\ &= 5,8 \text{ cm.}\end{aligned}$$

## 1. Pegas Disusun Paralel



**Gambar 3.7** Pegas disusun paralel mula-mula tanpa beban lalu diberi beban, pegas akan bertambah panjang. Masing-masing pegas memiliki konstanta pegas  $k$ . Agar sistem bertambah panjang sebesar  $x$  maka gaya yang dikerahkan adalah  $2F$  sehingga konstanta pegas yang baru adalah  $K = 2k$ .

Sebuah sistem pegas terdiri atas berbagai pegas yang disusun. Pegas dapat disusun secara seri atau paralel. Berapakah konstanta pegas dari sistem pegas yang terdiri atas 2 pegas disusun paralel jika masing-masing pegas memiliki konstanta pegas  $k$ ?

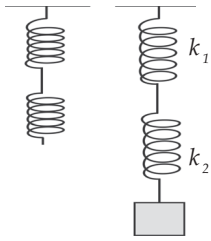
Jika hanya 1 pegas, maka gaya yang diperlukan agar pegas meregang sejauh  $x$  adalah  $F=kx$ . Jika pegas disusun paralel maka gaya yang diperlukan untuk menarik pegas agar meregang sejauh  $x$  yang sama menjadi 2 kali lipat, sehingga

$$\begin{aligned}F_t &= 2F \\ &= 2 kx = Kx\end{aligned}\quad \dots \quad (8)$$

Maka besarnya konstanta pegas yang baru adalah  $K$  adalah  $2k$ .

## 2. Pegas Disusun Seri

Bagaimana sekarang jika kita memiliki dua buah pegas yang memiliki konstanta pegas yang sama besar yaitu  $k$  lalu kita susun secara seri. Masing-masing pegas jika ditarik dengan gaya sebesar  $F$  akan meregang sebesar  $x$ . Sistem dua



**Gambar 3.8** Pegas disusun seri. Gaya  $F$  menarik pegas maka masing-masing pegas meregang sejauh  $x$  sehingga total jarak  $2x$ . Sehingga konstanta pegas yang baru  $K = k/2$

pegas ini ditarik dengan gaya yang sama yaitu  $F$  maka pertambahan panjang menjadi  $2x$ . Gaya  $F$  akan menarik pegas pertama sehingga bertambah panjang sebesar  $x$ , dan pegas pertama meneruskan gaya sehingga menarik pegas kedua dengan gaya  $F$  yang sama, sehingga total pertambahan panjang adalah  $2x$

$$F_t = F = K(2x)$$

$$K = \frac{F}{2x} = \frac{k}{2} \quad \dots \quad (9)$$



### Contoh Soal 7

Dua buah pegas disusun paralel. Masing-masing pegas memiliki konstanta pegas sebesar  $200 \text{ N/m}$ . Bila pegas digantungkan secara vertikal kemudian di ujungnya dibebani benda bermassa  $2 \text{ kg}$ . Berapa pertambahan panjang pegas? Bagaimana jika pegas disusun seri?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

$$k = 200 \text{ N/m},$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

*Jawab :*

Pegas dibebani massa  $2 \text{ kg}$ , maka pegas mendapat gaya sebesar berat massa

$$W = mg = (2)(9,8) = 19,6 \text{ N}.$$

Karena disusun paralel maka sistem dua pegas memiliki konstanta pegas yang baru sebesar :  $K = 2k = (2)(200) = 400 \text{ N/m}$

Perubahan panjang pegas adalah:

$$\Delta x = \frac{F}{k} = \frac{19,6 \text{ N}}{400 \text{ N/m}} = 0,05 \text{ m}$$

Bila pegas digantung secara seri maka besarnya konstanta pegas yang baru adalah  $k/2 = 100 \text{ N/m}$ . Perubahan panjang pegas adalah:

$$\Delta x = \frac{F}{k} = \frac{19,6 \text{ N}}{100 \text{ N/m}} = 0,196 \text{ m}$$



## Life Skills : Kecakapan Akademik

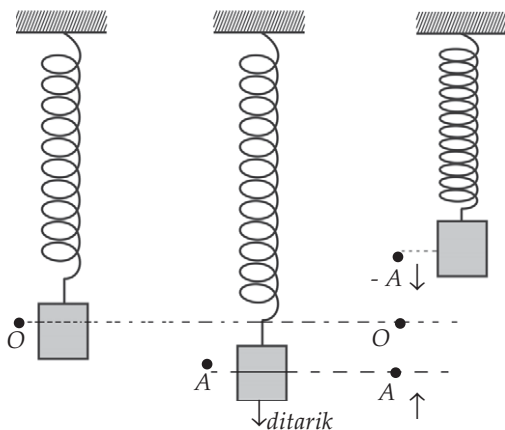
Dari contoh soal di atas kita telah mendapatkan jika pegas disusun paralel dan diberi beban sebesar 2 kg pertambahan panjang pegas adalah 0,05 m. Jika pegas di atas disusun seri berapa massa beban yang harus digantungkan jika kita ingin pertambahannya panjangnya sama dengan saat disusun paralel ?

### E. Osilasi

Kalau benda bermassa di ujung pegas kita tarik sejauh  $A$  lalu kita lepas apa yang terjadi? Benda tadi akan ditarik gaya pegas melewati  $x = 0$  lalu menuju ke  $A$  negatif, benda akan berbalik arah di  $x = -A$  dan kembali melewati  $x = 0$  lalu ke  $x = A$  dan berbalik arah. Bila dasar yang digunakan untuk meletakkan pegas dan massa adalah permukaan yang licin, maka massa akan bergerak bolak-balik tanpa berhenti atau dapat dikatakan benda berosilasi. Jarak sejauh  $A$  disebut sebagai amplitudo atau simpangan maksimum benda, titik  $x = 0$  disebut titik kesetimbangan, arah gerakan selalu melewati titik kesetimbangan.

Waktu yang digunakan massa untuk melakukan satu osilasi disebut *periode* diberi simbol  $T$ . Banyaknya osilasi tiap detik diberi nama frekuensi dengan simbol  $f$ . Hubungan antara periode dan frekuensi adalah:

$$f = \frac{1}{T} \quad \dots (10)$$



Gambar 3.9 Satu osilasi adalah gerak dari AOB OA, arah percepatan berlawanan dengan arah gerak

Dengan demikian,  $f$  adalah frekuensi osilasi. Satu kali osilasi adalah gerakan dari titik awal melewati titik kesetimbangan ke simpangan maksimum di ujung lain dan kembali ke titik awal dengan melewati titik kesetimbangan.

Sekarang kita akan meninjau gaya yang bekerja pada benda bergerak karena dipengaruhi oleh gaya pegas, bagaimana percepatan dan kecepatannya? Bukankah menurut hukum Newton gaya akan menyebabkan benda mengalami percepatan? Kita bisa



menuliskan gaya yang bekerja pada massa yang terikat pada pegas sebagai berikut:

$$F = ma$$

$$F = -kx = ma$$

$$a = -\frac{kx}{m} \quad \dots \quad (11)$$

Percepatan yang dialami benda berubah-ubah menurut posisinya. Kalian bisa melihatnya dari persamaan (11),  $a$  bergantung pada  $x$ . Percepatannya berbanding lurus dengan simpangan dan arahnya berlawanan dengan simpangannya. Kalian lihat tanda pada persamaan (11) adalah minus, bukan? Ini adalah sifat umum *gerak harmonik sederhana*.

Percepatan adalah turunan kedua posisi maka kita dapat menuliskan persamaan (11) menjadi

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{kx}{m} \quad \dots \quad (12)$$

Simpangan setiap saat atau posisi massa setiap saat yaitu  $x$  dapat dituliskan sebagai fungsi berikut

$$x = A \cos(\omega t + \delta) \quad \dots \quad (13)$$

Cobalah masukkan fungsi persamaan (13) ke persamaan (12), anda akan membuktikan bahwa persamaan (13) merupakan penyelesaian persamaan (12). Persamaan (12) disebut juga persamaan diferensial.

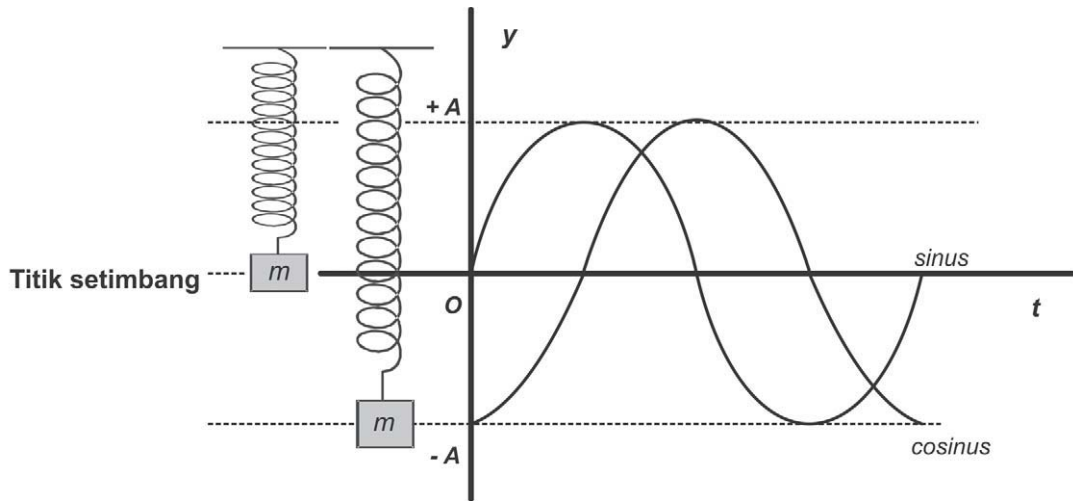
Fungsi tersebut merupakan penyelesaian persamaan (12). Grafik posisi, kecepatan dan percepatan massa di ujung pegas dapat dilihat pada Gambar (3.10), dengan  $\omega$  adalah frekuensi sudut  $= 2\pi f$ , dan  $\delta$  adalah konstanta fase,  $A$  adalah amplitudo atau simpangan maksimum. Nilai  $\omega$  adalah:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots \quad (14)$$

Kaitan antara frekuensi dan frekuensi sudut adalah:

$$\omega = 2\pi f \quad \dots \quad (15)$$

Fungsi dapat berupa fungsi cosinus atau sinus tergantung pada di mana massa saat  $t = 0$ . Perhatikan gambar di bawah ini!



**Gambar 3.10** Pegas pada keadaan diam diberi gaya sesaat sehingga tertekan sejauh  $x$  cm. Maka saat mula-mula simpangan pegas adalah 0, maka kita menggunakan fungsi Sinus. Jika keadaan awal pegas kita tekan, kemudian kita lepaskan maka pada keadaan awal simpangannya  $x$  cm, maka kita gunakan fungsi cosinus.

Bila mula-mula atau saat  $t = 0$  massa kita simpangkan sejauh  $x$ , maka fungsinya adalah fungsi cosinus. Ingatlah nilai  $\cos 0$  adalah 1, sehingga simpangannya saat itu sebesar amplitudonya  $A$ . Bila saat mula-mula kita pukul massa dengan gaya sesaat maka kita gunakan fungsi sinus. Ingatlah nilai  $\sin 0$  adalah 0, atau berarti saat  $t = 0$  simpangannya di  $x = 0$ .

Fungsi cosinus dapat juga dinyatakan sebagai fungsi sinus dengan mengingat fungsi  $\cos$  dan  $\sin$  memiliki beda fase  $90^\circ$ .

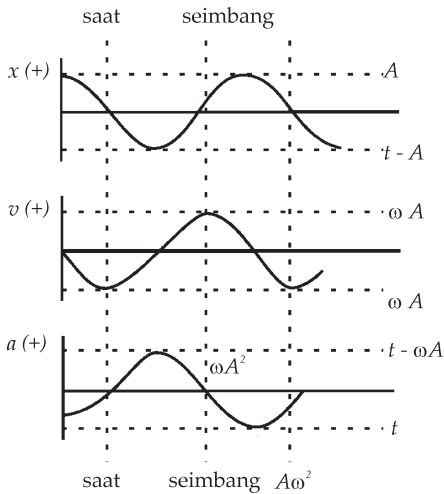
$$X = A \cos \omega t = A \sin (\omega t + 90)$$

Kecepatan partikel setiap saat dapat diperoleh dengan melakukan diferensiasi persamaan (11)

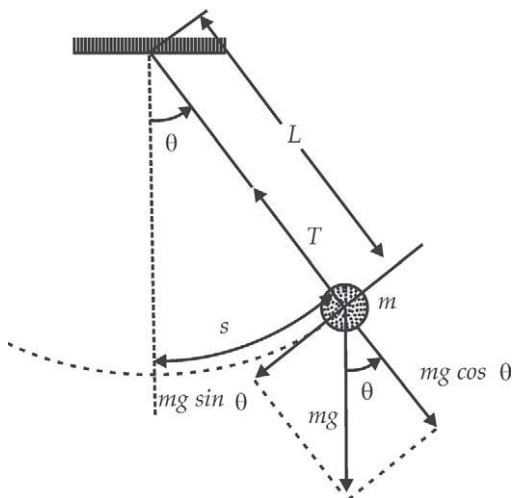
$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d(A \cos (\omega t + \delta))}{dt} = -\omega A \sin (\omega t + \delta)$$

Percepatan partikel setiap saat dapat diperoleh dengan melakukan diferensiasi kecepatan terhadap waktu

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(-\omega A \sin (\omega t + \delta))}{dt} = -A\omega^2 \cos (\omega t + \delta)$$



**Gambar 3.11** Grafik posisi, kecepatan, dan percepatan suatu osilasi



**Gambar 3.12** Bandul yang disimpangkan dengan sudut kecil kemudian dilepas.



Sumber : Penerbit.

**Gambar 3.13** Salah satu contoh gerak osilasi yang sering digunakan sehari-hari adalah gerak ayunan, meskipun ayunan ini lebih rumit dibandingkan ayunan bandul

Percepatan memiliki nilai maksimum sebesar  $A\omega^2$  dan kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah  $A\omega$ . Kecepatan maksimum tercapai pada saat benda berada pada posisi kesetimbangan atau  $x = 0$ , kecepatan minimum terjadi pada simpangan maksimum. Besar percepatan maksimum tercapai pada simpangan maksimum, dan percepatan minimum terjadi pada posisi kesetimbangan.

Sistem massa dan pegas hanyalah salah satu contoh dari gerak harmonik sederhana. Contoh gerak osilasi yang lain adalah bandul yang diayunkan dengan simpangan kecil, perhatikan gerakan bandul dia akan bolak-balik melewati titik tertentu yang tepat berada di bawah titik gantungnya.

Amplitudo osilasi adalah jarak tegak lurus dari titik kesetimbangan. Komponen gaya gravitasi ke arah tangensial partikel menyebabkan terjadi osilasi. Gaya ini selalu menuju ke titik setimbang.

Persamaan pada sistem bandul:

$$F = -mg \sin \theta \quad \dots \quad (16)$$

Bila sudut  $\theta$  kecil,  $\sin \theta \approx \theta \approx s/l$  sehingga persamaan (16) menjadi:

$$F = -mg \frac{s}{L} \quad a = -g \frac{s}{L}$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{g}{L}s \quad \dots \quad (17)$$

Bandingkan persamaan (17) dengan persamaan (12). Serupa bukan, dengan  $x$  menjadi  $s$ , dan  $\frac{k}{m}$  menjadi  $\frac{g}{L}$

maka persamaan (17) memiliki penyelesaian seperti persamaan (12) yaitu persamaan (13).

Persamaan (17) memiliki penyelesaian Persamaan (13) dengan:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$



### Contoh Soal 8

Sebuah pegas memiliki konstanta pegas 200 N/m diletakkan mendatar pada permukaan yang licin. Pada ujung pegas diberi massa 4 kg. Pegas diregangkan 5 cm kemudian dilepas. (a) Bagaimanakah posisi massa setiap saat? (b) Berapa frekuensi osilasi pegas? Berapa frekuensi sudut osilasi pegas? (c) Berapa amplitudo osilasi? (d) Selama 3 detik berapa osilasi yang telah dikerjakan massa?

**Penyelesaian :**

*Diketahui :*

$$k = 200 \text{ N/m,}$$

$$m = 4 \text{ kg}$$

$$\Delta x = 5 \text{ cm.}$$

*Jawab :*

- a. Dari informasi di atas maka kita bisa mengetahui amplitudo osilasi adalah 5 cm

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{200}{4}} = 7,1 \text{ rad/det}$$

Frekuensi sudut osilasi adalah 7,1 rad/detik. Hati-hati dengan satuan. Satuan sudut tidak dalam derajat tetapi dalam radian.

- b. Frekuensi osilasi pegas  $f = \frac{\omega}{2\pi} = (7,1/2\pi) = 1,1 \text{ Hz}$
- c. Keadaan awal pegas adalah diregangkan, maka fungsi posisi adalah fungsi cosinus. Posisi pegas setiap saat adalah  $x = 0,05 \cos(7,1) \text{ m}$
- d. Periode osilasi adalah  $T = \frac{1}{f} = 0,9 \text{ detik}$  maka selama 3 detik massa melakukan osilasi sebanyak  $3/0,9 = 3,3$  osilasi.



## Ringkasan

### 1. Tegangan tarik

Suatu benda yang ditarik atau ditekan akan mengalami perubahan panjang. Tegangan tarik adalah perbandingan antara gaya digunakan untuk menarik terhadap luas penampang.

$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A}$$

Bila gaya yang bekerja berupa gaya tekan maka tegangan yang terjadi disebut tegangan tekan.

Regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang benda dengan panjang mula-mula

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta L}{L}$$

Tegangan pada saat benda patah disebut tegangan patah.

Perbandingan tegangan terhadap regangan pada daerah grafik yang linear adalah konstan, besarnya konstanta dinamakan *modulus Young* diberi simbol  $Y$ .

$$Y = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

### 2. Tegangan geser

Bila gaya yang diberikan searah dengan arah luasan maka gaya tersebut disebut geser.

Perbandingan gaya geser terhadap luas  $A$  dinamakan *tegangan geser*.

$$\text{Tegangan geser} = \frac{F_s}{A}$$

$$\text{Regangan geser} = \frac{\Delta x}{L} = \tan\theta$$

Perbandingan antara tegangan geser terhadap regangan geser dinamakan modulus geser.

$$M_s = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{regangan geser}} = \frac{F_s/A}{\tan\theta}$$

### 3. Hukum Hooke

Sebuah pegas akan mengerahkan gaya yang berlawanan arah dengan perubahan yang berikan pada pegas.

$$F_x = -k\Delta x = -k(x - x_0)$$

$k$  adalah konstanta pegas, yang memiliki satuan N/m.

Dua buah pegas yang masing-masing memiliki kostanta pegas  $k$ , disusun secara seri sama dengan sebuah pegas dengan kostanta pegas sebesar  $k/2$ .

Dua buah pegas yang masing-masing memiliki konstanta pegas  $k$ , disusun paralel sama dengan sebuah pegas dengan konstanta pegas sebesar  $2k$ .

### 4. Osilasi

Osilasi adalah gerak bolak-balik dari suatu titik sampai kembali ke titik tersebut berulang-ulang.

Amplitudo adalah simpangan maksimum osilasi.

Frekuensi adalah banyaknya osilasi yang terjadi tiap satuan waktu, satuan frekuensi getaran/det atau Hertz.

Periode adalah waktu yang diperlukan oleh satu kali osilasi. Satuan periode adalah detik.

Fungsi posisi sebagai fungsi waktu berbentuk fungsi sinusoidal

$$x = A \cos (\omega t + \delta) \text{ atau}$$

$$x = A \sin (\omega t + \delta)$$

Kaitan antara frekuensi dan periode

$$\text{adalah } f = \frac{1}{T}$$

Osilasi yang terjadi pada sebuah pegas yang memiliki konstanta pegas  $k$  dan dihubungkan dengan massa  $m$  memiliki kecepatan sudut sebesar

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

Kecepatan maksimum massa akan dicapai pada titik kesetimbangan. Pada simpangan maksimumnya kecepatannya nol. Percepatan massa selalu mengarah pada titik kesetimbangan. Percepatan maksimum terjadi pada simpangan maksimum.

Osilasi yang terjadi pada sebuah bandul bermassa  $m$  yang digantungkan pada tali yang panjangnya  $l$  memiliki frekuensi sudut sebesar

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Dengan  $g$  adalah percepatan gravitasi di tempat itu.



## Uji Kompetensi

**Kerjakan di buku tugas kalian!**

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!**
- Sebuah pegas dengan panjang mula-mula 10 cm kemudian diberi beban ternyata panjangnya menjadi 12 cm. Besarnya regangan pegas adalah ....
    - 0,2
    - 0,2 cm
    - 0,2 N
    - 1,2 cm
    - 2 cm

2. Kawat tembaga memiliki luas penampang  $2 \text{ mm}^2$ .  
 $Y = 12 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ . Kawat tersebut diregangkan oleh gaya  $16 \times 10^6 \text{ dyne}$ . Jika panjang mula-mula  $30 \text{ cm}$ , maka pertambahan panjang kawat adalah ....
- $2 \times 10^{-4} \text{ cm}$
  - $2 \times 10^{-3} \text{ cm}$
  - $2 \times 10^{-2} \text{ cm}$
  - $2 \times 10^{-1} \text{ cm}$
  - $2 \text{ cm}$
3. Dua buah kawat  $x$  dan  $Y$  panjang masing-masing  $2 \text{ m}$  dan  $1 \text{ m}$ . Kedua kawat ditarik dengan gaya yang sama sehingga terjadi penambahan panjang masing-masing  $1 \text{ mm}$  dan  $0,5 \text{ mm}$ . Jika diameter kawat  $y$  sama dengan 2 kali diameter kawat  $x$ , maka perbandingan modulus Young kawat  $y$  terhadap kawat  $x$  adalah ....
- 1:1
  - 1:2
  - 2:1
  - 1:4
  - 4:1
4. Sebuah pegas digantungi beban bermassa  $m$ . Jika  $x$  adalah pertambahan panjang pegas, maka periode benda jika dibiarkan bergerak adalah ....
- $2\pi \sqrt{\frac{mx}{g}}$
  - $\pi \sqrt{\frac{mx}{g}}$
  - $2\pi \sqrt{\frac{x}{g}}$
  - $\frac{1}{x} \sqrt{mg}$
  - $\pi m \sqrt{\frac{g}{x}}$

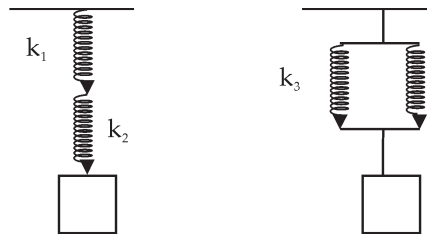
5. Sebuah benda melakukan getaran harmonis dengan amplitudo  $A$ . Pada saat kecepatannya sama dengan setengah kecepatan maksimum maka simpangannya ....
  - A. Nol
  - B.  $0,5 A$
  - C.  $0,64 A$
  - D.  $0,87 A$
  - E.  $A$
  
6. Seorang anak berayun dengan tali yang panjangnya  $2,5$  m dan  $g=10$  m/det<sup>2</sup>. Besar frekuensi ayunan adalah ....
  - A.  $1/\pi$
  - B.  $\pi/2$  Hz
  - C.  $\pi$  Hz
  - D.  $1/\pi$  Hz
  - E.  $3,8$  Hz
  
7. Periode ayunan sederhana dengan panjang tali  $l$  adalah  $T$  detik. Apabila kita ingin memperoleh perioda dua kali semula, maka panjang tali yang digunakan menjadi ... kali.
 

A. 2	D. 12
B. 4	E. 16
C. 8	
  
8. Dalam getaran harmonis, kecepatan getaran adalah ....
  - A. selalu sebanding dengan simpangannya
  - B. tidak tergantung pada simpangannya
  - C. berbanding lurus dengan sudut fasenya
  - D. berbanding terbalik dengan kuadrat frekuensinya
  - E. tidak bergantung pada amplitudo
  
9. Sebuah getaran harmonis mempunyai persamaan simpangan :  $Y= 20 \sin 10 \pi t$ . ,  $Y$  dalam cm. Besar amplitudo dan frekuensinya adalah ....
  - A.  $20$  cm dan  $10$  Hz
  - B.  $20$  cm dan  $20$  Hz
  - C.  $20$  cm dan  $5$  Hz
  - D.  $5$  cm dan  $5$  Hz
  - E.  $10$  cm dan  $10$  Hz



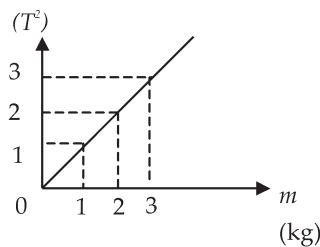
10. Kecepatan sebuah benda bergetar harmonis adalah ....
- A. tetap
  - B. terbesar pada simpangan terbesar
  - C. terbesar pada simpangan terkecil
  - D. tidak tergantung pada frekuensi
  - E. tidak tergantung pada simpangan
11. Sebuah partikel bergerak harmonik dengan periode 6 detik dan amplitudo 10 cm. Kelajuan partikel pada saat berada 5 cm dari titik setimbangnya adalah ....
- A. 7,09 cm/det
  - B. 8,51 cm/det
  - C. 10,07 cm/det
  - D. 11,07 cm/det
  - E. 19,12 cm/det
12. Sebuah pegas yang panjangnya 20 cm digantungkan vertikal. Kemudian ujung bawahnya diberi beban 200 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik 5 cm ke bawah kemudian dilepas hingga beban bergetar harmonik. Jika  $g=10 \text{ m/det}^2$ , maka frekuensi getaran adalah ....
- A. 0,5 Hz
  - B. 1,6 Hz
  - C. 5,0 Hz
  - D. 18,8 Hz
  - E. 62,8 Hz
13. Suatu getaran harmonis dinyatakan dalam persamaan  $y= 10 \sin 5t$  dimana  $y$  adalah simpangan dalam satuan cm dan  $t$  dalam detik. Kecepatan maksimum getaran harmonik tersebut adalah ....
- A. 0,5 cm/det
  - B. 2 cm/det
  - C. 10 cm/det
  - D. 20 cm/det
  - E. 50 cm/det

14. Pegas disusun seri dan paralel disusun seperti pada gambar di bawah ini



Ujung pegas digantungi beban yang sama besar. Bila konstanta pegas  $k_1 = k_2 = k_3 = k_4$ , maka perbandingan periode susunan seri dan paralel adalah ....

- A. 5:4  
 B. 2:1  
 C. 3:2  
 D. 1:2  
 E. 2:3
15. Seorang anak massanya 50 kg, bergantung pada ujung sebuah pegas, ternyata pegas bertambah panjang 10 cm. Dengan demikian tetapan pegas bernilai ....
- A. 5 N/m  
 B. 20 N/m  
 C. 50 N/m  
 D. 500 N/m  
 E. 5000 N/m
16. Grafik di bawah ini menyatakan hubungan  $T^2$  terhadap  $m$  dari suatu percobaan getaran pegas  $A$ .  $T$  adalah periode getaran,  $m$  adalah massa beban. Jika dua pegas  $A$  disusun paralel, maka konstanta pegas gabungan adalah ....

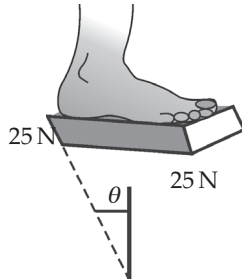


- A.  $4 \text{ Nm}^{-1}$ .  
 B.  $8 \pi^2 \text{ Nm}^{-1}$   
 C.  $8 \text{ Nm}^{-1}$  .  
 D.  $8 \pi^2 \text{ Nm}^{-1}$  .  
 E.  $20 \text{ Nm}^{-1}$  .

**B. Kerjakan soal di bawah ini!**

1. Sebuah bola bermassa 25 kg digantungkan pada sebuah kawat baja yang panjangnya 5 m dan jari-jarinya 2 mm. Berapakah pertambahan panjang kawat?

2.



Apabila kaki seorang pelari menyentuh tanah, gaya geser yang bekerja pada tanah setebal 8 mm adalah seperti pada gambar di samping. Jika gaya 25 N didistribusikan pada luas  $15 \text{ cm}^2$ , carilah sudut geser  $\theta$  bila modulus geser tanah  $1,9 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ .

3. Sebuah benda bermassa 2 kg dihubungkan pada suatu pegas horisontal dengan konstanta pegas  $k = 5 \text{ kN/m}$ . Pegas diregangkan dari titik kesetimbangan dan dilepas. Carilah:
- frekuensi osilasi
  - periode
  - amplitudo
  - kecepatan maksimum
  - percepatan maksimum
  - kapan benda pertama kali mencapai posisi kesetimbangan?
4. Sebuah benda bermassa 4 kg dihubungkan pada suatu pegas horisontal. Pegas tersebut disimpangkan dengan amplitudo 10 cm dan berosilasi dengan frekuensi 2 Hz.
- Berapakah konstanta pegas?
  - Berapakah periode gerak ?
  - Berapakah kecepatan maksimum benda?
  - Berapakah percepatan maksimumnya?

5. Sebuah benda berosilasi dengan amplitudo 6 cm pada pegas horisontal yang memiliki konstanta pegas 2 kN/m. Laju maksimumnya 2,2 m/detik. Carilah:
- massa benda
  - frekuensi
  - periode gerak



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, diharapkan kalian mampu memahami tentang :

- elastisitas,
- tegangan dan regangan,
- tegangan dan regangan geser,
- hukum Hooke, dan
- osilasi.

Apabila kalian belum memahami isi materi pada bab ini, pelajari kembali sebelum melanjutkan ke bab berikutnya.