

# Bab 1

## Dinamika Gerak Lurus, Melingkar, dan Parabola

### Standar Kompetensi

Mendeskripsikan gejala alam dan keteraturannya dalam cakupan mekanika benda titik.

### Kompetensi Dasar

Menganalisis gerak lurus, gerak melingkar dan gerak parabola dengan menggunakan vector.

### Uraian Materi Pokok

- Gesekan
- Hukum Gravitasi Newton
- Gaya Pegas

### Pengalaman Belajar

- Membedakan koefisien gesek statis dan kinetis
- Merumuskan gaya gravitasi antar partikel
- Menemukan pengaruh gaya pada benda elastis

### Indikator

- Menganalisa gerak benda di bawah pengaruh gesekan .
- Menerapkan hukum-hukum Newton tentang gravitasi
- Menganalisis gerak di bawah pengaruh gaya gesekan



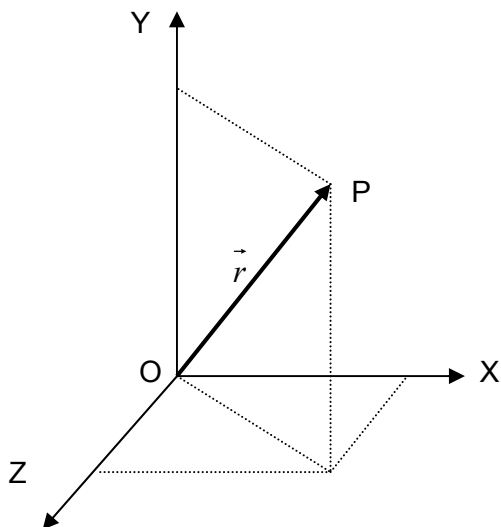
### Pendalaman Materi

### **KINEMATIKA GERAK TRANSLASI**

#### **A. Persamaan Posisi suatu benda**

##### **1. Vektor Posisi dan Vektor Satuan**

Posisi suatu titik pada suatu bidang atau ruang dapat dinyatakan dengan vektor posisi. Vektor posisi suatu tempat dapat dinyatakan dengan vektor satuannya. Vektor satuan adalah vektor yang panjang atau besarnya satu dan tidak memiliki satuan. Arah vektor satuan ke sumbu x diberi lambang  $i$ , ke sumbu y diberi lambang  $j$  dan ke sumbu z diberi lambang  $k$ . Perhatikan ilustrasi berikut :



Jika sebuah titik P terletak pada sebuah bidang memiliki koordinat P(x,y), maka vektor posisi P terhadap pusat koordinat O didefinisikan sebagai vektor OA ( $\vec{OA}$ ) yang ditulis :

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

Panjang atau besarnya vektor OA adalah :

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

## 2. Vektor Perpindahan

Jika sebuah benda berpindah dari titik A yang memiliki koordinat  $(x_1, y_1, z_1)$  ke titik B yang berkoodinat  $B(x_2, y_2, z_2)$ , maka vektor perpindahannya adalah :

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

$$\Delta\mathbf{r} = (x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}) - (x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k})$$

$$\Delta\mathbf{r} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$$

atau

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$$

Besarnya perpindahan benda tersebut adalah :

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

atau

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

### Contoh Soal

Sebuah titik materi bergerak dari titik A(1,0,1) ke titik B(5,4,3) dalam ruang XYZ. Tentukan :

- vektor posisi titik A
- vektor posisi titik B
- vektor perpindahan
- besarnya perpindahan

Penyelesaian :

a.  $\mathbf{r}_A = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$

$$\mathbf{r}_A = 1\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 1\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_A = 1\mathbf{i} + 1\mathbf{k}$$

b.  $\mathbf{r}_B = 5\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 3\mathbf{k}$

c.  $\Delta\mathbf{r} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$

$$\Delta\mathbf{r} = (5 - 1)\mathbf{i} + (4 - 0)\mathbf{j} + (3 - 1)\mathbf{k}$$

$$\Delta\mathbf{r} = 4\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$$

d.  $|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{4^2 + 4^2 + 2^2}$

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{36} = 6 \text{ satuan}$$

## B. PERSAMAAN KECEPATAN

Kecepatan merupakan besaran vektor yang diturunkan dari persamaan posisi.

### 1. Kecepatan rata-rata

Kecepatan rata-rata sebuah benda adalah perpindahan benda dalam selang waktu tertentu.

$$\mathbf{v}_r = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}}{\Delta t}$$

atau

$$\mathbf{v}_r = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}$$

- $v_r$  = kecepatan rata-rata (m/s)
- $r_1$  = posisi awal benda (mula-mula)
- $r_2$  = posisi akhir benda
- $t_1$  = waktu saat di  $r_1$
- $t_2$  = waktu saat di  $r_2$
- $\Delta t$  = selang waktu
- $v_x$  = komponen kecepatan pada sumbu x
- $v_y$  = komponen kecepatan pada sumbu y
- $v_z$  = komponen kecepatan pada sumbu z

Besarnya kecepatan rata-rata adalah :

$$|v_r| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

$|v_r|$  = besarnya kecepatan rata-rata

## 2. Kecepatan Sesaat

Kecepatan sesaat ( $v_s$ ) adalah nilai kecepatan rata-rata untuk selang waktu mendekati nol. Secara matematis ditulis :

$$v_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

atau

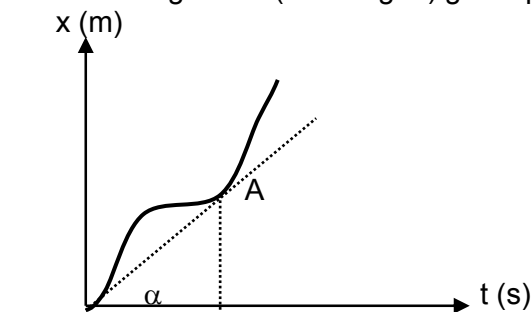
$$v_s = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \text{ untuk } \Delta t \text{ sangat kecil}$$

Kecepatan sesaat dapat dicari melalui dua cara, yaitu :

- a. diturunkan dari fungsi posisi

$$v_s = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k$$

- b. mencari gradien (kemiringan) grafik perpindahan terhadap waktu (x-t)



Kecepatan sesaat di titik A adalah :

$$v_s = \text{tg } \alpha$$

### Contoh Soal

Posisi sebuah benda dinyatakan dalam vektor posisi  $r = (t+1)i + (\frac{1}{8}t^2 + 1)j$ . Jika r dalam satuan meter dan t

dalam satuan sekon, tentukan :

- a. vektor posisi benda setelah 2 sekon
- b. posisi benda setelah 2 s
- c. vektor kecepatan rata-rata selama selang waktu  $t = 2$  s sampai  $t = 4$  s
- d. besarnya kecepatan rata-rata
- e. vektor kecepatan sesaat pada saat  $t = 2$  s
- f. besarnya kecepatan sesaat pada  $t = 2$  s

Penyelesaian :

a.  $r = (t+1) i + (\frac{1}{8} t^2 + 1) j$

$$r = (2+1) i + (\frac{1}{8} 2^2 + 1) j$$

$$r = (3) i + (1,5) j$$

b.  $|r| = \sqrt{3^2 + (1,5)^2} = \sqrt{9 + 2,25} = \sqrt{11,25}$

$$|r| = 3,35 \text{ m}$$

c. saat  $t = 2 \text{ s}$

$$r_1 = (t+1) i + (\frac{1}{8} t^2 + 1) j$$

$$r_1 = (2+1) i + (\frac{1}{8} 2^2 + 1) j$$

$$r_1 = (3) i + (1,5) j$$

saat  $t = 4 \text{ s}$

$$r_2 = (t+1) i + (\frac{1}{8} t^2 + 1) j$$

$$r_2 = (4+1) i + (\frac{1}{8} 4^2 + 1) j$$

$$r_2 = (5) i + (3) j$$

$$\mathbf{v}_r = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} = \frac{2i + 5j}{2} = i + 0,75j$$

d.  $|v_r| = \sqrt{1^2 + (0,75)^2} = 1,25 \text{ m/s}$

e.  $v_s = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt} ((t+1) i + (\frac{1}{8} t^2 + 1) j)$

$$v_s = i + \frac{1}{4} tj$$

jadi pada  $t = 2 \text{ s}$ ,  $v_s = i + 0,5 j$

f. pada saat  $t = 2 \text{ s}$ ,

$$|v_s| = \sqrt{1^2 + (0,5)^2} = \sqrt{1,25} = 1,12 \text{ m/s}$$

### C. PERSAMAAN PERCEPATAN

Percepatan adalah kecepatan benda setiap waktu. Percepatan termasuk besaran vektor.

#### 1. Percepatan rata-rata

Percepatan rata-rata adalah perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu.

$$\mathbf{a}_r = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v_x i + \Delta v_y j + \Delta v_z k}{\Delta t}$$

atau

$$\mathbf{a}_r = \mathbf{a}_x i + \mathbf{a}_y j + \mathbf{a}_z k$$

$\mathbf{a}_r$  = percepatan rata-rata ( $\text{m/s}^2$ )

$\Delta v$  = perubahan kecepatan ( $\text{m/s}$ )

$\Delta t$  = selang waktu / interval waktu ( $\text{s}$ )

$v_1$  = kecepatan awal pada saat  $t_1$  ( $\text{m/s}$ )

$v_2$  = kecepatan akhir pada saat  $t_2$  ( $\text{m/s}$ )

$t_1$  = waktu awal ( $\text{s}$ )

$t_2$  = waktu akhir ( $\text{s}$ )

$\Delta v_x$  = perubahan kecepatan pada sumbu x

$\Delta v_z$  = perubahan kecepatan pada sumbu z

$\mathbf{a}_x$  = percepatan rata-rata pada sumbu x

$\mathbf{a}_y$  = percepatan rata-rata pada sumbu y

$\mathbf{a}_z$  = percepatan rata-rata pada sumbu z

$\Delta v_y$  = perubahan kecepatan pada sumbu y

Besarnya percepatan rata-rata adalah :

$$|a_r| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

$|a_r|$  = besarnya percepatan rata-rata

## 2. Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat adalah percepatan rata-rata untuk selang waktu sangat kecil (mendekati nol).

$$a_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ atau } a_s = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ untuk } \Delta t \text{ sangat kecil}$$

Percepatan sesaat dapat dicari melalui dua cara, yaitu :

a. diturunkan dari fungsi kecepatan

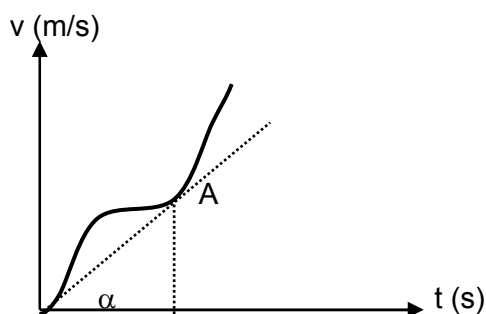
$$a_s = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} i + \frac{dv_y}{dt} j + \frac{dv_z}{dt} k$$

atau

$$a_s = a_x i + a_y j + a_z k$$

$$|a_s| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

b. mencari gradien (kemiringan) grafik kecepatan terhadap waktu (v-t)



Percepatan sesaat di titik A adalah :

$$a_s = \text{tg } \alpha$$

### Contoh Soal

Kecepatan sebuah partikel dinyatakan dengan persamaan kecepatan :  $v = 2t^2 i + 3t j$

Tentukan besarnya :

- percepatan saat  $t = 1$
- percepatan saat  $t = 4$  s
- percepatan rata-rata dalam selang waktu 1 s hingga 4 s

Penyelesaian :

a.  $v = 2t^2 i + 3t j$

$a = 4t i + 3 j$

saat  $t = 1$  s, maka :

$a_s = 4.1 i + 3 j = 4 i + 3 j$

$|a_s| = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ m/s}^2$

b.. saat  $t = 4$  s

$a_s = 4.4 i + 3 j = 16 i + 3 j$

jadi  $|a_s| = \sqrt{16^2 + 3^2} = 16,3 \text{ m/s}^2$

c..Percepatan rata-rata

saat  $t = 1$  s, maka :

$$v_1 = 2.1^2 i + 3.1 j = 2i + 3j$$

saat  $t = 4$  s, maka :

$$v_2 = 2.4^2 i + 3.4 j = 32i + 12j$$

$$a_r = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{30i + 9j}{3} = 10i + 3j$$

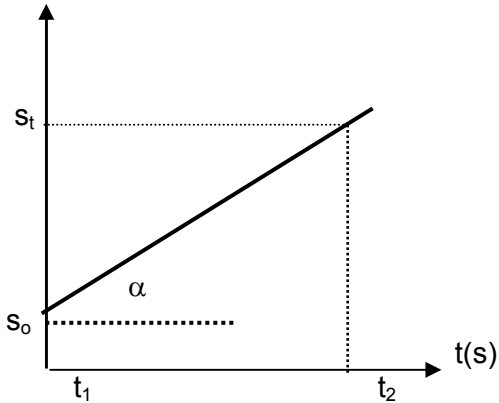
$$\text{jadi } |a_r| = \sqrt{10^2 + 3^2} = 10,4 \text{ m/s}^2$$

#### D. GERAK LURUS BERATURAN (GLB)

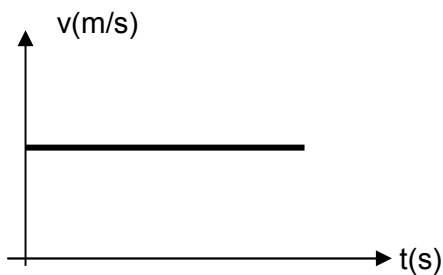
GLB adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap (konstan) atau tanpa percepatan ( $a=0$ ). Benda memiliki kecepatan tetap jika dalam dalam selang waktu yang sama benda menempuh jarak yang sama pula.

Perhatikan grafik GLB berikut :

- Grafik perpindahan terhadap waktu



- Grafik kecepatan terhadap waktu



Dari grafik di atas diperoleh bahwa kecepatan benda selalu sama (tetap) dalam selang waktu kapan pun, yaitu :

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{Selang Waktu}}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_t - s_o}{t_2 - t_1} = \text{tg } \alpha$$

Sehingga persamaan posisi benda setelah  $t$  adalah :

$$s_t = s_o + v.t$$

$s_o$  = posisi awal benda (m)

$s_t$  = posisi benda setelah  $t$  (m)

$v$  = kecepatan benda (m/s)

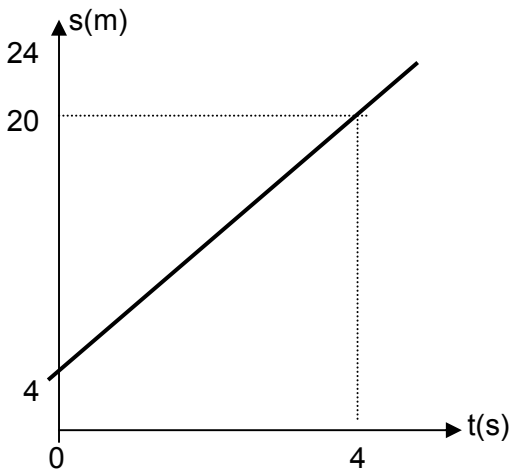
$\Delta s$  = jarak atau perpindahan benda (m)  
= luas daerah yang arsir

$\Delta t$  = selang waktu (s)

$\alpha$  = sudut kemiringan grafik  $s$ - $t$ .

### Contoh Soal

Sebuah benda yang bergerak memiliki grafik hubungan perpindahan terhadap waktu sebagai berikut :



Dari grafik di atas tentukan besarnya:

- kecepatan benda
- persamaan posisi benda setelah t
- posisi benda setelah 1 menit

#### Penyelesaian :

Diketahui :  $s_1 = 4 \text{ m}$

$$s_2 = 24 \text{ m}$$

$$t_1 = 0 \text{ s}$$

$$t_2 = 4 \text{ s, jadi } \Delta t = t_2$$

Ditanya :  $v \dots ?$

Jawab :

$$a. v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{24 - 4}{4 - 0}$$

$$v_r = 5 \text{ m/s.}$$

$$b. s_t = s_0 + v_r \Delta t$$

$$s_t = 4 + 5t$$

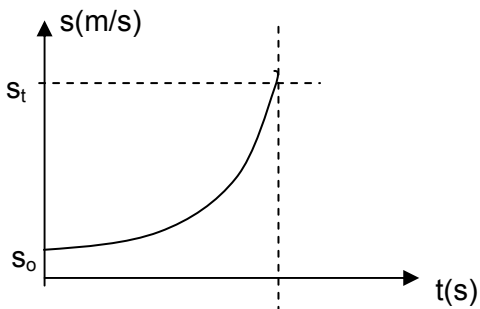
$$c. s_t = 4 + 5t = 4 + 5.60 = 304 \text{ m}$$

### E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

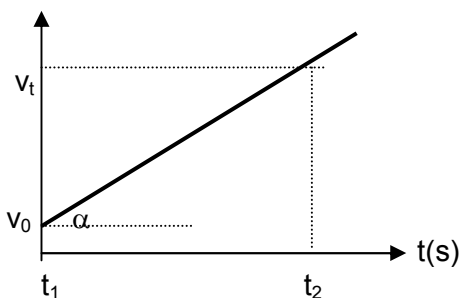
GLBB adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan percepatan tetap. Pada GLBB kecepatannya berubah secara tetap. Jika kecepatannya makin besar dikatakan benda bergerak dipercepat, dan jika kecepatannya makin kecil dikatakan benda bergerak diperlambat.

Perhatikan grafik GLBB berikut :

- grafik perpindahan terhadap waktu



- grafik kecepatan terhadap waktu



Dari grafik GLBB tersebut, diperoleh:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t_2 - t_1} = \operatorname{tg} \alpha$$

dan :

$$\begin{aligned} S_t &= S_0 + v_0.t + \frac{1}{2}.a.t^2 \\ v_t &= v_0 + a.t \\ v_t^2 &= v_0^2 + 2.a.s_t \end{aligned}$$

$S_t$  = jarak yang ditempuh selama  $t$  (m)

$v_0$  = kecepatan awal benda (m/s)

$v_t$  = kecepatan benda setelah  $t$  (m/s)

$t$  = selang waktu (s)

$a$  = percepatan benda (m/s)

### Contoh Soal

Sebuah benda mula-mula bergerak dengan kecepatan 5 m/s, lalu dipercepat 2 m/s<sup>2</sup>. Tentukan :

- persamaan kecepatan dan posisi setelah  $t$
- Hitunglah kecepatan dan jarak yang ditempuh benda setelah 2 detik !

Penyelesaian :

Diketahui :  $v_0 = 5 \text{ m/s}$   
 $a = 2 \text{ m/s}^2$   
 $t = 2 \text{ sekon}$

Ditanya :  $v_t$  dan  $s$  ..?

Jawab :

a. *Persamaan posisi :*

$$\begin{aligned} s_t &= s_0 + v_0.t + \frac{1}{2}.a.t^2 \\ s_t &= 0 + 5t + \frac{1}{2}.2t^2 \\ s_t &= 5t + t^2 \end{aligned}$$

*Persamaan kecepatan :*

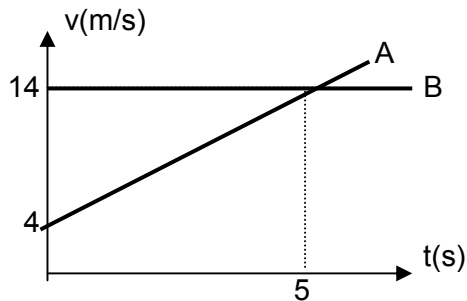
$$\begin{aligned} v_t &= v_0 + a.t \\ v_t &= 5 + 2t \end{aligned}$$

- b.  $v_t = v_0 + a.t$   
 $v_t = 5 + 2.2 = 9 \text{ m/s}$   
dan  
 $s = 5.2 + \frac{1}{2}.2.2^2$   
 $s = 10 + 4 = 14 \text{ m.}$

### Uji Kompetensi 1

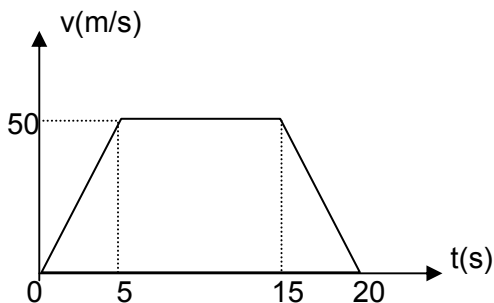
- Sebuah partikel berpindah dari titik A(4,6) ke titik B(8,9). Tentukan besarnya perpindahan benda !
- Sebuah bola dilempar vertikal ke atas dengan persamaan posisi  $y = 27t - t^3$ . Tentukan tinggi maksimum benda !
- Sebuah partikel bergerak dengan persamaan posisi  $r = (4t^2 - 2t + 1)i + (t^2 - 4t + 4)j$  meter. Tentukan besarnya :
  - perpindahan benda setelah 1 sekon
  - kecepatan benda saat  $t = 1$  sekon
  - kecepatan rata-rata benda dalam selang waktu 1 s hingga 3 s
  - percepatan benda saat  $t = 1$  s
  - percepatan rata-rata benda dalam selang waktu 1 s hingga 3 s
- Sebuah benda bergerak dengan persamaan posisi  $r = 6t^2 - t^3$ . Tentukan posisi benda saat kecepatannya maksimum !
- Sebuah benda bergerak dengan persamaan posisi pada sumbu  $x$  ;  $x = 4t^2 + 2$  dan pada sumbu  $y$  ;  $y = 2t^2 + 4t$ . Tentukan besarnya percepatan pada saat  $t = 2$  s !
- Sebuah sepeda motor bergerak lurus dengan kecepatan tetap 50 m/s. Tentukan :
  - persamaan posisi benda setelah  $t$
  - panjang jalan yang dilalui sepeda setelah berjalan 10 menit !

7. Dua buah mobil A dan B mula-mula diam. Mobil A berangkat terlebih dahulu dengan kecepatan tetap 6 m/s dan 10 detik kemudian mobil B bergerak searah dengan kecepatan tetap 8 m/s. Tentukan:
  - a. pada jarak berapa mobil B dapat menyusul mobil A
  - b. setelah berapa lama mobil B tersebut menyusul A
8. Dua sepeda motor A dan B mula-mula diam dan saling berhadapan pada jarak 120 m. Dalam waktu bersamaan kedua sepeda bergerak berlawanan arah dengan kecepatan A = 8 m/s dan kecepatan B = 4 m/s. Kapan dan di mana kedua sepeda tersebut bertemu ?
9. Sebuah mobil mula-mula bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Tiba-tiba mobil tersebut direm dan berhenti setelah 2 detik. Tentukan :
  - a. persamaan kecepatan benda setelah t
  - b. persamaan posisi benda setelah t
  - c. besarnya perlambatan mobil
  - d. setelah berapa meter mobil tersebut berhenti ?
10. Sebuah mobil mula-mula bergerak dengan kecepatan 18 m/s. Karena di rem setelah menempuh jarak 480 m kecepatannya menjadi 12 m/s. Hitung :
  - a. waktu yang diperlukan untuk mengubah kecepatan tersebut
  - b. besarnya perlambatan mobil
11. Dua mobil A dan B bergerak searah pada jalan lurus. Grafik v-t kedua mobil tersebut sebagai berikut :



Dari grafik, tentukan :

- a. jenis gerak mobil A dan B
  - b. persamaan kecepatan mobil A
  - c. persamaan kecepatan mobil B
  - d. persamaan posisi mobil A
  - e. persamaan posisi mobil B
  - f. jika kedua mobil berangkat bersamaan, kapan kedua mobil bertemu (berdampingan) ?
  - g. berapa kecepatan mobil A dan B saat berdampingan tersebut ?
12. Perhatikan grafik berikut :



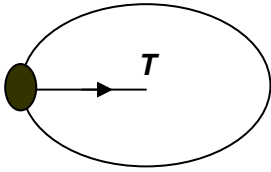
Dari grafik tentukan :

- a. percepatan rata-rata benda dalam selang waktu 0 s sampai dengan 5 s
- b. percepatan benda dalam selang waktu 5 s hingga 15 s
- c. kecepatan benda dalam selang 5 s hingga 15 s
- d. percepatan rata-rata benda dalam selang 15 s hingga 20 s
- e. jarak tempuh benda dalam selang waktu 0s hingga 5 s
- f. jarak tempuh total

## Gerak Melingkar

### 1. Gerak benda melingkar horizontal

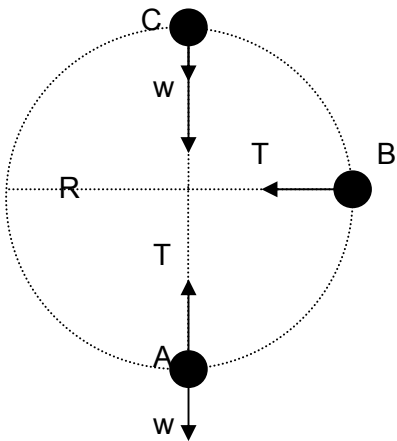
Perhatikan benda diikat dengan tali dan diputar horizontal berikut :



Gaya sentripetal yang dialami benda sama dengan tegangan tali (T), sehingga :  $T = F_s = \frac{m \cdot v^2}{R}$

### 2. Gerak Benda Melingkar Vertikal

Perhatikan gambar berikut :



Pada titik A (titik terendah) :

$$F_s = T - w \text{ atau } T = F_s + w \text{ atau } T = m\left(\frac{v^2}{R} + g\right)$$

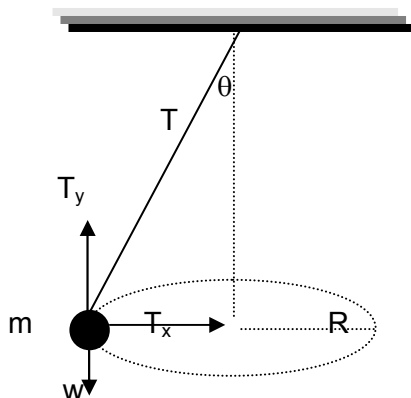
Pada titik C (titik tertinggi) :

$$F_s = T + w \text{ atau } T = F_s - w \text{ atau } T = m\left(\frac{v^2}{R} - g\right)$$

Pada titik B :

$$F_s = T = m \frac{v^2}{R}$$

### 3. Ayunan Konik (kerucut)



Benda bermassa  $m$  diayunkan melingkar seperti pada gambar dengan jari-jari  $R$ , maka tali akan mengalami gaya tegangan tali ( $T$ ). Besarnya gaya tegang tali pada arah pusat lingkaran benda ( $T_x$ ) sama dengan gaya sentripetal yang dialami benda  $m$ . Jadi :

$$T_x = T \cdot \sin \theta \text{ dan}$$

$$T_y = T \cdot \cos \theta = w = m \cdot g \text{ atau } T = \frac{m \cdot g}{\cos \theta}$$

$$T_x = F_s \text{ (Karena gerak melingkar)}$$

$$T \cdot \sin \theta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

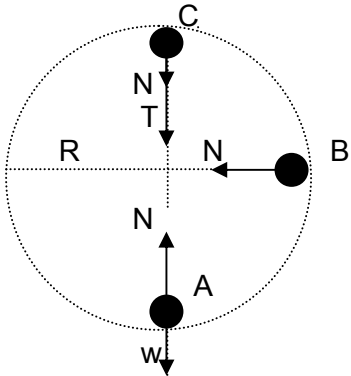
$$\frac{m \cdot g}{\cos \theta} \cdot \sin \theta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$m \cdot g \cdot \tan \theta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Jadi kecepatan linier ayunan konik adalah :  $v = \sqrt{g \cdot R \cdot \tan \theta}$

$v$  = kecepatan linier (m/s)  
 $g$  = percepatan gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)  
 $\theta$  = Sudut ayunan (°)

#### 4. Gerak Benda pada sisi dalam lingkaran



Pada titik A (titik terendah) :

$$F_s = N - w \text{ atau } N = F_s + w$$

$$N = m \left( \frac{v^2}{R} + g \right)$$

Pada titik C (titik tertinggi) :

$$F_s = N + w \text{ atau } N = F_s - w$$

$$N = m \left( \frac{v^2}{R} - g \right)$$

Pada titik B:

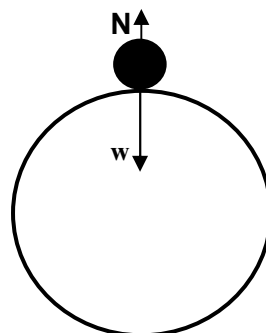
$$F_s = N$$

$$N = m \frac{v^2}{R} \quad N = \text{gaya normal (N)}$$

#### 5. Gerak Benda pada sisi luar lingkaran

Pada titik tertinggi :

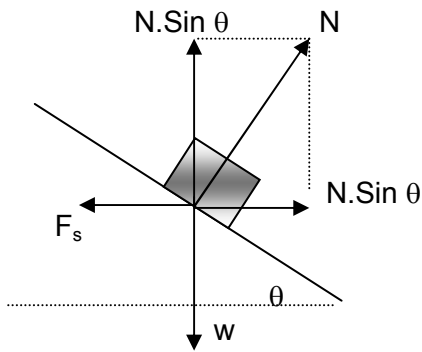
$$F_s = w - N \text{ atau } N = w - F_s$$



$$N = m \left( g - \frac{v^2}{R} \right)$$

## 6. Tikungan Miring

Perhatikan sebuah mobil yang sedang membelok pada tikungan berjari-jari  $R$  yang permukaannya miring berikut (mobil diamati dari depan) :



Pada sumbu horizontal :

$$\sum F = 0$$

$$N \cdot \sin \theta = F_s$$

$$N \cdot \sin \theta = m \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots 1)$$

Pada sumbu vertikal :

$$N \cdot \cos \theta = w$$

$$N \cdot \cos \theta = m \cdot g \dots\dots\dots 2)$$

Persamaan 1) dan 2) diperoleh :

$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot \tan \theta}$$

### Uji Kompetensi 2

1. Sebuah mobil bermassa 0,8 ton bergerak dengan laju 18 km/jam melewati sebuah bukit yang berjari-jari 20 m. Tentukan gaya normal yang dialami mobil ketika berada di puncak bukit ?
2. Seorang pilot bermassa 75 kg berada di dalam pesawat jet membuat manuver lingkaran vertikal berjari-jari 10 m. Jika pada titik terendah kecepatan jet adalah 20 m/s, berapa berat semu pilot di titik terendah tersebut ?
3. Mobil melewati tikungan jalan berbentuk busur lingkaran berjari-jari 30 m dengan sinus sudut kemiringan 0,6. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka agar mobil menikung dengan aman, berapa kecepatan maksimum mobil?
4. Sebuah batu bermassa 2 kg diikat dengan tali yang panganya 50 cm dan diputar pada lingkaran vertikal dengan kecepatan angular 6 rad/s. Hitung besarnya tegangan tali pada saat batu berada di titik tertinggi !
5. Sebuah benda bermassa 10 kg diikat dengan tali secara beraturan pada bidang mendatar licin dengan jari-jari 1 m. Gaya tegangan yang dapat ditahan tali 360 N. Berapa kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar tali tidak putus ?
6. Sebuah ayunan konis sinus sudut simpangannya 0,6 dan panjang tali 50 cm. Hitung besarnya laju linier ayunan !

### Evaluasi

#### PILIHAN GANDA

Pilihlah satu jawaban yang tepat !

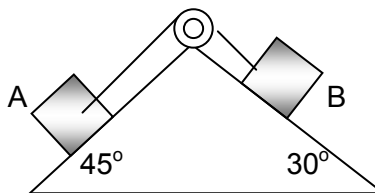
1. Seseorang mengendari sepeda motor melewati jalan yang membelok dengan jari-jari 40 m dengan kelajuan 36 km/jam. Jika berat orang dan sepeda 1500 N, besarnya gaya sentripetal yang dialami sepeda motor adalah ...
  - a. 50
  - b. 100
  - c. 150
  - d. 375
  - e. 750

2. Pada saat olah raga Nardi mengikat benda bermassa 1 kg dengan tali panjangnya 1 m. Pada saat diputar dengan bentuk lintasan vertikal, panjang tali yang digunakan 50 cm. Jika kelajuan benda di titik teratas 5 m/s dan di titik terendah 7 m/s, maka besarnya gaya sentripetal di titik teratas dan di titik terendah adalah ...
  - a. 49 N dan 98 N
  - b. 50 N dan 98 N
  - c. 88 N dan 100 N
  - d. 98 N dan 50 N
  - e. 100 N dan 49 N
  
3. Sebuah mobil 800 kg melintasi lembah yang jari-jari kelengkungannya 50 m. Jika kelajuan mobil 5 m/s, maka besarnya gaya normal pada saat mobil ditengah lembah adalah ... N
  - a. 8400
  - b. 8040
  - c. 8000
  - d. 4800
  - e. 4000
  
4. Sebuah ember berisi air dikat dengan tali lalu diputar dengan lintasan vertikal berjari-jari 2,5 m. Besarnya kecepatan sudut terkecil pada titik tertinggi agar air tidak tumpah adalah ... rad/s
  - a. 40
  - b. 25
  - c. 4
  - d. 2,5
  - e. 2

**URAIAN**

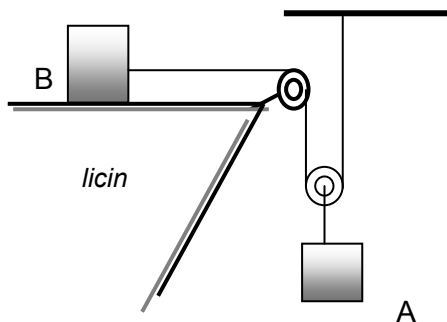
**Kerjakan soal berikut dengan benar !**

1. Dua balok dihubungkan dengan tali seperti pada gambar berikut :



Jika balok A dan B bermassa 3,5 kg dan 5 kg terletak pada bidang miring licin, tentukan percepatan sistem !

2. Perhatikan sistem gambar berikut :

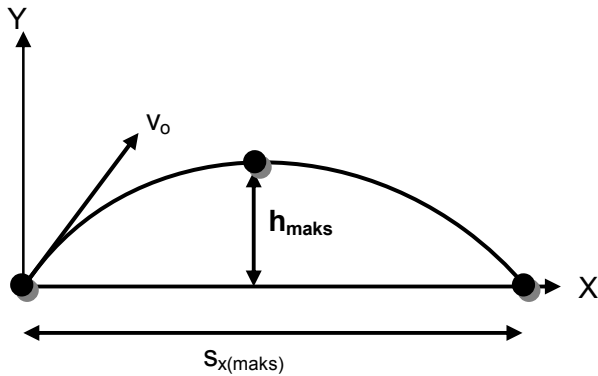


Jika massa benda A dan B sama besar 2 kg dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Tentukan percepatan benda A dan B !

3. Sebuah benda bermassa 2 kg terletak di atas tanah. Benda tersebut ditarik ke atas dengan gaya 30 N selama 2 s lalu dilepaskan. Hitung tinggi maksimum yang dicapai benda !
4. Sebuah ayunan kerucut mempunyai panjang tali 1,25 m. Jika saat kecepatan sudut ayunan 4 rad/s, berapa besar sudut antara tali dan garis vertikal ?
5. Sebuah benda bermassa 0,1 kg diikat dengan tali yang panjangnya 1 m dan diputar dengan kelajuan tetap 2 m/s. Hitung tegangan tali minimum yang dialami tali !

## GERAK PARABOLA (GERAK PELURU)

Gerak parabola adalah gerak pada bidang datar yang lintasannya berbentuk parabola. Gerak parabola merupakan perpaduan dua gerak yaitu GLB pada sumbu x dan GLBB pada sumbu y. Perhatikan grafik lintasan gerak parabola berikut :



Sebuah bola yang ditendang dengan kecepatan awal  $v_0$  dengan arah membentuk sudut tertentu terhadap horisontal, maka lintasan bola merupakan bentuk parabola yang mana berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut :

### 1. Persamaan Kecepatan

#### a. Kecepatan awal

Kecepatan awal benda membentuk sudut elevasi  $\alpha$  terhadap arah mendatar (sumbu X), sehingga :

- kecepatan awal pada arah mendatar

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$$

- Kecepatan awal pada arah vertikal (sumbu Y)

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$$

#### b. Pada arah mendatar (sumbu X)

Gerak benda pada arah mendatar adalah GLB, sehingga  $v_x$  tetap dan  $a = 0$ .

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$$

#### c. Pada arah vertikal (sumbu Y)

Gerak benda pada arah vertikal adalah GLBB, sehingga  $v_y$  berubah-ubah dan  $a = -g$  (gerakan ke atas), dan  $a = g$  (gerakan ke bawah).

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$$

$$v_y^2 = v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha - 2 \cdot g \cdot s_y$$

#### d. Persamaan kecepatan bola setelah t

$$v = v_x i + v_y j$$

sehingga besarnya kecepatan setelah t adalah :

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$v_x$  = kecepatan benda pada sumbu x

$v_y$  = kecepatan benda pada sumbu y

$v_0$  = kecepatan awal benda (m/s)

$\alpha$  = sudut elevasi ( $^\circ$ )

$s_y$  = posisi benda pada sumbu y (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$t$  = waktu (s)

$|v|$  = besarnya kecepatan benda (m/s)

### 2. Persamaan Posisi benda

#### a. Pada arah mendatar (sumbu X)

$$s_x = v_x \cdot t$$

$$s_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

b. Pada arah vertikal (sumbu Y)

$$s_y = v_o \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

c. Persamaan posisi bola setelah t

$$\mathbf{s} = s_x \mathbf{i} + s_y \mathbf{j}$$

$s_x$  = posisi benda pada sumbu x

$s_y$  = posisi benda pada sumbu y

### 3. Persamaan pada titik tertinggi

a. Benda mencapai ketinggian maksimum jika  $v_y = 0$ , sehingga waktu untuk mencapai tinggi maksimum:

$$t_{\text{maks}} = \frac{v_o \cdot \sin \alpha}{g}$$

b. Tinggi maksimum benda diperoleh dengan menubstitusikan  $t_{\text{maks}}$  ke  $s_y = v_o \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$  dan diperoleh :

$$s_{y(\text{maks})} = h_{\text{maks}} = \frac{v_o^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}$$

$t_{\text{maks}}$  = waktu yang diperlukan benda untuk mencapai tinggi maksimum ( $s_{y \text{ maks}}$ )

$h_{\text{maks}}$  = tinggi maksimum yang dicapai benda

### 4. Persamaan pada titik terjauh

a. Waktu untuk mencapai jarak terjauh

Benda mencapai titik terjauh jika  $s_y = 0$ , sehingga waktu yang diperlukan benda untuk mencapai titik terjauh adalah :

$$t = 2 \cdot t_{\text{maks}} = \frac{2 \cdot v_o \cdot \sin \alpha}{g}$$

b. Jarak terjauh yang dicapai benda  $2 \cdot t_{\text{maks}}$  disubstitusikan ke  $s_x = v_o \cdot \cos \alpha \cdot t$  dan hasilnya :

$$s_{x(\text{maks})} = \frac{v_o^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

$s_{x(\text{maks})}$  = jarak mendatar terjauh yang dicapai benda (m)

Jarak mendatar pada saat benda mencapai tinggi maksimum ( $h_{\text{maks}}$ ) adalah  $\frac{1}{2} \cdot s_{x(\text{maks})}$ .

### Contoh Soal

Sebutir peluru keluar dari moncong pistol dengan kecepatan awal 20 m/s dan sudut elevasi tembakan  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah :

- tinggi maksimum yang dicapai peluru
- jarak mendatar terjauh yang dicapai peluru
- waktu untuk mencapai tinggi maksimum
- waktu untuk jatuh dit tanah lagi
- besar kecepatan setelah 0,2 s
- posisi peluru setelah 0,2 s

Penyelesaian :

Diketahui:  $v_o = 20 \text{ m/s}$

$\alpha = 30^\circ$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

Jawab :

$$a. h_{\text{maks}} = \frac{v_o^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} = \frac{20^2 \cdot \sin^2 30^\circ}{2 \cdot 10} = \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{20} = 5 \text{ meter}$$

$$b. s_{x(\text{maks})} = \frac{v_o^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} = \frac{20^2 \cdot \sin 60^\circ}{10} = 10\sqrt{3} \text{ meter}$$

$$c. t_{\text{maks}} = \frac{v_o \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{20 \cdot \sin 30^\circ}{10} = 1 \text{ s}$$

$$d. t = 2 \cdot t_{\text{maks}} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ sekon}$$

$$e. v_x = v_o \cdot \cos \alpha = 20 \cdot \cos 30^\circ = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$$

$$v_y = v_o \cdot \sin \alpha - g \cdot t = 20 \cdot \sin 30^\circ - 10 \cdot 0,2 = 8 \text{ m/s}$$

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(10\sqrt{3})^2 + 8^2} = \sqrt{364} \\ = 19 \text{ m/s}$$

$$f. t = 0,2 \text{ s maka } s_x = v_o \cdot \cos \alpha \cdot t = 20 \cdot \cos 30^\circ \times 0,2 = 2\sqrt{3} \text{ m}$$

$$t = 0,2 \text{ s maka } s_y = v_o \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ = 20 \cdot \sin 30^\circ \cdot 0,2 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (0,2)^2 \\ = 2 - 0,2 = 1,8 \text{ m}$$

Jadi posisi peluru setelah 0,2 sekon adalah pada koordinat  $(2\sqrt{3}; 1,8)$  artinya peluru berada pada jarak  $2\sqrt{3}$  m dan pada ketinggian 1,8 m.

### Uji Kompetensi 2

1. Benda dilempar dengan sudut elevasi  $60^\circ$  dan kecepatan awal 40 m/s. Tentukan :
  - a. tinggi maksimum yang dicapai peluru
  - b. jarak mendatar terjauh yang dicapai peluru
  - c. waktu untuk mencapai tinggi maksimum
  - d. waktu untuk jatuh di tanah lagi
  - e. besar kecepatan setelah 1 s
  - f. posisi peluru setelah 1 s
2. Budi hendak menembak sasaran yang terletak pada jarak mendatar 100 m dan pada ketinggian 90 m dengan sudut elevasi  $45^\circ$ . Berapa kecepatan awal peluru budi agar mengenai sasaran ?
3. Sebuah bom dijatuhkan dari pesawat terbang yang terbang mendatar pada ketinggian 150 m dan kecepatan 50 m/s. Berapa jauh bom akan jatuh di tanah relatif terhadap titik bom tersebut mulai dijatuhkan ?
4. Sebuah bola ditendang dengan sudut elevasi  $30^\circ$  sehingga menempuh lintasan parabola. Bola tersebut menyentuh tanah pada tempat yang jaraknya 40 m dari tempat tendangan. Tentukan :
  - a. kelajuan awal bola
  - b. lama bola di udara
  - c. koordinat titik tertinggi
5. Sebuah benda dilempar dengan sudut elevasi  $45^\circ$  dan kecepatan awal  $20\sqrt{2}$  m/s. Pada saat jarak mendatar benda 20 m, berapa ketinggiannya ?
6. Sebuah pesawat terbang menilik ke bawah dengan kecepatan 400 m/s membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap horizontal. Pada ketinggian 880 m dari tanah pesawat menjatuhkan bom. Hitunglah waktu yang diperlukan bom untuk mencapai tanah !
7. Sebuah peluru ditembakkan dari puncak menara yang tingginya 500 m dengan kecepatan 100 m/s arah mendatar. Hitunglah :
  - a. waktu yang diperlukan peluru hingga sampai di tanah !
  - b. jarak peluru jatuh di tanah diukur dari kaki menara
8. Sebuah benda dilempar dengan sudut elevasi  $60^\circ$  dan kecepatan awal 40 m/s. Hitunglah besarnya kecepatan benda saat berada di titik tertinggi !

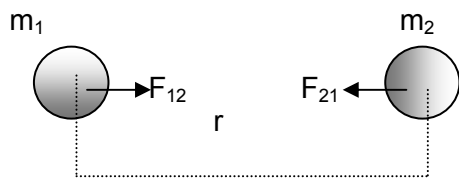
# Bab 2

## Grafitasi dan gerak planet

### A. HUKUM GRAVITASI UMUM NEWTON

#### 1. Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi merupakan gaya tarik menarik antara dua benda yang terletak pada jarak tertentu. Menurut **Hukum Gravitasi Umum Newton,** "Setiap partikel di alam semesta ini akan saling tarik menarik dengan partikel lain, dengan gaya yang besarnya berbanding lurus dengan hasil kali massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya"



$$F_{12} = F_{21} \approx \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ atau}$$

$$F_{12} = F_{21} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$m_1$  = massa benda 1 (kg)

$m_2$  = massa benda 2 (kg)

$r$  = jarak antara kedua pusat massa benda (m)

$F_{12}$  = gaya gravitasi yang dialami benda 1 akibat benda 2 (N)

$F_{121}$  = gaya gravitasi yang dialami benda 2 akibat benda 1 (N)

$G$  = konstanta gravitasi umum

( $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$ )

Gaya gravitasi merupakan besaran vektor, yang arahnya menuju pusat benda penyebab gaya gravitasi. Jadi  $F_{12}$  merupakan aksi sedangkan  $F_{21}$  merupakan reaksi.

#### 2. Berat benda dipermukaan planet bumi

Jika sebuah benda bermassa  $m$  terletak dipermukaan bumi, maka benda tersebut akan mendapat gaya gravitasi bumi. Jika bumi memiliki massa  $M$  dan jari-jari  $R$  (jarak pusat massa benda dengan pusat bumi), maka **besarnya gaya gravitasi bumi terhadap benda  $m$  tersebut merupakan berat benda  $w$ .** Jadi :

$$F = w = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

$F$  = gaya gravitasi bumi terhadap benda (N)

$w$  = berat benda (N)

$M$  = massa bumi (kg)

$m$  = massa benda (kg)

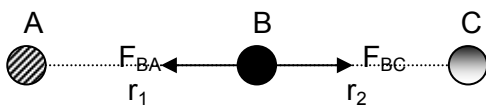
$R$  = jari-jari bumi (m)

Demikian juga matahari dan planet, bumi dengan bulan juga terjadi gaya gravitasi. Gaya gravitasi inilah yang memberikan gaya sentripetal, agar planet-planet tetap pada orbitnya mengelilingi matahari dan bulan ketika mengelilingi bumi.

#### 3. Resultan Gaya Gravitasi

Jika suatu massa di pengaruhi oleh 2 massa benda atau lebih, maka besarnya gaya gravitasi yang dialami benda merupakan resultan vektor gaya gravitasi yang bekerja pada benda tersebut.

- jika beberapa benda segaris



Besarnya gaya gravitasi yang dialami benda B adalah :

$$F_B = F_{BA} - F_{BC}$$

$$F_{BA} = G \cdot \frac{m_B \cdot m_A}{r_1^2}$$

$$F_{BC} = G \cdot \frac{m_B \cdot m_C}{r_2^2}$$

$F_B$  = gaya gravitasi yang dialami benda B

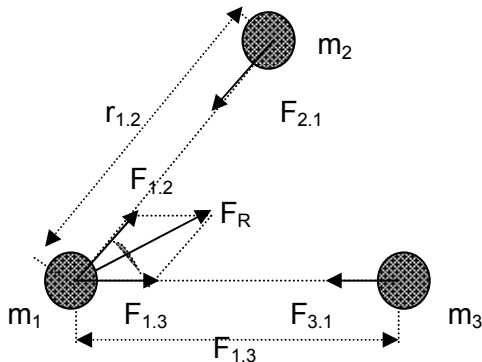
$F_{BA}$  = gaya gravitasi yang dialami benda B akibat pengaruh benda A (gaya gravitasi antara benda B dan A)

$F_{BC}$  = gaya gravitasi yang dialami benda B akibat pengaruh benda C (gaya gravitasi antara benda B dan C)

### Diskusikan !

Tentukan besarnya gaya gravitasi yang dialami oleh benda A dan benda C !

- jika beberapa benda saling membentuk sudut



$$F_{1,2} = F_{2,1} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_{1,2}^2}$$

$$F_{1,3} = F_{3,1} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_3}{r_{1,3}^2}$$

Maka besar resultan gaya gravitasi yang dialami benda  $m_1$  sebesar :

$$F_R = \sqrt{F_{1,2}^2 + F_{1,3}^2 + 2 \cdot F_{1,2} \cdot F_{1,3} \cdot \cos \alpha}$$

$F_{1,2}$  = gaya gravitasi antara massa benda 1 dan massa benda 2 (N)

$F_{1,3}$  = gaya gravitasi antara massa benda 1 dan massa benda 3 (N)

$F_R$  = gaya resultan pada benda  $m_1$  (N)

### Contoh Soal

1. Hitung gaya gravitasi antara 2 benda yang bermassa 3 kg dan 4 kg , yang terpisah sejauh 50 cm

**Penyelesaian :**

Diketahui :

$$m_1 = 3 \text{ kg}$$

$$m_2 = 4 \text{ kg}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$$

$$r = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

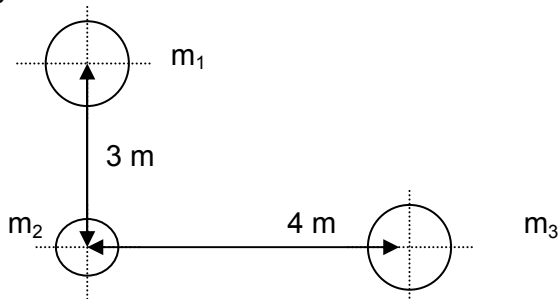
Ditanya :  $F_{1,2} = F_{2,1} = F = \dots ?$

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{3 \cdot 4}{(0,5)^2}$$

$$F = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

2. Tiga bola besi homogen dengan  $m_1$  ,  $m_2$  , dan  $m_3$  masing-masing massanya berturut-turut 2 kg , 4 kg dan 6 kg , di letakkan pada titik-titik sudut sebuah segitiga siku-siku , seperti yang tersusun pada gambar !



Hitung besar resultan gaya gravitasi pada benda  $m_2$  ?

Penyelesaian :

Diketahui :  $m_1 = 2 \text{ kg}$

$m_2 = 4 \text{ kg}$

$m_3 = 6 \text{ kg}$

$r_{1,2} = 3 \text{ m}$

$r_{2,3} = 4 \text{ m}$

$= 90^\circ, \cos 90^\circ = 0.$

Ditanya :

$F_R = \dots ?$  pada  $m_2$

$$F_{1,2} = F_{2,1} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_{1,2}^2}$$

$$= \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 2 \times 4}{3^2}$$

$$= 5,93 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

$$F_{1,3} = F_{3,1} = \frac{G \cdot m_2 \cdot m_3}{r_{1,3}^2}$$

$$= \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 4 \times 6}{4^2}$$

$$= 10 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

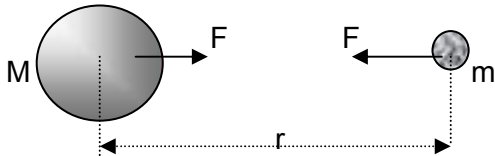
$$F_R = \sqrt{F_{1,2}^2 + F_{2,3}^2 + 2 \cdot F_{1,2} \cdot F_{2,3} \cdot \cos \alpha}$$

$$= 11,6 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

#### 4. Kuat Medan Gravitasi

Medan gravitasi yaitu daerah yang masih di pengaruhi oleh gaya gravitasi .

Gaya gravitasi yang bekerja pada benda dapat menimbulkan percepatan gravitasi, sehingga kuat medan gravitasi sering disebut dengan percepatan gravitasi. Kuat medan gravitasi adalah besarnya gaya gravitasi tiap satuan massa benda yang mengalami gaya gravitasi tersebut.



Telah diketahui bahwa  $F = \frac{G.M.m}{r^2}$ , maka:

Besarnya kuat medan gravitasi yang dialami oleh benda m akibat benda M adalah :

$$g = \frac{F}{m}, \text{ atau } g = \frac{GM}{r^2}$$

$g$  = kuat medan gravitasi ( $\text{N/kg} = \text{m/s}^2$ )

$g$  = percepatan gravitasi

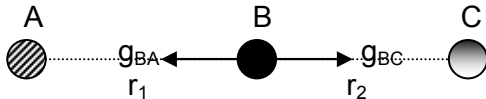
$F$  = gaya gravitasi yang dialami benda m

$R$  = jarak benda M dan m (meter)

#### 5. Resultan kuat medan gravitasi

Kuat medan gravitasi merupakan besaran vektor, sehingga bila suatu benda di pengaruhi oleh gaya gravitasi beberapa benda lain, maka besarnya kuat medan gravitasi yang dialami benda tersebut merupakan resultan vektor kuat medan gravitasi yang bekerja pada benda itu.

- jika beberapa benda segaris



Besarnya kuat medan gravitasi yang dialami benda B adalah :

$$g_B = g_{BC} - g_{BA}$$

$$g_{BA} = G \cdot \frac{m_A}{r_1^2} \text{ dan } g_{BC} = G \cdot \frac{m_C}{r_2^2}$$

$g_B$  = kuat medan gravitasi yang dialami benda B

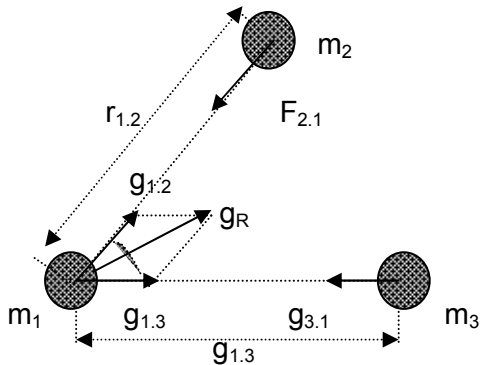
$g_{BA}$  = kuat medan yang dialami benda B akibat pengaruh benda A

$g_{BC}$  = kuat medan yang dialami benda B akibat pengaruh benda C

**Diskusikan !**

Tentukan besarnya kuat medan gravitasi yang dialami oleh benda A dan benda C !

- jika beberapa benda saling membentuk sudut



Maka besar kuat medan gravitasi total yang dialami benda  $m_1$  sebesar :

$$g_R = \sqrt{g_{1,2}^2 + g_{1,3}^2 + 2 g_{1,2} g_{1,3} \cdot \cos \alpha}$$

$g_1$  = kuat medan gravitasi yang dialami benda 1

$g_{12}$  = kuat medan yang dialami benda 1 akibat pengaruh benda 2.

$g_{13}$  = kuat medan yang dialami benda 1 akibat pengaruh benda 3.

### 6. Kuat Medan Gravitasi Bumi

Arah medan gravitasi bumi menuju pusat bumi (searah dengan gaya gravitasi bumi). Medan gravitasi bumi yaitu pengaruh gaya gravitasi bumi pada massa suatu benda.

- Kuat medan gravitasi dipermukaan bumi

Telah dijelaskan di atas, bahwa sebuah benda yang massanya  $m$  terletak dipermukaan bumi yang bermassa  $M$  dan berjari-jari  $R$  akan mengalami gaya gravitasi bumi yang besarnya sama dengan berat benda, sehingga :

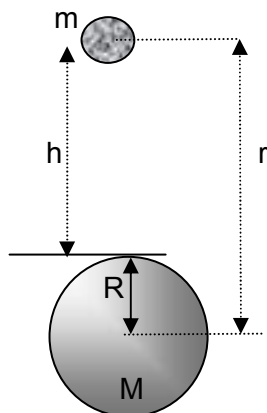
$$F = w \text{ dan } w = m \cdot g$$

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = m \cdot g$$

maka percepatan gravitasi dipermukaan bumi adalah :  $g = \frac{GM}{R^2}$

Jika massa bumi  $M = 5,97 \cdot 10^{24}$  kg, jari-jari bumi  $R = 6,37 \cdot 10^6$  m dan  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>, maka dapat dihitung besarnya percepatan gravitasi dipermukaan bumi adalah sekitar 9,8 m/s<sup>2</sup>.

- Kuat medan gravitasi pada jarak  $h$  dari permukaan planet bumi



$R$  = jari-jari bumi

$r$  = jarak benda dari pusat bumi

$h$  = jarak benda dari permukaan bumi

$m$  = massa benda

$M$  = massa planet bumi

maka  $r = R + h$ , sehingga percepatan gravitasi yang dialami benda  $m$  yang terletak pada jarak  $r$  dari pusat bumi adalah :

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak benda dari permukaan bumi, maka kuat medan yang dialami benda tersebut semakin kecil, sehingga berat benda juga mengecil.

Perbandingan percepatan gravitasi antara di permukaan bumi dan di suatu titik yang berjarak  $h$  dari permukaan bumi adalah:

$$\frac{g_R}{g_r} = \frac{r^2}{R^2} = \frac{(R+h)^2}{R^2}$$

$g_R$  = kuat medan gravitasi di permukaan bumi

$g_r$  = kuat medan gravitasi pada jarak  $r$  dari pusat bumi (pada jarak  $h$  dari permukaan bumi)

Berat benda tergantung pada percepatan gravitasi. Semakin jauh letak benda dari permukaan bumi, makin kecil percepatan gravitasinya, sehingga makin kecil berat benda.

Perbandingan berat benda antara di permukaan bumi dan di suatu titik yang berjarak  $h$  dari permukaan bumi adalah:

$$\frac{w_R}{w_r} = \frac{m \cdot g_R}{m \cdot g_r} = \frac{g_R}{g_r} = \frac{r^2}{R^2} = \frac{(R+h)^2}{R^2}$$

$w_R$  = berat benda di permukaan bumi (N)

$w_r$  = berat benda pada jarak  $r$  dari pusat bumi (pada jarak  $h$  dari permukaan bumi)

### Contoh Soal

- Sebuah benda bermassa 100 kg terletak dipermukaan bumi. Percepatan gravitasi dipermukaan bumi adalah  $10 \text{ m/s}^2$ . Hitunglah:
  - percepatan gravitasi bumi pada jarak 2 kali jari-jari bumi !
  - berat benda jika benda tersebut dipindah pada jarak 2 kali jari-jari bumi

Penyelesaian :

Diketahui :  $m = 100 \text{ kg}$

$g_R = 10 \text{ m/s}^2$

$r = 2R$

Ditanya :  $g_r$  dan  $w_r$ .....?

Jawab :

$$\text{a. } \frac{g_R}{g_r} = \frac{r^2}{R^2} = \frac{(2R)^2}{R^2} = 4$$

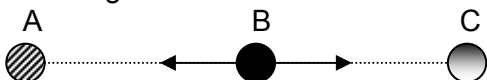
$$g_r = \frac{g_R}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{b. } w_r = \frac{w_R}{4} = \frac{m \cdot g_R}{4} = \frac{100 \cdot 10}{4} = 250 \text{ N atau}$$

$$w_r = m \cdot g_r = 100 \cdot 2,5 = 250 \text{ N}$$

### Uji Kompetensi 2

- Sebuah benda bermassa 2 kg terletak dipermukaan bumi. Jika massa dan jari-jari bumi masing-masing  $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  dan  $0,37 \cdot 10^{10} \text{ m}$ , hitunglah berat benda tersebut !
- Gaya tarik gravitasi dua buah gugus bintang adalah  $1,2 \cdot 10^{29} \text{ N}$ . Jika massa dua gugus bintang sama, dan jarak kedua gugus bintang 15 tahun cahaya ( $1 \text{ tahun cahaya} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$ ), tentukan massa tiap gugus bintang tersebut !
- Eksplorer 38 adalah satelit peneliti radio astronomi bermassa 200 kg yang mengorbit bumi dengan jari-jari  $1,5R$  ( $R$  = jari-jari bumi). Jika percepatan gravitasi di permukaan bumi  $10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah gaya gravitasi yang dialami satelit tersebut !
- Perhatikan gambar berikut :



- Tiga buah benda A, B dan C bermassa 2 kg, 3 kg, dan 4,5 kg. Jika gaya gravitasi yang di alami benda B sama dengan nol, hitunglah jarak (letak) benda B diukur dari A ?
- Seorang astronot beratnya dipermukaan bumi adalah 800 N. Jika astronot tersebut mengorbit bumi dengan laju konstan dan jari-jari 4 kali jari-jari bumi, hitunglah berat astronot tersebut !
  - Percepatan gravitasi dipermukaan bumi adalah  $10 \text{ m/s}^2$ . Tentukan percepatan gravitasi pada ketinggian  $2R$  di atas permukaan bumi ! ( $R = \text{jari-jari bumi}$ )
  - Budi beratnya di bumi 100 N. Jika perbandingan jari-jari sebuah planet dan jari-jari bumi adalah 2:1, sedangkan perbandingan massa planet dan massa bumi 10:1, maka hitunglah berat Budi tersebut di permukaan planet !
  - Percepatan gravitasi dipermukaan bumi  $10 \text{ m/s}^2$ . Hitunglah percepatan gravitasi di permukaan planet yang massa jenisnya sama dengan massa jenis bumi tetapi jari-jari dua kali jari-jari bumi !
  - Tiga buah benda A, B dan C massanya sama besar 1 kg terletak pada titik-titik sudut segitiga sama sisi yang panjang sisinya 1 m. Hitunglah :
    - gaya gravitasi yang dialami oleh benda A
    - kuat medan gravitasi yang dialami benda A
  - Dua bola A dan B bermassa 20 kg dan 16 kg diletakkan sejauh 80 cm. Tentukan letak sebuah titik yang memiliki kuat medan gravitasi sama dengan nol !

## 7. Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah usaha yang diperlukan untuk memindahkan suatu benda dari titik yang terletak di jauh tak terhingga ke suatu titik tertentu terhadap sumber medan gravitasi. Besarnya energi potensial dari sebuah benda bermassa  $m$  yang berjarak  $r$  dari bumi yang massanya  $M$  adalah :

$$EP = - G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$$

EP = Energi potensial (Joule)  
 G = konstanta umum gravitasi ( $\text{Nm}^2/\text{kg}^2$ )  
 M = massa bumi (kg)  
 m = massa benda (kg)  
 r = jarak antara m dan M (m)

Tanda negatif (-) menunjukkan bahwa makin jauh dari suatu massa planet, energi potensialnya makin besar. Dengan kata lain untuk memindahkan benda bermassa  $m$  dari titik yang berjarak  $r$  dari bumi ke titik di jauh tak terhingga diperlukan energi.

Usaha yang diperlukan untuk memindahkan benda  $m$  dari titik yang jarak  $r_1$  ke  $r_2$  dari pusat bumi  $M$  adalah :

$$W = EP_2 - EP_1$$

$$EP_1 = - G \cdot \frac{M \cdot m}{r_1} \text{ dan } EP_2 = - G \cdot \frac{M \cdot m}{r_2}$$

W = usaha untuk memindahkan benda  $m$  (J)  
 EP<sub>2</sub> = Energi potensial di titik yang berjarak  $r_2$  dari pusat bumi (J)  
 EP<sub>1</sub> = Energi potensial di titik yang berjarak  $r_1$  dari pusat bumi (J)  
 r<sub>1</sub> = jarak benda dari pusat bumi (m) sebelum dipindahkan (m)  
 r<sub>2</sub> = jarak benda dari pusat bumi setelah dipindahkan

## 8. Potensial Gravitasi

Potensial gravitasi adalah derajat gravitasi suatu titik, yaitu energi potensial gravitasi tiap satuan massa. Besarnya potensial gravitasi yang dialami oleh benda bermassa  $m$  yang terletak pada  $r$  dari bumi bermassa  $M$  adalah :

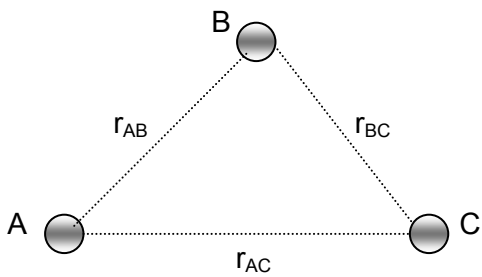
$$V = \frac{EP}{m}$$

$$V = - G \cdot \frac{M}{r} \quad V = \text{potensial gravitasi (J/kg = volt)}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa makin jauh dari pusat bumi, potensial gravitasi pada suatu titik makin besar.

## 9. Resultan Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi dan potensial gravitasi merupakan besaran skalar. Jika sebuah benda  $m$  dipengaruhi oleh beberapa benda, maka energi potensial total dan potensial totalnya dari benda  $m$  tersebut adalah jumlah aljabar dari masing-masing EP dan V.



Resultan Energi potensial gravitasi (energi potensial total) benda A adalah :

$$EP_A = EP_{AB} + EP_{AC}$$

$$EP_{AB} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r_{AB}} \quad \text{dan} \quad EP_{AC} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_C}{r_{AC}}$$

Sedangkan energi potensial sistem adalah jumlah aljabar (skalar) energi potensial gravitasi yang dihasilkan oleh semua pasangan benda, yaitu:

$$EP_{\text{sistem}} = EP_{AB} + EP_{AC} + EP_{BC}$$

- $EP_A$  = Energi potensial total di titik A (J)
- $EP_{AB}$  = Energi potensial benda A akibat benda B
- $EP_{AC}$  = Energi potensial benda A akibat benda C
- $EP_{BC}$  = Energi potensial benda B akibat benda C
- $r_{AB}$  = jarak benda A dan B (m)
- $r_{AC}$  = jarak benda A dan C (m)
- $m_A$  = massa benda A (kg)
- $m_B$  = massa benda B (kg)
- $m_C$  = massa benda C (kg)

Resultan Potensial gravitasi (potensial gravitasi total) yang dialami benda A adalah :

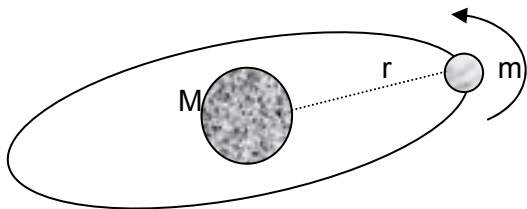
$$V_A = V_{AB} + V_{AC} ; \quad V_{AB} = -G \cdot \frac{m_B}{r_{AB}} \quad \text{dan} \quad V_{AC} = -G \cdot \frac{m_C}{r_{AC}}$$

- $V_A$  = potensial total di titik A (J)
- $V_{AB}$  = Energi potensial benda A akibat benda B
- $V_{AC}$  = Energi potensial benda A akibat benda C

## 10. Penerapan Hukum Gravitasi Newton

### a. Menentukan massa matahari

Planet-planet yang mengorbit matahari lintasannya tetap, karena pada planet bekerja gaya gravitasi ( $F_{\text{grav}}$ ) dan gaya sentripetal ( $F_s$ ). Besarnya  $F_{\text{grav}} = F_{\text{sp}}$ , sehingga :



$$F_{\text{grav}} = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}, \quad F_{\text{sp}} = \frac{mv^2}{r} \quad \text{dan} \quad v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r}$$

$$M = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3}{G \cdot T^2}$$

$M$  = massa matahari (kg)

$m$  = massa planet (kg)

$r$  = jarak planet dengan matahari (m)

$T$  = periode revolusi planet (s)

Jika planetnya adalah bumi, maka :  $r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$   
 $T = 1 \text{ tahun} = 3 \cdot 10^7 \text{ s}$   
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$

b. *Menghitung massa Planet*

Pada umumnya Planet dalam susunan tata surya kita memiliki satelit. Contoh : bulan adalah satelit bumi. Bulan mengorbit planet bumi juga mengalami gaya gravitasi bumi yang berperan sebagai gaya sentripetal. Sehingga besarnya gaya gravitasi bumi sama dengan gaya sentripetal yang dialami bulan. Dengan cara yang sama dengan cara menentukan massa matahari, maka massa bumi adalah :

$$M = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3}{G \cdot T^2}$$

$M =$  massa bumi (kg)       $r =$  jarak bumi dan bulan (m)  
 $m =$  massa satelit planet (kg)       $T =$  periode revolusi bulan (s)

Dengan :  $r = 4 \cdot 10^8 \text{ m}$   
 $T = 1 \text{ bulan} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ s}$

Atau jika sebuah benda di permukaan bumi =  $m$ , maka berat benda tersebut adalah  $w = m \cdot g$ . Berat ini merupakan gaya gravitasi bumi terhadap benda. Sehingga :

$$F_{\text{grav}} = w$$

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} = m \cdot g$$

$$M = \frac{g \cdot R^2}{G}$$

$M =$  massa bumi (kg)  
 $g =$  kuat medan gravitasi = percepatan gravitasi bumi  
 $R =$  jari-jari bumi (m)

c. *Kelajuan satelit buatan mengorbit planet*

Satelit yang mengorbit planet pada ketinggian  $r$  dari pusat planet mengalami gaya gravitasi planet dan gaya sentripetal, yang besarnya sama. Kelajuan satelit mengorbit planet pada ketinggian  $r$  dari pusat planet adalah :

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{G \cdot M}{r}$$

karena  $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$ , maka :

$$v^2 = \frac{g \cdot R^2}{r} \text{ atau } v = \sqrt{\frac{g \cdot R^2}{r}}$$

$v =$  kelajuan satelit mengorbit planet (m/s)  
 $g =$  percepatan gravitasi planet (m/s<sup>2</sup>)  
 $R =$  jari-jari planet (m)  
 $r =$  jarak satelit dari pusat planet (m) atau  
 $r =$  jari-jari lintasan satelit dari pusat planet.

Jika satelit mengorbit dekat dengan permukaan planet, maka  $r \approx R$ , sehingga kelajuan satelit menjadi :

$$v = \sqrt{g \cdot R}$$

Jika satelit mengorbit pada orbit *geosinkron*, yaitu suatu orbit dimana periode satelit mengorbit bumi sama dengan periode rotasi bumi (1 hari = 24 jam = 86.400 s), maka jari-jari lintasan orbit satelit :

$$v^2 = \frac{g \cdot R^2}{r} \text{ dan } v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}, \text{ sehingga : } r = \sqrt[3]{\frac{g \cdot T^2 \cdot R^2}{4 \cdot \pi}} = 42.400 \text{ km}$$

kelajuan satelit cukup dihitung dengan :

$$v = \frac{2\pi.r}{T} \text{ dengan :}$$

T = periode rotasi bumi (24 jam=86400 s)

r = jari-jari lintasan geosinkron (42.400 km)

R = jari-jari bumi ( $6,4 \cdot 10^6$  m)

g = percepatan gravitasi bumi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

d. *Kelajuan lepas benda (Escape Velocity)*

Yaitu kelajuan awal minimum sebuah benda yang dilempar vertikal ke atas agar terlepas dari pengaruh gaya gravitasi planet. Syarat agar sebuah benda yang dilempar vertikal ke atas terlepas dari pengaruh gaya gravitasi planet adalah :

Energi kinetik = Energi potensial gravitasi

$$EK = EP_{\text{grav}}$$

$$\frac{1}{2}.m.v^2 = G \cdot \frac{M.m}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{2.G.M}{R}}, \text{ karena } g = \frac{G.M}{R^2} \text{ maka : } v = \sqrt{2.g.R}$$

v = kelajuan lepas benda (m/s)

g = percepatan gravitasi planet ( $\text{m/s}^2$ )

R = jari-jari planet (m)

**Contoh Soal**

1. Sebuah benda bermassa 1,6 kg dipindahkan dari permukaan bumi ke titik yang ketinggiannya satu kali jari-jari bumi. Berapa usaha yang diperlukan ?

Penyelesaian :

Diketahui : m = 1,6 kg

M =  $6 \cdot 10^{24}$  kg

$r_1 = R = 6400$  km

$r_2 = 2R$

Ditanya : W ... ?

Jawab :

$$W = EP_2 - EP_1$$

$$W = -G \cdot \frac{M.m}{r_2} - (-G \cdot \frac{M.m}{r_1})$$

$$W = -G \cdot \frac{M.m}{2R} + G \cdot \frac{M.m}{R}$$

$$W = G \cdot \frac{M.m}{2R}$$

$$W = 6,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 1,6}{2 \cdot 6,4 \cdot 10^6}$$

$$W = 5 \cdot 10^7 \text{ Joule.}$$

2. Bila jarak Bumi dengan Matahari  $1,5 \cdot 10^{11}$  m . Waktu yang diperlukan Bumi mengitari matahari adalah 1 tahun . Tentukan massa matahari !

Penyelesaian :

Diket : T = 1 tahun =  $365 \times 24 \times 60 \times 60$

=  $31536000$  s =  $3,15 \times 10^7$  s

G =  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

r =  $1,5 \times 10^{11}$  m

Ditanya : M = .... ?

$$\text{Jawab : } M = \frac{4.\pi^2.r^3}{G.T^2}$$

$$M = \frac{4.\pi^2.(1,5 \cdot 10^{11})^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (3,15 \cdot 10^7)^2}$$

$$= 2,01 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

3. Bumi mempunyai jari-jari 6400 km dan massanya  $5,97 \times 10^{24}$  kg. Tentukan kelajuan sebuah satelit supaya dapat mengorbit dengan lintasan yang berupa lingkaran tetap pada ketinggian 1600 km dari permukaan bumi !

Penyelesaian :

Diketahui :

$$\begin{aligned} R &= 6400 \text{ km} = 6400000 \text{ m} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m} \\ h &= 1600 \text{ km} = 1600000 \text{ m} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ m} \\ r &= R + h = 6,4 \cdot 10^6 + 1,6 \cdot 10^6 = 8 \cdot 10^6 \text{ m} \\ G &= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \\ M &= 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg} \end{aligned}$$

Ditanya :  $v = \dots ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} v^2 &= \frac{GM}{r} \\ v^2 &= 49,78 \cdot 10^6 \\ v &= 7,06 \cdot 10^3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Hitung kecepatan awal sebuah roket yang bermassa 1000 kg harus di luncurkan vertikal ke atas, agar dapat lepas dari medan gravitasi .(Jika massa bumi  $5,98 \times 10^{24}$  kg dan jari-jari bumi = 6400 km)

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } M &= 5,98 \times 10^{24} \text{ kg} \\ G &= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \\ r_1 &= R = 6400000 \text{ m dan } g = 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Ditanya :  $v = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } v &= \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}} \end{aligned}$$

$$v = 1,12 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

### Uji Kompetensi 3

- Hitung massa bumi, jika percepatan gravitasi di permukaan bumi  $9,8 \text{ m/s}^2$  dan jari-jari bumi 6370 km !
- Tentukan energi yang diperlukan untuk memindahkan benda bermassa 32 kg ke angkasa luar !
- Tiga buah partikel massanya sama 5 gram terletak pada titik-titik sudut sebuah segitiga sama sisi yang panjang sisinya 30 cm. Hitung potensial gravitasi di pusat segitiga !
- Empat buah partikel A, B, C dan D masing-masing bermassa 1 kg, 2 kg, 3 kg dan 4 kg diletakkan di titik titik sudut sebuah persegi yang panjang sisinya 1 m. Hitunglah :
  - energi potensial sistem
  - potensial gravitasi di pusat persegi
- Tentukan kelajuan satelit buatan, agar dapat mengorbit bumi pada ketinggian setengah dari jari-jari bumi ! ( $R_{\text{bumi}} = 6400 \text{ km}$ ).
- Berapa kecepatan awal yang harus diberikan pada sebuah benda yang ditembakkan vertikal ke atas dari permukaan bumi agar benda sampai ke angkasa?(Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan  $R_{\text{bumi}} = 6400 \text{ km}$ ).
- Jika kelajuan lepas pada permukaan bumi adalah 8 km/s, berapakah kecepatan lepas sebuah planet yang memiliki jari-jari 4 kali jari-jari bumi dan massanya 100 kali massa bumi ?

### 11. Hukum Keppler

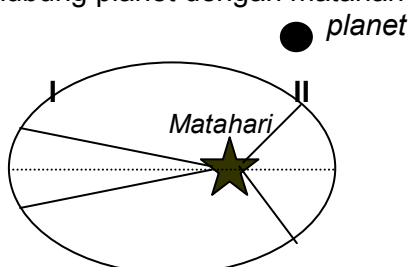
Kepler, seorang astronom dan matematikawan Jerman merumuskan tiga hukum tentang gerakan benda-benda langit, yang dikenal dengan **Hukum Keppler**.

#### Hukum I Keppler :

“Sebuah planet bergerak mengelilingi matahari dalam lintasan ellipsis, dengan matahari berada pada salah satu titik fokus ellipsis”.

#### Hukum II Keppler :

“Garis hubung planet dengan matahari akan menyapu luas yang sama dalam waktu yang sama”.



Jika luas daerah I sama dengan luas daerah II, maka waktu yang diperlukan oleh planet untuk bergerak dari A ke B sama dengan waktu yang diperlukan oleh planet untuk bergerak dari C ke D, meskipun lintasan CD lebih panjang dari pada lintasan AB. Ini menunjukkan bahwa ketika planet berada di titik perihelium kelajuan revolusinya semakin besar, dan ketika planet berada di titik aphelium kelajuannya semakin kecil.

**Hukum III Kepler :**

“kuadrat periode revolusi planet mengelilingi matahari sebanding dengan pangkat tiga jarak rata-ratanya ke matahari”.

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{konstan}$$

Jika planet A berjarak  $R_A$  dari matahari memiliki periode revolusi  $T_A$ , sedangkan planet B yang jaraknya  $R_B$  memiliki periode  $T_B$ , maka :

$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3}$$

- $T_A$  = periode revolusi planet A
- $T_B$  = periode revolusi planet B
- $R_A$  = jarak planet A dengan matahari
- $R_B$  = jarak planet B dengan matahari

**Hubungan Hukum gravitasi Newton dengan Hukum Kepler**

Planet dalam mengorbit matahari, memiliki lintasan yang tetap. Planet mengalami dua buah gaya, yaitu gaya gravitasi dan gaya sentripetal. Besarnya gaya sentripetal yang dialami planet adalah :

$$F_s = \frac{m_p \cdot v^2}{R} = m_p \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R}{T^2}$$

Besarnya gaya sentripetal sama dengan gaya gravitasi, sehingga :

$$F_s = F_g$$

$$m_p \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R}{T^2} = G \cdot \frac{m_m \cdot m_p}{R^2}$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot m_m}$$

- T = periode revolusi planet
- G = konstanta gravitasi
- R = jarak planet ke matahari
- $m_m$  = massa matahari
- $m_p$  = massa planet

karena nilai  $\frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot m_m}$  konstan (tetap), maka bersesuaian dengan hukum III Kepler.

**Contoh Soal**

Jarak rata-rata planet Mars dengan matahari adalah 1,52 kali jarak rata-rata Bumi dengan matahari. Hitung berapa tahun periode revolusi planet Mars !

**Penyelesaian :**

Diketahui :  $R_M = 1,52 \cdot R_B$   
 $T_B = 1$  tahun

Ditanya :  $T_M \dots ?$

Jawab :

$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3}$$

$$\frac{T_M^2}{(1,52R_B)^3} = \frac{1^2}{R_B^3}$$

$$\frac{T_M^2}{1,52^3} = \frac{1}{1}$$

$$T_M = \sqrt[3]{1,52} = 1,87 \text{ tahun}$$

#### **Uji Kompetensi 4**

1. Periode bumi mengelilingi matahari 1 tahun. Jika jari-jari lintasan suatu planet mengelilingi matahari dua kali jari-jari lintasan bumi mengelilingi matahari, hitung periode revolusi planet tersebut !
2. Jarak rata-rata planet Merkurius dengan matahari 58 juta km. Jika periode revolusi planet Mars sama dengan 687 hari, dan jarak planet Mars dengan matahari 228 juta km, hitung periode revolusi planet merkurius !
3. Jarak planet A dan B dengan matahari memiliki perbandingan 1:4. Jika periode revolusi planet A 88 hari, berapa periode revolusi planet B ?
4. Sebuah planet X berjarak 4 SA dari matahari. Hitunglah waktu yang diperlukan planet X untuk mengelilingi matahari 1 putaran penuh !
5. Jarak planet M ke matahari 16 kali lebih besar dari pada planet N. Hitunglah perbandingan periode revolusi planet M dan planet N !

# Bab 3

## Elastisitas dan getaran pada pegas

### A. GAYA PEGAS

#### 1. Elastisitas

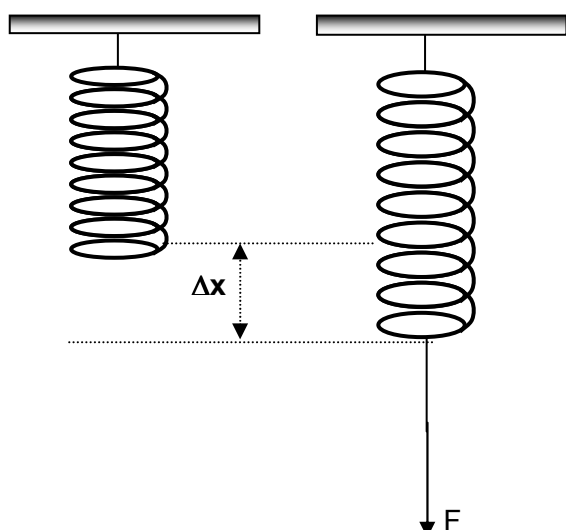
Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda tersebut dihilangkan.

Apabila pada suatu benda dikerjakan gaya, maka bentuk benda umumnya berubah. Benda elastis yaitu benda yang bentuknya dapat kembali semula bila gaya yang bekerja di hilangkan. Contoh benda elastis adalah karet dan pegas. Sedangkan benda tidak elastis (plastis) yaitu benda yang bentuknya tidak dapat kembali semula bila gaya yang bekerja di hilangkan, misal : tanah liat, plastisin, lilin dan sebagainya.

Setiap benda elastis memiliki batas elastisitas, yaitu batas besar gaya yang berhubungan dengan sifat elastik benda. Bila gaya yang bekerja pada benda melebihi batas elastisitas, maka benda tidak akan kembali ke bentuk semula setelah gaya padanya dihilangkan, tetapi justru menyebabkan benda akan patah dan putus.

#### 2. Hukum Hooke :

Hukum Hooke menyatakan bahwa jika pada sebuah pegas bekerja sebuah gaya, maka pegas akan bertambah panjang sebanding dengan besarnya gaya yang mempengaruhi pegas tersebut.



Pegas dalam keadaan tanpa beban ditarik oleh sebuah gaya (F) sehingga pegas bertambah panjang ( $\Delta x$ ). Menurut hukum **Hooke** :

$$F = k \cdot \Delta x$$

F = w = gaya tarik = berat beban (N)

$\Delta x$  = pertambahan panjang pegas (m)

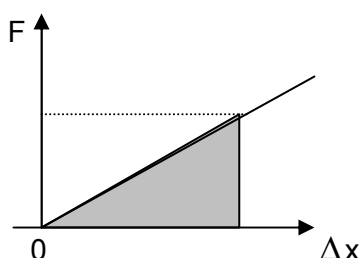
k = konstanta pegas (N/m)

Sehubungan dengan adanya batas elastisitas benda, maka hukum Hooke hanya berlaku untuk besar gaya pada interval tertentu saja (yaitu bila belum melebihi batas elastisitas).

#### 3. Energi Potensial Pegas

Pegas yang ditarik atau ditekan akan memiliki energi potensial pegas. Gaya yang bekerja pada pegas sehingga pegas bertambah panjang atau pendek melakukan usaha. Usaha yang dilakukan sebuah gaya F untuk menarik sebuah pegas sehingga bertambah panjang sebesar  $\Delta x$  besarnya sama dengan perubahan energi potensial pegas.

Grafik besar gaya yang bekerja pada pegas (F) terhadap pertambahan panjang pegas ( $\Delta x$ ) adalah :



Luas bidang yang di arsir menyatakan besar usaha yang dilakukan gaya F , yaitu

$$W = \Delta EP = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (\Delta x)^2$$

$\Delta EP = EP_2 - EP_1$ , karena  $EP_1 = 0$ , maka besarnya energi potensial pegas adalah :  $EP = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (\Delta x)^2$

Dalam kehidupan sehari-hari, beberapa alat yang memanfaatkan energi potensial pegas misalnya senapan pegas, sistem pedal rem sepeda motor, neraca pegas, jam beker dan sebagainya.

### Contoh Soal

1. Sebuah pegas ditarik dengan gaya sebesar 200 N , sehingga pegas bertambah panjang 4 cm .  
Tentukan :

- a. konstanta pegas
- b. energi potensial pegas jika pegas ditarik sehingga pertambahan panjangnya 5 cm

Penyelesaian :

Diketahui :

$$F = 200 \text{ N}$$

$$\Delta x = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Ditanya : a.  $k = \dots?$

b.  $EP = \dots?$   $\Delta x = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Jawab : a.  $k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{200}{4 \cdot 10^{-2}} = 5000 \text{ N/m}^2$

b.  $EP = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \cdot 5000 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 = 6,25 \text{ J}$

#### 4. Susunan pegas

Susunan rangkaian pegas adalah rangkaian dua pegas atau lebih. Dua pegas atau lebih dapat disusun seperti berikut :

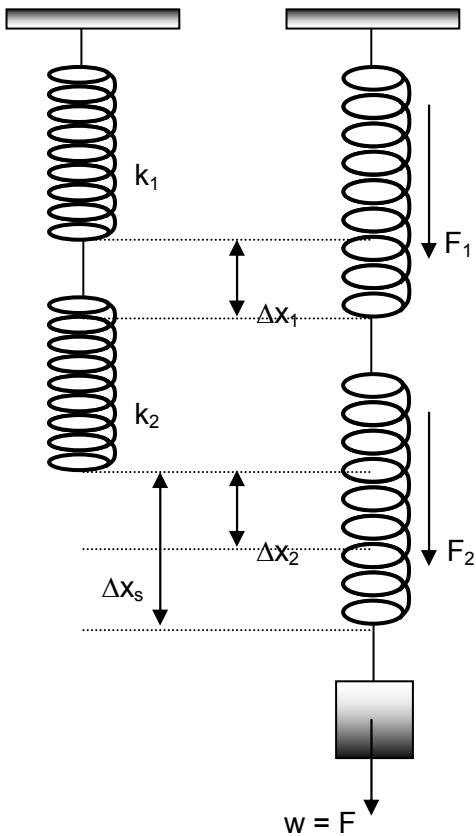
##### a. Susunan seri

Bertujuan agar memperoleh panjang pegas yang sesuai dan konstanta pegas total lebih kecil dibanding sebelum disusun seri.

##### b. Susunan Paralel

Bertujuan agar memperoleh panjang pegas yang tetap namun mempunyai konstanta lebih besar dibanding sebelum disusun paralel

Susunan Seri dari dua buah pegas :



Dua buah pegas masing-masing konstantanya  $k_1$  dan  $k_2$  dipasang seri dan ditarik dengan beban (gaya) yang besarnya  $F$ , maka :

- gaya tarik yang dialami kedua pegas sama

$$F_s = F_1 = F_2$$

- pertambahan panjang pegas total adalah:

$$\Delta x_s = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

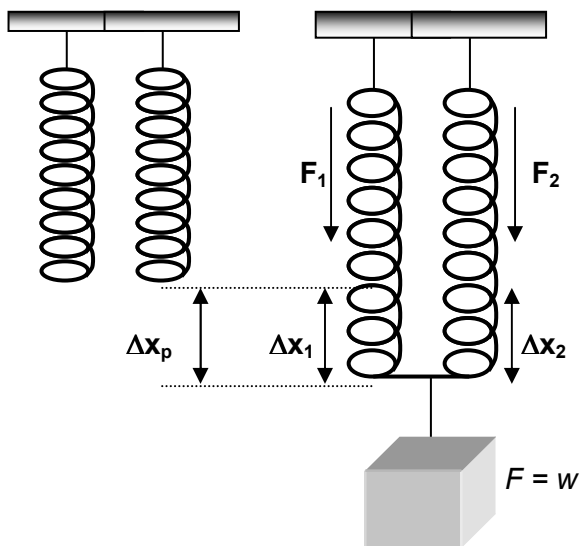
- Konstanta total pegas susunan seri :

$$\Delta x_s = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

$$\frac{F}{k_s} = \frac{F_1}{k_1} + \frac{F_2}{k_2}$$

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

b. Susunan Paralel pegas :



Jika dua pegas disusun paralel, maka :

- gaya total kedua pegas, yaitu  $F_p = F_1 + F_2$
- pertambahan panjang pegas sama besar, yaitu  $\Delta x_p = \Delta x_1 = \Delta x_2$
- konstanta pegas total paralel

$$F_p = F_1 + F_2$$

$$k \cdot \Delta x_p = k_1 \cdot \Delta x_1 + k_2 \cdot \Delta x_2$$

$$k = k_1 + k_2$$

### Contoh Soal

Dua pegas memiliki konstanta pegas masing-masing  $K_1$  dan  $K_2$  dengan  $K_2 = 3 \cdot K_1$ . Kedua pegas tersebut di susun secara paralel kemudian diubah secara seri . Berapa perbandingan pertambahan panjang antara susunan paralel dan seri jika beban kedua susunan sama.

Penyelesaian :

Diketahui :  $K_1 = K$

$$K_2 = 3 \cdot K$$

Ditanya :  $\frac{\Delta x_p}{\Delta x_s} = \dots ?$

Jawab :

$$F = K_p \cdot \Delta x_p$$

$$\Delta x_p = \frac{F}{K_p}$$

$$F = K_s \cdot \Delta x_s$$

$$\Delta x_s = \frac{F}{K_s}$$

$$\frac{\Delta x_p}{\Delta x_s} = \frac{k_s}{k_p}$$

$$K_p = K_1 + K_2$$

$$= K + 3K = 4K$$

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{K} + \frac{1}{3K}$$

$$K_s = \frac{3}{4}K$$

$$\frac{\Delta x_p}{\Delta x_s} = \frac{\frac{3}{4}K}{4K} = \frac{3}{16}$$

### Aktivitas 4

#### HUKUM HOOKE

##### Dasar Teori :

Sistem pegas diberi beban , beban akan memanjang .

##### Tujuan :

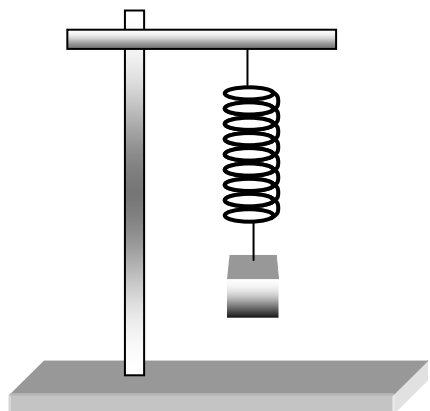
Menentukan hubungan berat beban (  $\Delta F$  ) dengan perubahan panjang (  $\Delta l$  )

##### Alat dan Bahan :

1. Statif 1 set
2. Pegas 1 buah
3. Mistar 100 cm 1 buah
4. Beban 50 gr, 100 gr, 150 gr dan 200 gr

##### Langkah Kerja :

1. Pasang alat seperti pada Gambar.



2. Pasang beban  $m_0 = 50$  gram pada pegas
3. Ukur berat beban tersebut  $w = m \times g$   
 $g = 10 \text{ m/s}^2$ , jadi  $w = m \times g$   
 $= 0,05 \times 10$   
 $= 0,5 \text{ N}$
4. Ukur panjang pegas mula-mula ( $l_0$ )  
 Panjang pegas mula-mula ( $l_0$ ) yaitu kedudukan mula-mula beban pada pegas,
5. Ulangi lagi percobaan tersebut dengan beban 100 g , 150 g dan 200 g .

## Hasil Pengamatan

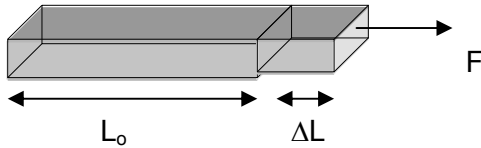
No	Massa beban (m)	Berat beban (w=F)	Panjang pegas (l)	$\Delta x = l - l_0$	$\frac{F}{\Delta x}$
1	100gr	.....	.....	.....	.....
2	150gr	.....	.....	.....	.....
3	200gr	.....	.....	.....	.....

### Tugas :

1. Buatlah grafik hubungan F dan  $\Delta x$  dan hitung konstanta pegas yang anda gunakan
2. Buatlah kesimpulan hasil percobaan .

### 5. Tegangan (stress)

Tegangan (stress) pada suatu benda menyebabkan perubahan bentuk benda nilainya sama dengan gaya F yang diberikan pada benda per satuan luas penampang A tempat gaya tersebut bekerja.



Sebuah benda yang mula-mula panjangnya  $l_0$  ditarik dengan gaya F sehingga bertambah panjang  $\Delta l$ . Jika luas permukaan yang ditarik gaya F adalah A, maka tegangan (stress) yang dialami benda adalah :

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

= tegangan ( $N/m^2 = \text{pascal}$ )  
 F = gaya yang bekerja (N)  
 A = luas bidang tekan (N)

### 6. Regangan (strain)

Regangan adalah pertambahan panjang benda persatuan panjang benda mula-mula. Jadi besarnya regangan adalah :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

e = regangan

$\Delta L$  = perubahan panjang (m)  
 $L_0$  = panjang mula-mula (m)

### 7. Modulus Elastisitas (Modulus Young)

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara stress dan strain.

$$E = \frac{\sigma}{e} \text{ atau } E = \frac{F.L_0}{A.\Delta L}$$

E = Modulus Young ( $N/m^2$ )

### Contoh Soal

Seutas kawat memiliki luas penampang  $2 \text{ mm}^2$  di tarik dengan gaya sebesar  $4 \text{ N}$  . , akibatnya kawat bertambah panjang  $0,02 \text{ mm}$  . Jika panjang kawat mula-mula  $50 \text{ cm}$  .

- Tentukan :
- a. Tegangan kawat
  - b. Regangan kawat
  - c. Modulus Young kawat
  - d. Konstanta K

Penyelesaian :

Diketahui :

$$F = 4 \text{ N}$$

$$\Delta L = 0,02 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m} = 5 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ mm}^2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Ditanyakan :

- a. = ..... ?
- b. e = ..... ?
- c. E = ..... ?
- d. K = .... ?

Jawab : a.  $= \frac{F}{A} = \frac{4}{2 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

b.  $e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-1}} = 4 \cdot 10^{-5}$

c.  $E = \frac{\sigma}{e} = \frac{2 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

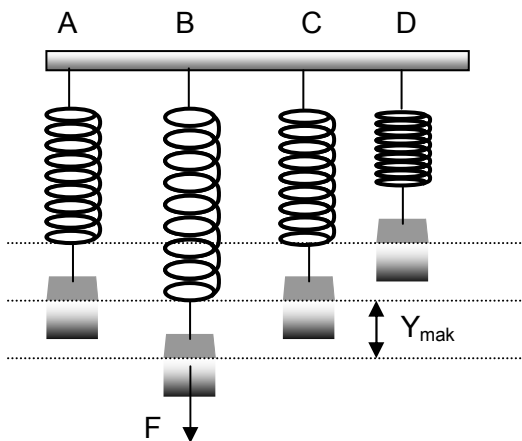
d.  $E = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot \Delta L}$  dan  $F = \frac{E \cdot A \cdot \Delta L}{L_0}$

jika  $K \cdot \Delta L = \frac{E \cdot A \cdot \Delta L}{L_0}$ , maka  $K = \frac{E \cdot A}{L_0} = \frac{5 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-1}} = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}$

## B. Getaran Pegas

Getaran adalah gerak bolak-balik suatu benda disekitar titik setimbang, yang disebabkan oleh gaya yang bekerja pada benda. Besarnya gaya tersebut sebanding dengan simpangan getaran dan arahnya selalu menuju titik setimbang.

Perhatikan ilustrasi getaran pegas berikut :



- Keadaan A  
Pegas yang digantungi beban dalam keadaan diam (berada di titik setimbang), sehingga simpangannya minimum (nol).
- Keadaan B  
Beban pada pegas ditarik ke bawah hingga mencapai simpangan maksimum bawah, sehingga kecepatan benda minimum (nol), gaya maksimum yang arahnya menuju titik setimbang.
- Keadaan C  
Gaya tarik pada beban pegas dihilangkan (beban dilepaskan) sehingga pegas bergetar ke atas melalui titik setimbang, sehingga gaya minimum (nol), kecepatan benda maksimum yang arahnya meninggalkan titik setimbang.
- Keadaan D  
Benda mencapai simpangan maksimum atas, sehingga kecepatan benda minimum dan gaya maksimum yang arahnya menuju titik setimbang.
- Keadaan bergetar (berayun)  
Pegas akan bergetar secara periodik melalui keadaan A, B, C dan D, begitu seterusnya hingga getaran pegas berhenti.

### Penerapan hukum Newton pada getaran pegas

Sesuai dengan hukum Hooke :

$$F_{\text{pegas}} = k \cdot \Delta x = k \cdot y$$

Hukum II Newton menyatakan bahwa :

$$F_{\text{simpangan}} = m \cdot a$$

$$= m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sin \theta$$

jika  $F_{\text{pegas}} = F_{\text{simpangan}}$

$$k \cdot y = m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sin \theta$$

$$k = m \cdot \omega^2$$

$$k = m \cdot \underline{\omega^2}$$

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

T = perioda pegas (s)  
 m = massa beban (kg)  
 k = konstanta pegas (N/m)

### Aktifitas

## GETARAN PEGAS

### Dasar Teori

Sistem getaran pegas terdiri beban diikat pegas diayunkan ( digetarkan )  
 Perioda ayunan yaitu waktu yang dibutuhkan beban ( bandul ) untuk 1 kali getaran .

### Tujuan

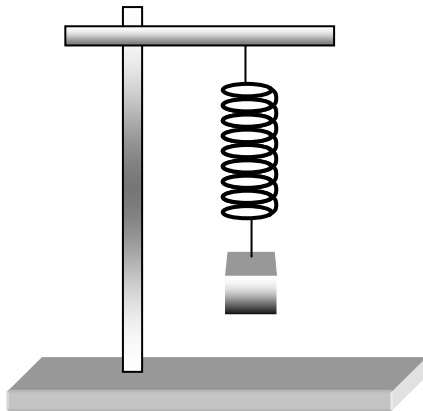
Menentukan hubungan perioda ( T ) dengan massa beban ( m ) .

### Alat dan Bahan

1. Statif set
2. Pegas 1 buah
3. Stop watch 1 buah
4. Beban 50 gram, 100 gram, 150 gram, 200 gram dan 250 gram

### Langkah Kerja :

1. Pasang alat seperti pada Gambar.



2. Pasang beban 150 gram pada pegas
3. Ayunkan (getarkan) 10 kali ayunan dan ukur waktunya. Untuk perioda ( T ) diperoleh dari waktu 10 kali ayunan dibagi 10
4. Ulangi lagi dengan beban 200 g dan 250 g

### Hasil Pengamatan

No	Massa beban ( m ) <i>gram</i>	Waktu 10 kali ayunan (s)	Periode (T) s
1	150		
2	200		
3	250		

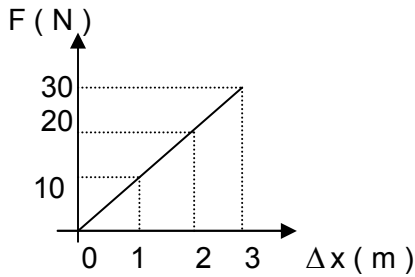
### Tugas :

1. Buatlah grafik hubungan T dan m .
2. Buatlah kesimpulan hasil percobaan .

### Uji Kompetensi 5

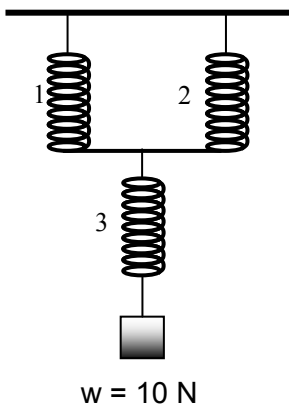
1. Sebuah balok bermassa 5 kg digantungkan pada ujung pegas, sehingga pegas bertambah panjang 4 cm. Tentukan :

- a. konstanta pegas
  - b. Energi potensial pegas
2. Jika suatu pegas dikenai gaya , maka panjang pegas tersebut berubah , seperti dilukiskan pada grafik di bawah ini :



Hitunglah :

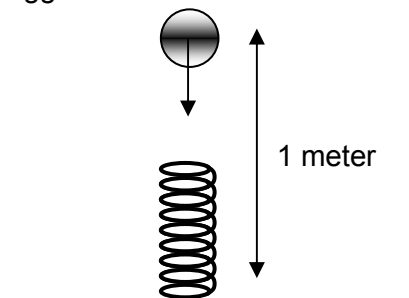
- a. konstanta pegas
  - b. panjang pegas saat pegas ditarik dengan gaya 100 N
  - c. Energi potensial pegas saat ditarik oleh gaya 100 N
3. Sebuah pegas saat ditarik oleh gaya 25 N energi potensialnya 2,5 Joule. Hitunglah konstanta pegas tersebut !
4. Sebuah ketapel mampu melemparkan batu seberat 30 gram vertikal ke atas setinggi 69 meter , jika karetinya di tarik sepanjang 30 cm ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ), tentukan konstanta elastisitas karet ketapel tersebut !
5. Sebuah busur anak panah jika ditarik 30 cm ke belakang , energi potensialnya 64 joule . Jika busur tersebut ditarik ke belakang sejauh 15 cm, berapa energi potensialnya ?
6. Sebuah pegas panjangnya 50 cm dan konstanta elastisitasnya  $1000 \text{ N m}^{-1}$ . Berapa panjang pegas jika kepadanya di gantungkan benda 10 kg ? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
7. Sebuah pegas digantungi beban bermassa 1 kg ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) sehingga bertambah panjang 5 cm. Kemudian beban ditarik ke bawah dengan gaya 40 N. Hitunglah :
- a. konstanta pegas
  - b. energi potensial pegas saat digantungi beban
  - c. energi potensial pegas saat beban ditarik ke bawah
8. Tiga buah pegas masing-masing konstantanya 18 N/m, 6 N/m dan 9 N/m disusun seri. Pada ujung pegas digantungi beban sehingga pegas bertambah panjang 60 cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah :
- a. konstanta pegas seri
  - b. massa beban yang digantungkan tersebut
9. Tiga buah pegas masing-masing konstantanya 18 N/m, 6 N/m dan 9 N/m disusun seri. Pada ujung pegas digantungi beban sehingga pegas bertambah panjang 64 cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah :
- a. konstanta pegas paralel
  - b. massa beban yang digantungkan tersebut
10. Tiga buah pegas dipasang seperti pada gambar berikut :



Jika konstanta pegas masing-masing 50 N/m, 70 N/m dan 60 N/m, hitunglah :

- a. pertambahan panjang pegas total
- b. Energi potensial susunan pegas tersebut

11. Sebuah bola besi bermassa 1,5 kg dijatuhkan pada sebuah pegas yang konstantanya 3.000 N/m dari ketinggian 1 m



Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah :

- a. panjang pegas yang tertekan
- b. energi potensial pegas

12. Sebuah balok bermassa 1 kg bergerak dalam bidang datar licin dengan kecepatan 12 m/s. Balok tersebut menumbuk pegas horizontal yang konstantanya 2.500 N/m.



Berapa panjang pegas yang tertekan akibat tertumbuk balok tersebut ?

13. Di dalam sebuah lift tergantung sebuah pegas yang konstantanya 400 N/m. Ujung bawah pegas digantungi beban 2 kg. Hitunglah pertambahan panjang pegas jika lift tersebut :
- diam
  - bergerak turun dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$
  - bergerak naik dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$
14. Sebuah kawat baja piano memiliki panjang 1,6 m dan diameter 0,2 cm . Kawat tersebut ditarik hingga bertambah panjang 0,3 cm. Hitunglah besarnya gaya tarik !
15. Sepotong kawat logam panjangnya 140 cm dan luas penampangnya  $2 \text{ mm}^2$  ditarik dengan gaya 100 N sehingga bertambah panjang 1 mm. Berapa modulus elastis bahan kawat logam tersebut ?
16. Seutas kawat diameternya 3,5 mm dan panjangnya 4,0 digantung vertikal dan ujung bebasnya diberi beban 46,2 kg. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Jika kawat bertambah panjang 3,2 mm, tentukan :
- stress
  - strain
  - modulus young
  - konstanta elastisitas kawat
17. Untuk menembakkan sebuah peluru yang massanya 2 gram , suatu pegas senapan angin di tekan sehingga panjangnya tinggal 60 % dari panjang semula . Berapa kecepatan awal peluru jika diketahui konstanta pegasnya  $2000 \text{ N/m}^2$  dan panjang pegas mula-mula 20 cm ?

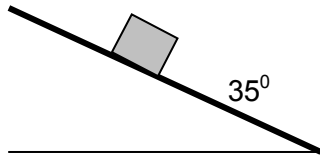
**Evaluasi**

**Pilihan Ganda**

Pilihlah jawaban paling tepat .

1. Sebuah balok kayu yang beratnya 20 N diam diatas lantai mendatar . jika koefisien gesekan statis antara balok dengan lantai 0,4, gaya gesekan statis maksimum besarnya ...
- 2 N
  - 4 N
  - 8 N
  - 16 N
  - 20 N
2. Perhatikan gambar berikut
- 
- Jika  $\mu_s = 0,6$  dan  $\mu_k = 0,5$  ,  $m_1 = 10 \text{ kg}$  dan  $m_2 = 3 \text{ kg}$  . Apabila massa katrol dan gesek katrol diabaikan ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) , maka tegangan tali T adalah .....
- 30 N
  - 40 N
  - 50 N
  - 70 N
  - 80 N
3. Gaya gesekan maksimum terjadi pada saat benda ...
- tepat akan bergerak
  - bergerak ke atas
  - diam
  - bergerak ke bawah
  - bergerak dengan kecepatan konstan
4. Sebuah balok diletakkan di atas bidang miring . Besar koefisien gesekan statik antara balok dengan permukaan bidang miring bergantung pada ...
- massa benda
  - sudut kemiringan benda
  - berat benda
  - kekasaran permukaan bidang
  - kecepatan bidang

5.



Balok kayu tepat saat akan bergerak pada posisi seperti pada gambar di atas . Jika diketahui tangen  $35^\circ = 0,7$  maka besar koefisien gesekan statik benda tersebut adalah ....

- A. 0,18  
 B. 0.35  
 C. 0,70  
 D. 6.87  
 E. tidak dapat dihitung karena massa benda tidak diketahui
6. Sebuah benda bergerak lurus dengan kecepatan awal 20 m/s . Jika koefisien gesekan antara benda dan lantai 0,2 maka jarak yang ditempuh saat bergerak hingga berhenti ...  
 A. 50 m  
 B. 80 m  
 C. 100 m  
 D. 160 m  
 E. 400 m
7. Bila perbandingan jari –jari sebuah planet (  $R_p$  ) dan jari-jari bumi (  $R_b$  ) 2: 1 sedangkan massa planet (  $M_p$  ) dan massa bumi (  $M_b$  ) berbanding 10 : 1 , maka orang yang beratnya di bumi 100 N di planet menjadi .....
- A. 100 N  
 B. 200 N  
 C. 250 N  
 D. 400 N  
 E. 500 N
8. Pada getaran harmonik jika massa beban yang digantung pada ujung bawah pegas 1 kg , perioda getarannya 2 detik . Jika massa beban ditambah sehingga sekarang menjadi 4 kg , maka perioda getarnya adalah ....  
 A. 0,25 detik  
 B. 0,50 detik  
 C. 1 detik  
 D. 4 detik  
 E. 9 detik
9. Jika bumi dianggap bulat seperti bola dengan jari-jari R dan percepatan gravitasi di permukaan bumi sebesar  $g = 10 \text{ m/s}^2$  , maka besarnya percepatan gravitasi pada ketinggian 4R di atas permukaan bumi adalah sebesar.....  
 a.  $0,2 \text{ m/s}^2$   
 b.  $0,4 \text{ m/s}^2$   
 c.  $0,5 \text{ m/s}^2$   
 d.  $2 \text{ m/s}^2$   
 e.  $5 \text{ m/s}^2$
10. Bila berat benda di permukaan bumi = w newton , maka berat benda itu di luar bumi yang jauhnya 3R dari pusat bumi adalah .....
- a.  $\frac{1}{2} \text{ N}$   
 b.  $\frac{1}{3} \text{ N}$   
 c.  $\frac{1}{4} \text{ N}$   
 d.  $\frac{1}{6} \text{ N}$   
 e.  $\frac{1}{9} \text{ N}$

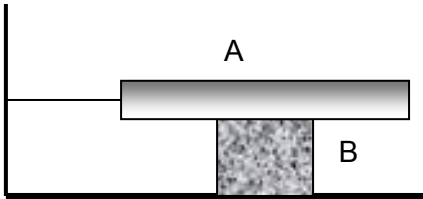
11. Jika perbandingan jarak planet X ke matahari dengan jarak bumi ke matahari adalah  $5 : 1$  , maka perioda planet X mengedari matahari adalah .....
- 3 tahun
  - 6 tahun
  - 9 tahun
  - $5\sqrt{5}$  tahun
  - $6\sqrt{5}$  tahun
12. Garis hubung antara planet dengan matahari dalam selang waktu yang sama menyapu luasan yang sama ini merupakan pernyataan hukum .....
- I Newton
  - II Newton
  - I Kepler
  - II Kepler
  - III Kepler
13. Sebuah benda bermassa 1 kg di gantungkan pada sebuah pegas yang konstanta pegasnya 100 N/m . Maka frekuensi getarannya jika pegas di beri simpangan kecil adalah ....
- 1,59 Hz
  - 2,59 Hz
  - 3,59 Hz
  - 4,59 Hz
  - 5,59 Hz
14. Sebuah satelit yang di luncurkan keatas dengan laju awal  $v$  . Jika gesekan dengan udara diabaikan , massa bumi =  $M$  , massa satelit =  $m$  , dan jari-jari bumi =  $R$  , maka agar satelit tersebut tidak kembali ke bumi , besar  $v^2$  sama dengan .....
- $\frac{M.m}{R}$
  - $\frac{M}{R}$
  - $M^2R$
  - $MR$
  - $MmR$
15. Sebuah satelit bumi mengorbit setinggi 3600 km di atas permukaan bumi . Jika jari-jari bumi 6400 km dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan, maka kelajuannya adalah .....
- 6,4 km/s
  - 64 km/s
  - 640 km/s
  - 6400 km/s
  - 64000 km/s
16. Besar gaya gravitasi antara dua benda yang saling berinteraksi adalah .....
- berbanding terbalik dengan massa salah satu benda
  - berbanding terbalik dengan massa masing-masing benda
  - berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua benda
  - sebanding dengan jarak kedua benda
  - sebanding dengan kuadrat jarak kedua benda
17. Diketahui gaya gravitasi bulan  $1/6$  kali gaya gravitasi bumi . Jika seorang atlet lompat tinggi dapat lompat setinggi 1,9 m di bumi , maka di Bulan ia dapat melompat setinggi .....
- 0,32 m
  - 1,73 m
  - 2,07 m
  - 7,9 m
  - 11,4 m
18. Berat batu di Bumi adalah 500 N , jika batu tersebut di bawa ke Mars yang memiliki massa 0,1 massa bumi dan jari-jarinya 0,5 jari-jari bumi , maka berat batu tersebut di Mars adalah .....
- 12,5 N
  - 25 N
  - 100 N
  - 120 N
  - 200 N

19. Jarak antara Bulan dan Bumi adalah 383000 km dan massa bulan  $\frac{1}{81}$  massa bumi . Agar pesawat antariksa yang di tempatkan antara Bumi dan Bulan memiliki berat nol , maka jarak pesawat dari sejauh .....
- 302000 km
  - 321600 km
  - 344700 km
  - 361200 km
  - 382400 km
20. Sebuah satelit penelitian yang massanya 200 kg bergerak mengelilingi Bumi dengan percepatan sentripetal  $2000 \text{ m/s}^2$  . Besar gaya tarik yang bekerja pada satelit tersebut adalah .....
- 4000 N
  - 40000 N
  - 400000 N
  - 800000 N
  - 1600000 N
21. Sebuah pegas saat di beri gaya sebesar 80 N bertambah panjang 2 cm . Maka pertambahan panjang pegas jika di beri gaya 100 N adalah .....
- 0,3 cm
  - 0,5 cm
  - 1,5 cm
  - 2,5 cm
  - 3,5 cm
22. Pegas mula-mula panjangnya 20 cm di gantungkan di atap , kemudian pada ujung bawah di beri beban 100 gr (  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ) sehingga panjangnya menjadi 25 cm . Maka besar energi potensial pegas adalah .....
- 0,025 J
  - 0,125 J
  - 0,225 J
  - 0,245 J
  - 0,345 J
23. Dua buah pegas masing-masing mempunyai konstanta pegas  $2 \cdot 10^2 \text{ N/m}$  dan  $4 \cdot 10^2 \text{ N/m}$  . Jika pegas tersebut disusun paralel maka konstanta pengganti susunan paralel tersebut adalah .....
- $2 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-2}$
  - $4 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-2}$
  - $6 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-2}$
  - $8 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-2}$
  - $12 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-2}$
24. Dua buah pegas di susun paralel . Konstanta gaya pegas pertama besarnya empat kali pegas kedua . Bila untuk meregangkan pegas tersebut sepanjang 4 cm diperlukan usaha 0,8 J , besar konstanta gaya tiap-tiap pegas adalah ..... N/m
- $K_1 = 400$  dan  $K_2 = 100$
  - $K_1 = 800$  dan  $K_2 = 200$
  - $K_1 = 1000$  dan  $K_2 = 250$
  - $K_1 = 2000$  dan  $K_2 = 500$
  - $K_1 = 3000$  dan  $K_2 = 750$
25. Suatu kawat dengan luas penampang  $2 \text{ mm}^2$  dan panjang mula-mula 1 m . Jika kawat tersebut ditarik dengan gaya 8 N pertambahan panjang kawat 0,02 mm , maka kawat tersebut terbuat dari bahan yang memiliki modulus elastisitas .....  $\text{N/m}^2$
- $0,5 \cdot 10^{10}$
  - $1 \cdot 10^{10}$
  - $2 \cdot 10^{10}$
  - $3 \cdot 10^{10}$
  - $4 \cdot 10^{10}$

## Uraian

**Kerjakan soal-soal berikut dengan benar !**

1. Perhatikan gambar berikut :



Balok A dan B bermassa 150 N dan 400 N. Balok A diikat dengan tali ke tembok. Jika koefisien gesekan antara balok A dan B 0,2 dan koefisien gesekan antara balok B dengan lantai 0,5, tentukan gaya minimum untuk menggeser balok B !

2. Gaya gravitasi antara dua buah benda yang bermassa sama adalah 3.942 N. Jika kedua kapal berjarak 64 m, tentukan massa masing-masing kapal !
3. Empat buah partikel diletakkan dititik-titik sudut persegi yang panjang sisinya 1 m. Jika massa masing-masing partikel 1 kg, 2 kg, 3 kg dan 2 kg, hitunglah :
  - a. energi potensial sistem
  - b. potensial gravitasi di pusat persegi
4. Kawat besi yang luas penampangnya  $6 \text{ mm}^2$  diregangkan dengan gaya 4,8 N sehingga bertambah panjang 0,0025 cm. Jika panjang kawat mula-mula 80 cm, hitunglah :
  - a. modulus young besi
  - b. pertambahan panjang kawat jika diregangkan dengan gaya 5,2 N
5. Sebuah pegas panjang tanpa beban adalah 30 cm. Jika pegas digantungi beban 100 gram, panjang pegas menjadi 35 cm. Berapa cm-kah pegas harus ditarik dari kedudukan setimbang agar energi potensial pegasnya sebesar 0,1 Joule ?

# Bab 4

## Usaha dan Perubahan Energi

### Standar Kompetensi

Mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan mekanika klasik sistem diskret partikel.

### Kompetensi Dasar

Menganalisis hubungan antara usaha, perubahan energi dengan hukum kekekalan energi mekanik.

### Uraian Materi Pokok

Usaha dan Energi

- Pengertian Usaha
- Energi kinetik
- Energi potensial
- Hukum kekekalan energi pada medan gravitasi homogen
- Hukum kekekalan energi pada medan gravitasi tidak homogen

### Pengalaman Belajar

- Menemukan hubungan antara gaya, usaha dan energi kinetik ke dalam bentuk persamaan melalui diskusi informasi
- Menganalisa secara kuantitatif konsep usaha dan energi untuk memecahkan masalah.

### Indikator

- Memformulasikan hubungan antara gaya, energi, usaha dan daya ke dalam bentuk persamaan.
- Mewujudkan kaitan usaha dengan perubahan energi kinetik
- Memformulasikan konsep daya ke dalam bentuk persamaan dan kaitannya dengan usaha dan energi
- Memberikan contoh-contoh pemanfaatan energi potensial dalam kehidupan sehari-hari
- Memberikan contoh perubahan bentuk energi
- Memanfaatkan energi yang ada di sekitar secara berdaya guna.

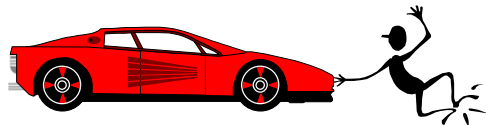
### Pendalaman Materi

#### A. USAHA

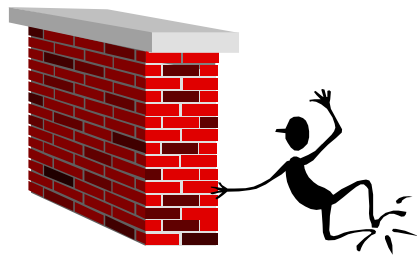
Dalam kehidupan sehari-hari, yang dimaksud usaha adalah suatu kegiatan yang memerlukan penerahan daya otot dan pikiran untuk mendapatkan sesuatu yang diinginkan. Seseorang dikatakan telah melakukan usaha bila dia berhasil memperoleh sesuatu yang diinginkan. Dalam Fisika pengertian usaha dibatasi pada hal yang berhubungan dengan gaya dan perpindahan yang ditimbulkannya.

Untuk mengetahui lebih jauh tentang konsep usaha dalam fisika, perhatikan beberapa contoh kegiatan berikut :

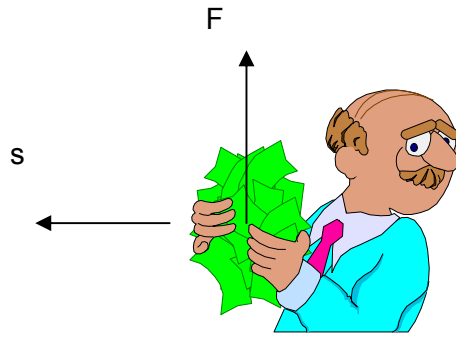
1. Budi mendorong mobil dengan gaya  $F$ . Jika mobil bergerak atau berpindah, dikatakan bahwa Budi telah melakukan usaha, yaitu memindahkan mobil. Besarnya usaha Budi tergantung pada *besarnya gaya ( $F$ )* yang diberikan Budi dan *perpindahan* mobil.



2. Pardi mendorong tembok beton yang kokoh dengan gaya  $F$ . Tembok tetap diam ditempatnya. Pardi dikatakan tidak melakukan usaha walaupun ada gaya, karena mobil tidak berpindah. Dengan kata lain usaha yang dilakukan Pardi sama dengan nol.



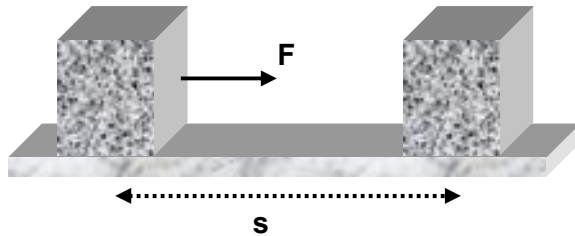
3. Pak Jaun mengangkat barang dengan gaya  $F$  ke atas dan membawanya berjalan ke depan sejauh  $s$ . Secara Fisika gaya angkat Pak Jaun tidak menghasilkan usaha, karena arah gaya  $F$  tidak sejajar dengan arah perpindahan  $s$ .



Berdasarkan contoh di atas, dapat disimpulkan bahwa usaha dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

1. gaya
2. perpindahan
3. arah gaya terhadap perpindahan benda

Dalam fisika, usaha diartikan sebagai hasil kali antara vektor gaya ( $F$ ) dengan vektor perpindahan ( $s$ ) secara skalar.



Jika sebuah benda yang terletak pada bidang datar ditarik dengan gaya ( $F$ ) mendatar, sehingga benda berpindah sejauh  $s$  searah dengan arah gaya, maka besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya ( $F$ ) untuk memindahkan benda sejauh  $s$  adalah :

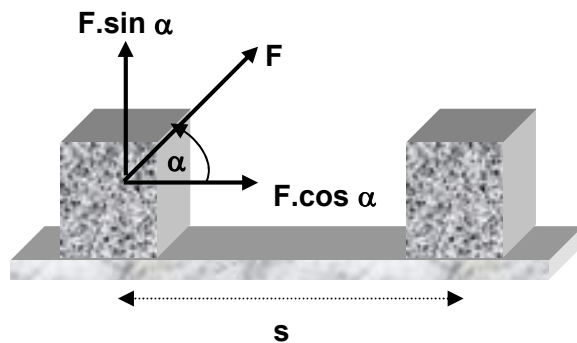
$$W = F \cdot s$$

$W$  = usaha (joule = Nm)

$F$  = gaya (N)

$S$  = perpindahan benda (m)

Satuan usaha dalam MKS adalah *Joule*, dan dalam sistem CGS adalah *erg*. ( $1 J = 10^7 \text{ erg}$ ).

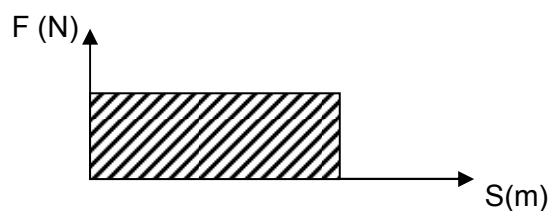


Apabila gaya ( $F$ ) tidak mengakibatkan benda terangkat maka komponen gaya ( $F$ ) yang menghasilkan usaha adalah yang searah (segaris) dengan perpindahan ( $s$ ), yaitu  $F \cdot \cos \alpha$ , sehingga usaha yang dilakukan untuk memindahkan benda sejauh  $s$  adalah :

$$W = F \cdot \cos \alpha \cdot s$$

$\alpha$  = sudut apit antara  $F$  dengan  $s$  ( $^\circ$ )

Secara grafik hubungan antara gaya  $F$  yang searah dengan perpindahan benda  $s$  adalah :



Dari grafik dapat dilihat bahwa :

$$\text{Usaha} = \text{luas daerah yang diarsir}$$

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa ada jenis gaya yang menghasilkan usaha tetapi tidak tergantung pada bentuk lintasannya, namun tergantung pada keadaan (kedudukan) awal dan akhir benda.  $s$  (m)

Gaya yang demikian disebut sebagai gaya konservatif. Sebaliknya gaya non konservatif akan menghasilkan usaha yang dipengaruhi oleh lintasan tempuhnya.

### Contoh Soal

Sebuah balok bermassa 5 kg berada pada bidang datar licin didorong dengan gaya 100 N membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap bidang datar. Jika gaya bekerja selama 4 sekon, tentukan :

- percepatan benda
- perpindahan balok
- usaha yang dilakukan untuk menggeser balok

Penyelesaian :

Diketahui :  $m = 5 \text{ kg}$   
 $F = 100 \text{ N}$   
 $\alpha = 60^\circ$   
 $t = 4 \text{ s}$

Ditanya : a. a  
b. s  
c. W

Jawab :

a. sesuai hukum II Newton,

$$a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{F \cdot \cos \alpha}{m} = \frac{100 \cdot \cos 60^\circ}{5} = 10 \text{ m/s}^2$$

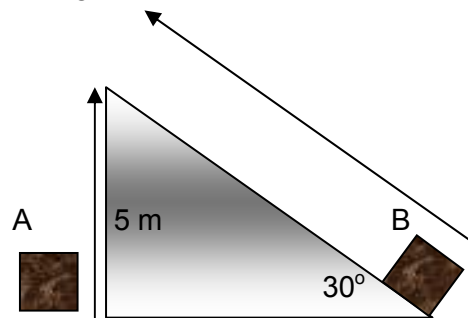
b. Persamaan GLBB

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 0 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2 = 80 \text{ m}$$

c.  $W = F \cdot \cos \alpha \cdot S = 100 \cdot \cos 60^\circ \cdot 80 = 4000 \text{ J}$

### Uji Kompetensi 1

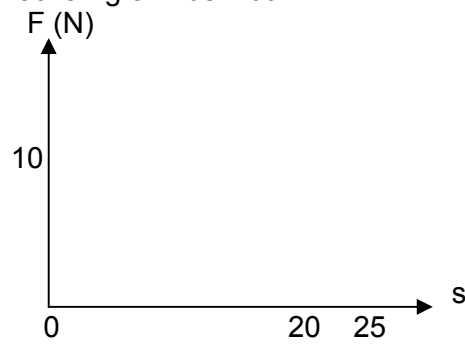
- Budi setiap hari lari mengelilingi lapangan berbentuk persegi yang panjang sisinya 50 m. Hitunglah usaha yang dilakukan budi untuk berlari dua kali putaran penuh !
- Sebuah benda didorong dengan gaya horizontal 40 N sehingga benda bergeser sejauh 200 cm. Hitung usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut !
- Sebuah balok yang diam di atas lantai licin bermassa 2 kg ditarik dengan gaya 10 N membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap lantai. Jika gaya bekerja pada benda selama 2 s, hitung usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut !
- Sebuah peti bermassa 100 kg terletak di atas lantai, diangkat hingga ketinggian 5 m. Hitung usaha yang dilakukan !
- Sebuah buah mangga beratnya 6,5 N berada pada ketinggian 5 m. Akibat gaya berat, buah mangga tersebut jatuh. Hitung usaha yang dilakukan oleh gaya berat yang menyebabkan mangga jatuh sampai di tanah !
- Balok bermassa 1 kg terletak di atas bidang miring licin dengan sudut kemiringan bidang  $30^\circ$ . Jika balok meluncur sejauh 2 m menuruni bidang miring, hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya berat !
- Perhatikan gambar berikut :



Balok A dan B massanya sama 5 kg hendak dipindahkan ke puncak bidang miring dengan cara yang berbeda. Balok A diangkat ke atas, sedangkan balok B didorong melalui bidang miring. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah usaha minimum yang diperlukan :

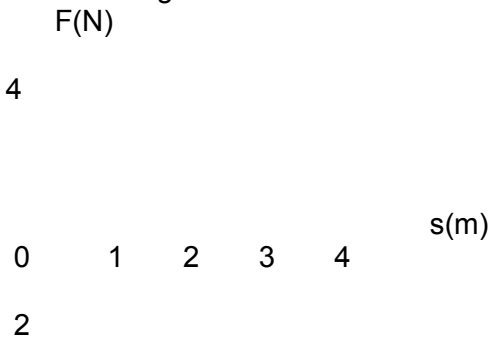
- untuk memindahkan balok A
  - untuk memindahkan balok B
- Harianto mengendarai sepeda motor. Pada suatu saat harianto mengerem sepedanya dengan gaya 40 N, sehingga sepeda berhenti setelah menempuh jarak 15 m. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh Harianto untuk menghentikan sepedanya !
  - Sebuah gaya dengan persamaan  $F = 20i + 5j$  Newton mendorong sebuah benda sehingga berpindah sejauh  $s = 4i + 2j$  meter. Hitunglah besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut !
  - Sebuah mobil bermassa 1 ton mula-mula bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Karena sesuatu hal, mobil direm hingga berhenti. Hitunglah usaha yang dilakukan untuk menghentikan mobil !

11. Tiga buah gaya  $F_1$ ,  $F_2$  dan  $F_3$  masing-masing 5 N,  $8\sqrt{3}$  N dan 6 N mendorong sebuah benda. Jika ketiga gaya tersebut membentuk sudut  $90^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $60^\circ$  terhadap arah perpindahan benda, hitunglah usaha total ketiga gaya untuk memindahkan benda sejauh 2 m !
12. Benda dengan massa 10 kg berada di bidang datar kasar yang koefisien gesekannya 0,40 dan 0,35. Benda di tarik dengan gaya horisontal yang tetap 50 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut untuk memindahkan benda sejauh 2 m !
13. Benda dengan massa 10 kg berada di bidang datar kasar yang koefisien gesekannya 0,40 dan 0,35. Benda di tarik dengan gaya horisontal yang tetap 30 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut untuk memindahkan benda !
14. Perhatikan grafik berikut :



Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya F pada grafik di atas !

15. Perhatikan grafik berikut :



Hitunglah usaha total yang dilakukan gaya F di atas !

16. Dua orang anak mendorong sebuah meja bermassa 40 kg di atas lantai licin dengan gaya masing-masing 10 N dan 30 N selama 4 s. Hitunglah usaha yang dilakukan untuk menggeser meja tersebut jika kedua anak mendorong meja dengan arah :
  - a. searah
  - b. berlawanan arah.

## B. ENERGI

Energi didefinisikan sebagai kemampuan melakukan usaha. Semua benda dapat melakukan usaha jika benda tersebut memiliki energi, sehingga timbulnya usaha karena adanya proses perubahan energi. Energi tersedia dalam berbagai bentuk. Berikut ini adalah jenis-jenis energi :

1. energi kimia
2. energi listrik
3. energi cahaya
4. energi bunyi
5. energi panas / kalor
6. energi nuklir
7. energi kinetik
8. energi potyensial
9. energi mekanik
10. energi air
11. energi angin, dan sebagainya.

Energi dapat berubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Contoh :

1. Energi cahaya dari matahari dapat dirubah menjadi energi listrik dengan alat sel fotolistrik. Demikian juga sebaliknya energi listrik dapat dirubah menjadi energi cahaya melalui lampu listrik.
2. Energi listrik dapat dirubah menjadi energi panas melalui setrika listrik.
3. Energi listrik dapat dirubah menjadi energi mekanik (gerak) melalui kipas angin.(motor listrik)

## ENERGI KINETIK

### 1. Pengertian Energi kinetik

Energi kinetik hanya dimiliki oleh benda yang sedang bergerak (memiliki kecepatan). Besarnya energi kinetik sebanding dengan besarnya massa dan kecepatan benda. Benda yang bermassa  $m$  yang sedang bergerak dengan kecepatan  $v$ , memiliki energi kinetik yang besarnya :

$$EK = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

EK = Energi kinetik (joule)  
 $m$  = massa benda (kg)  
 $v$  = kecepatan benda (m/s)

### 2. Hubungan Usaha dengan energi kinetik

Jika sebuah benda yang mula-mula bergerak dengan kecepatan  $v_0$  mengalami percepatan  $a$  selama waktu  $t$ , maka kecepatan benda menjadi  $v_t$ . Selama waktu tersebut benda berpindah sejauh  $s$ . Ingat rumus GLBB, bahwa :

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

atau

$$a \cdot s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2}$$

Usaha yang diperlukan untuk mengubah kecepatan benda dari  $v_1$  ke  $v_2$  adalah :  $W = F \cdot s$   
Karena  $F = m \cdot a$ , maka :

$$W = m \cdot a \cdot s$$

$$W = m \cdot \left( \frac{v_t^2 - v_0^2}{2} \right)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_t^2 - v_0^2)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_t^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

Jadi :

$$W = EK_t - EK_0$$
$$W = \Delta EK$$

$W$  = usaha (joule)  
 $EK_0$  = energi kinetik mula-mula (J)  
 $EK_t$  = energi kinetik akhir (J)

Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *usaha* merupakan *perubahan energi kinetik*.

## ENERGI POTENSIAL

### 1. Pengertian Energi potensial

Energi potensial adalah energi yang tersimpan dalam suatu benda. Energi potensial selalu dikaitkan dengan kedudukan dan keadaan benda.

#### a. Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi merupakan energi potensial yang tersimpan pada suatu benda akibat pengaruh gaya gravitasi bumi. Energi potensial gravitasi dipengaruhi oleh massa dan kedudukan (ketinggian) benda dari permukaan bumi.

$$EP_{grav} = m \cdot g \cdot h$$

$EP_{grav}$  = Energi potensial gravitasi (J)  
 $m$  = massa benda (kg)  
 $g$  = percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )  
 $h$  = ketinggian benda (m)

#### b. Energi Potensial Pegas

Energi potensial pegas merupakan energi potensial yang tersimpan pada pegas (per) akibat perubahan panjang pegas. Misalnya energi potensial pada pegas skok kendaraan, ketapel, busur panah dan sebagainya.

Energi potensial pegas dipengaruhi oleh bahan pegas (konstanta pegas) dan perubahan panjang pegas serta gaya yang mengubah panjang pegas.

$$EP_{pegas} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2$$

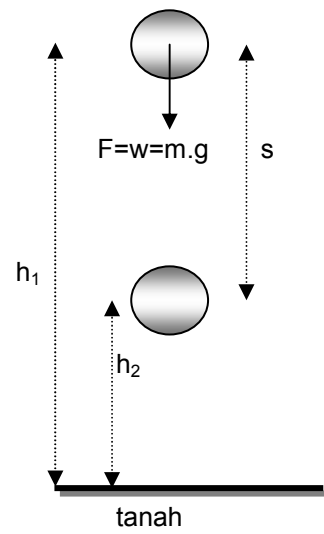
atau

$$EP_{pegas} = \frac{1}{2} \cdot F \cdot \Delta x$$

$EP_{pegas}$  = Energi potensial pegas (J)  
 $k$  = konstanta pegas (N/m)  
 $F$  = gaya (N)  
 $\Delta x$  = perubahan panjang pegas (m)

## 2. Hubungan Usaha dengan energi potensial

Telah dijelaskan bahwa energi potensial dipengaruhi oleh kedudukan benda. Perhatikan benda yang mengalami jatuh bebas berikut :



Benda yang jatuh vertikal ke bawah dari ketinggian  $h_1$  menuju ketinggian  $h_2$  (benda berpindah sejauh  $s$ ) disebabkan oleh gaya gravitasi bumi  $F$  (gaya berat  $w$ ). Besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya berat untuk menjatuhkan benda dari  $h_1$  ke  $h_2$  adalah :

$$W = F \cdot s$$

$$W = w \cdot (h_2 - h_1)$$

$$W = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

$$W = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

$$W = EP_2 - EP_1 = \Delta EP$$

$W$  = usaha (joule)

$EP_1$  = energi potensial mula-mula (J)

$EP_2$  = energi potensial akhir (J)

Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *usaha* merupakan *perubahan energi potensial*.

### Contoh Soal

1. Sebuah mobil mainan bermassa 1 kg meluncur pada lintasan lurus dengan kelajuan mula-mula 4 m/s dan berhenti pada jarak 2 m. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya gesek untuk menghentikan mobil !

Penyelesaian :

Diketahui :  $m = 1 \text{ kg}$

$$v_0 = v_1 = 4 \text{ m/s}$$

$$v_t = v_2 = 0 \text{ M/S}$$

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

Ditanya :  $W \dots ?$

Jawab :

$$W = EK_t - EK_o = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_t^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_o^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_t^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_o^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_t^2 - v_o^2)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (0^2 - 4^2) = -8 \text{ Joule}$$

2. Sebuah benda bermassa 1 kg dilempar vertikal ke atas dengan kelajuan awal 10 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah usaha yang diperlukan oleh gaya berat untuk mencapai tinggi maksimum !

Penyelesaian :

Diketahui :  $m = 1 \text{ kg}$

$$h_1 = 0 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Ditanya :  $W \dots ?$

Jawab :

**Cara I :**

$$W = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

$$h_2 = h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} = \frac{10^2}{2 \cdot 10} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jadi } W = 1 \cdot 10 \cdot (5 - 0) = 50 \text{ J}$$

**Cara II :**

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_t^2 - v_o^2) = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (0^2 - 10^2) = - 50 \text{ J}$$

(tanda negatif menunjukkan bahwa usaha gaya berat melawan arah gerak benda)

**Uji Kompetensi 2**

1. Hitunglah energi kinetik mobil yang massanya 1 ton, jika mobil tersebut :
  - a. bergerak dengan kecepatan 72 km/jam
  - b. diam di tepi jalan
2. Sebuah bola meluncur di atas bidang datar yang licin dengan energi kinetik 20 J. Hitunglah kecepatan benda !
3. Truk bermassa 1,5 ton mula-mula bergerak dengan kecepatan 20 m/s tiba-tiba direm.. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya rem untuk :
  - a. mengubah kecepatan menjadi 12 m/s
  - b. menghentikan mobil
4. Hitunglah besarnya usaha yang dilakukan untuk menggerakkan mobil bermassa 1 ton dari keadaan diam hingga kecepatannya 72 km/jam !
5. Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak dengan kelajuan konstan 2 m/s. Benda mengalami percepatan setelah didorong dengan gaya 5 N searah dengan arah perpindahannya. Gaya tersebut dihilangkan setelah benda menempuh jarak 2 m. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut untuk mempercepat gerak benda !
6. Sebuah benda bermassa 1 kg jatuh bebas dari ketinggian tertentu di atas tanah. Jika waktu yang diperlukan oleh benda untuk sampai di tanah 2 s. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya berat benda !
7. Buah mangga bermassa 1 kg tergantung pada rantingnya pada ketinggian 5 m. Hitunglah energi potensial yang dimiliki buah mangga tersebut !
8. Sebuah pegas tergantung vertikal tanpa beban panjangnya 10 cm. Setelah digantungkan beban 200 gram, panjang pegas menjadi 12 cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  Hitunglah :
  - a. usaha yang dilakukan oleh berat beban
  - b. usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya yang menarik beban ke bawah hingga pegas bertambah panjang 4 cm
9. Seorang anak melemparka batu bermassa 250 gram vertikal ke atas. Berapa energi potensial batu pada ketinggian 7 m di atas tanah ?
10. Usaha yang dilakukan Pak Karto untuk mengangkat 50 kg beras dalam karung adalah 392 J. Jika mula-mula beras berada di atas kursi setinggi 40 cm, berapa ketinggian karung beras tersebut ditempatkan oleh Pak Karto ?
11. Sebuah benda bermassa 2,5 kg mengalami gerak jatuh bebas dari ketinggian 12 m di atas tanah. Berapa usaha yang dilakukan oleh gaya berat agar benda tersebut :
  - a. berada pada ketinggian 5 m di atas tanah
  - b. sampai di tanah
12. Sebuah bola bermassa 1 kg dilempar ke atas. Untuk mencapai tinggi maksimum diperlukan waktu 2 s. Hitunglah usaha yang diperlukan oleh gaya berat benda !
13. Seorang pelompat indah berada di atas papan lompat yang tingginya 8 m di atas permukaan air kolam. Jika massa pelompat 60 kg, tentukan :
  - a. energi potensial sebelum melompat
  - b. energi potensial setelah melompat 1 detik
  - c. usaha sampai menyentuh air kolam
14. Sebuah batu bermassa 5 kg berada di dasar sumur yang dalamnya 12 m. Hitunglah usaha yang diperlukan untuk mengangkat batu tersebut keluar sumur !
15. Sebuah balok bermassa 10 kg didorong dari dasar suatu bidang miring yang panjangnya 5 m. Jika sudut kemiringan bidang  $37^\circ$  dan bidang dianggap licin, hitunglah usaha yang diperlukan untuk mendorong balok tersebut hingga puncak bidang miring !

**C. DAYA**

Daya merupakan laju atau cepatnya usaha yang dilakukan atau besarnya usaha per satuan waktu.

$$P = \frac{W}{t} \text{ atau } P = F \cdot v$$

P = daya (J/s = Watt)  
W = usaha (J)  
t = waktu (s)  
F = gaya (N)  
v = kecepatan (m/s)

Satuan daya yang lain adalah Horse Power (hp) atau daya kuda. **1 hp = 746 watt.**

**HUKUM KEKALKAN ENERGI MEKANIK.**

Energi mekanik disebut juga energi gerak. Energi mekanik merupakan jumlah energi kinetik dan energi potensial suatu benda pada saat yang sama.

$$EM = EK + EP$$

EM = energi mekanik (J)

EK = energi kinetik (J)

EP = energi potensial (J)

Jika pada suatu sistem yang terisolasi, yaitu suatu sistem dimana gaya-gaya yang bekerja hanyalah gaya-gaya yang berhubungan dengan energi potensial (misal gaya gravitasi dan gaya-gaya elastik) dan tidak ada gaya luar (misalnya gaya gesek), maka energi mekanik sistem adalah konstan.

$$\begin{aligned} EM_1 &= EM_2 \\ EP_1 + EK_1 &= EP_2 + EK_2 \\ m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 &= m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 \end{aligned}$$

EM<sub>1</sub> = Energi mekanik awal (J)

EM<sub>2</sub> = Energi mekanik akhir (J)

EP<sub>1</sub> = Energi potensial awal (J)

EP<sub>2</sub> = Energi potensial akhir (J)

EK<sub>1</sub> = Energi kinetik awal (J)

EK<sub>2</sub> = Energi kinetik akhir (J)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

h<sub>1</sub> = tinggi (kedudukan) benda awal (m)

h<sub>2</sub> = tinggi (kedudukan) benda akhir (m)

v<sub>1</sub> = kecepatan benda awal (m/s)

v<sub>2</sub> = kecepatan benda akhir (m/s)

### Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 1 kg dilempar vertikal ke atas dengan kelajuan awal 40 m/s. Jika g = 10 m/s<sup>2</sup>, tentukan :

- besarnya kecepatan benda saat ketinggian benda 20 m
- energi kinetik benda saat ketinggian benda 20 m tersebut

Penyelesaian :

Diketahui : m = 1 kg  
v<sub>1</sub> = 40 m/s

Ditanya :

a. EK<sub>2</sub>

b. v<sub>2</sub>

Jawab :

$$a. m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2$$

$$1 \cdot 10 \cdot 0 + \frac{1}{2} 1 \cdot 40^2 = 1 \cdot 10 \cdot 20 + \frac{1}{2} 1 \cdot v_2^2$$

$$0 + 800 = 200 + \frac{1}{2} \cdot v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot v_2^2 = 600$$

$$v_2^2 = 1.200$$

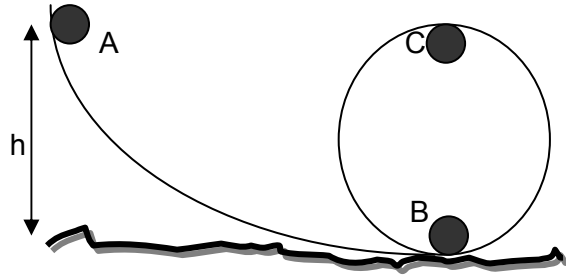
$$v_2 = 20\sqrt{3} \text{ m/s}$$

$$b.. EK_2 = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} 1 \cdot 1.200 = 600 \text{ J.}$$

### Uji Kompetensi 3

- Sebuah mobil sedan memiliki daya mesin 40 kW. Hitunglah gaya dorong mesin saat mobil melaju dengan kecepatan 72 km/jam !
- Sebuah bola bermassa 500 gram dilempar vertikal ke atas dengan kelajuan awal 20 m/s. Jika g = 10 m/s<sup>2</sup>, tentukan :
  - tinggi maksimum yang dicapai bola
  - energi potensial bola pada ketinggian maksimum
  - kecepatan bola pada ketinggian maksimum
  - energi kinetik pada ketinggian maksimum
  - energi kinetik benda saat ketinggian benda setengah tinggi maksimum
  - ketinggian bola saat energi potensial bola = energi kinetik bola.

3. Sebuah benda bermassa 4 kg jatuh dari ketinggian 20 m. Hitunglah energi kinetik benda saat membentur tanah !
4. Perhatikan ilustrasi gerakan roller coaster berikut :



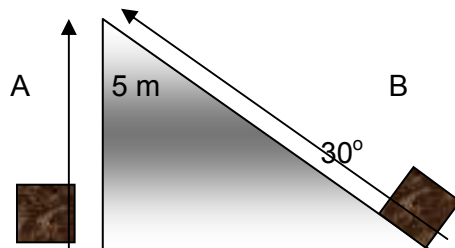
Anggaplah bola meluncur dari titik A tanpa kecepatan awal menuju rel lingkaran tanpa gesekan yang berarti berjari-jari 10 m. Tentukan :

- a. kecepatan bola di titik terendah (titik B)
  - b. kecepatan boal di titik C
  - c. agar bola di titik tertinggi (titik C) tidak jatuh ke bawah, berapa ketinggian minimal bola di titik A dari tanah ?
  - d. agar bola di titik tertinggi (titik C) tidak jatuh ke bawah, berapa kecepatan minimal di titik B
  - e. agar bola di titik tertinggi (titik C) tidak jatuh ke bawah, berapa kecepatan minimal di titik C
5. Sebuah bandul panjang talinya 2 m . Bandul disimpangkan  $60^\circ$  terhadap garis vertikal dan dilepaskan tanpa kecepatan awal. Hitunglah kecepatan bandul pada titik terendah!
  6. Sebuah bandul panjang talinya 2,5 m dalam keadaan setimbang. Bandul dipukul arah mendatar dengan kecepatan 2 m/s hingga bandul berayun. Tentukan :
    - a. tinggi maksimum bandul berayun
    - b. besarnya sudut maksimum bandul berayun diukur dari garis vertikal
  7. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas. Pada saat peluru mencapai ketinggian 20 m, kecepatan peluru 10 m/s. Hitunglah kecepatan awal peluru !
  8. Seseorang naik sepeda dari puncak bidang miring licin menuju dasar bidang miring dengan kecepatan awal 2 m/s dan sudut kemiringan medan  $30^\circ$ . Massa orang dan sepeda 80 kg. Jika jarak antara puncak dan dasar bidang miring 20 m, hitunglah besarnya gaya pengereman agar sepeda dapat berhenti tepat di dasar bidang miring !
  9. Air terjun yang ketinggiannya 100 m mengalirkan air sebanyak  $200 \text{ m}^3$  tiap dua sekon. Air terjun mengenai generator hidrolistrik yang mengubah energi air terjun tersebut menjadi energi listrik. Hitunglah daya yang dihasilkan oleh generator tersebut !
  10. Lampu pijar 15 watt menghasilkan energi 6 Joule per sekon. Hitunglah efisiensi lampu tersebut.
  11. Seseorang bermassa 60 kg dari keadaan diam lalu berlari dengan kecepatan 4 m/s. Hitunglah daya rata-rata orang tersebut !
  12. Sebuah mesin dengan daya 10 hp digunakan untuk mengangkat beban pada ketinggian 1 m. Hitunglah massa beban yang dapat diangkat oleh mesin tersebut !
  13. Sebuah mobil memiliki daya 7000 watt digunakan untuk menarik benda bermassa 350 kg di atas jalan raya kasar dengan koefisien gesekan antara ban mobil dengan aspal jalan 0,2. Hitunglah kecepatan mobil tersebut !
  14. Sebuah motor mampu mengubah energi setiap menitnya 120.000 Joule. Hitunglah daya motor tersebut !
  15. Sebuah benda bermassa 5 kg meluncur ke bawah pada satu bidang miring. Balok mulai bergerak dari keadaan diam dari puncak bidang miring dengan sudut kemiringan  $30^\circ$ . Jika koefisien gesekan antara benda dengan bidang 0,2 ; hitunglah kelajuan benda pada saat menyentuh kaki bidang miring !

#### D. GAYA KONSERVATIF DAN GAYA DISIPATIF

Gaya konservatif merupakan gaya yang memindahkan benda dalam medan konservatif. atau jenis gaya yang menghasilkan usaha yang tidak tergantung pada bentuk lintasannya, namun tergantung pada keadaan (kedudukan) awal dan akhir benda). Sebaliknya gaya non konservatif akan menghasilkan usaha yang dipengaruhi oleh bentuk lintasan tempuhnya. Gaya non konservatif disebut juga dengan gaya disipatif. *Beberapa contoh gaya konservatif adalah :*

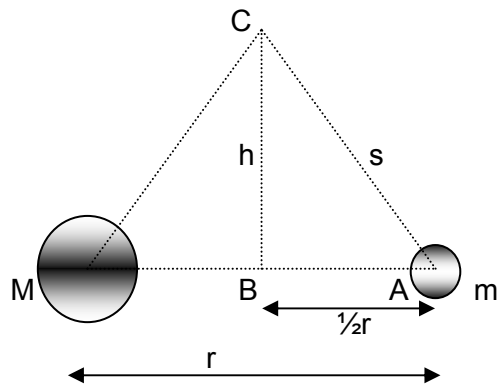
1. Gaya berat (gaya gravitasi khusus)



Perhatikan gambar ! Usaha yang dilakukan oleh gaya berat untuk memindahkan benda A dan B ke puncak bidang miring adalah sama besar, walaupun bentuk lintasan yang dilalui oleh benda A dan B menuju puncak bidang miring berbeda, yaitu sebesar :

$$W = - m.g.h$$

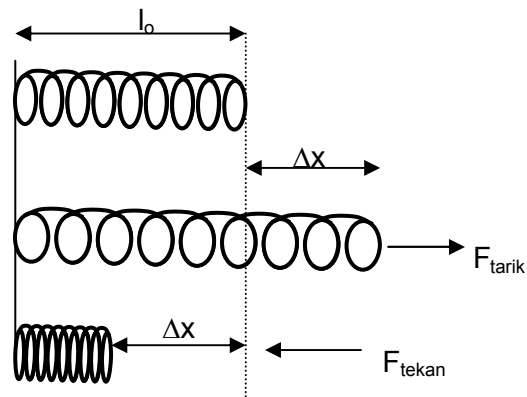
2. Gaya gravitasi umum Newton



Dua buah benda masing-masing bermassa M dan m berada pada jarak r akan mengalami gaya gravitasi. Jika benda A Usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi untuk memindahkan benda dari titik A ke titik C melalui lintasan ABC maupun melalui langsung lintasan AC adalah sama, yaitu sebesar :

$$W_{AC} = \frac{G.M.m}{2.r}$$

3. gaya pegas



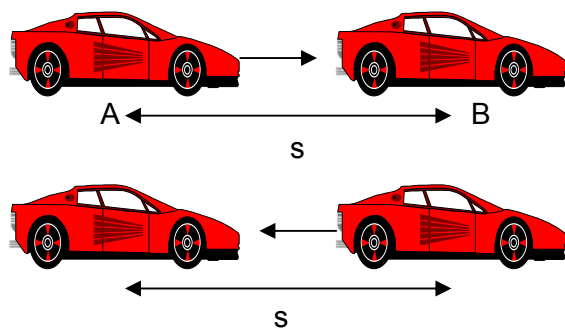
Pegas yang semula panjangnya  $l_0$ , ditarik dengan gaya F bertambah panjang  $\Delta x$ , maka pegas memberikan gaya perlawanan (gaya lenting pulih) yang besarnya sama dengan gaya F tetapi arahnya berlawanan. Usaha yang dilakukan gaya pegas hanya tergantung pada konstanta pegas (k), posisi awal ( $x_1$ ) dan posisi akhir ( $x_2$ ) gaya bekerja, yaitu sebesar ;

$$W = \frac{1}{2}.k.(x_2^2 - x_1^2)$$

W = usaha (J)  
 K = konstanta pegas (N/m)  
 $x_1$  = panjang pegas mula-mula (m)  
 $x_2$  = panjang pegas akhir (m)

Beberapa contoh gaya disipatif adalah :

1. Gaya gesekan



Usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan antara ban dengan jalan ketika mobil maju (dari A ke B) dan mundur (dari B ke A) adalah sama, yaitu :

- usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan saat mobil maju adalah :

$$W_{\text{maju}} = -f_g \cdot s$$

(arah gaya gesek dengan perpindahan mobil berlawanan)

- usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan saat mobil mundur adalah :

$$W_{\text{mundur}} = f_g \cdot (-s) = -f_g \cdot s.$$

- usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan saat mobil maju dan mundur (dari A ke B lalu kembali ke A) adalah:

$$W_{\text{total}} = W_{\text{maju}} + W_{\text{mundur}}$$

$$W_{\text{total}} = -2 \cdot f_g \cdot s$$

W = usaha (J)  
 $f_g$  = gaya gesekan (N)  
 s = perpindahan (m)

- Perubahan energi potensial ( $\Delta EP$ ) sama dengan nol, karena benda tidak berpindah
- Perubahan energi kinetik ( $\Delta EK$ ) sama dengan nol, karena  $W_{\text{maju}} + W_{\text{mundur}} = 0$ .

Dari uraian di atas, usaha yang dilakukan oleh gaya gesek agar mobil berpindah ke depan (maju) lalu berpindah ke belakang (mundur) ketempat semula tidak sama dengan nol.

## 2. Gaya tarik atau gaya dorong

Demikian juga usaha yang dilakukan oleh gaya dorong mobil di atas untuk maju dan mundur adalah sama besar, sehingga usaha yang dilakukan gaya dorong mesin mobil untuk maju lalu mundur tidak nol, tetapi :

$$W = 2 \cdot F \cdot s$$

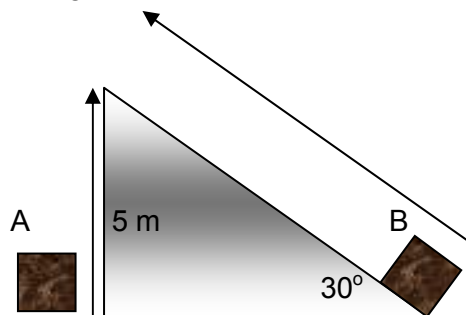
F = gaya dorong (N)

(F dan s searah sehingga sama-sama positif)

## Uji Kompetensi 4

1. Resa mendorong balok di atas lantai kasar dengan lintasan berupa bujur sangkar yang panjang sisinya 4 m. Jika besarnya gaya gesek antara balok dengan lantai sebesar 30 N, hitunglah :
  - a. usaha yang dilakukan oleh gaya gesek
  - b. usaha yang dilakukan oleh gaya dorong
  - c. perubahan energi potensial
  - d. perubahan energi kinetik

2. Perhatikan gambar berikut :



Balok A dan B massanya sama 5 kg hendak dipindahkan ke puncak bidang miring dengan cara yang berbeda. Balok A diangkat ke atas, sedangkan balok B didorong melalui bidang miring. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah usaha yang diperlukan :

- a. untuk memindahkan balok A
  - b. untuk memindahkan balok B
3. Sebuah truk bermuatan bermassa 2 ton. Truk mundur 4 m kemudian maju 4 m. Jika koefisien gesekan antara ban truk dengan jalan 0,2, tentukan usaha yang dilakukan gaya gesekan !
  4. Seorang Ibu pergi ke pasar naik becak yang jaraknya 200 m. Becak digayuh oleh abang becak dengan gaya 100 N. Jika ibu pergi dan pulang dengan becak yang sama, tentukan usaha yang dilakukan oleh abang becak !
  5. Sebuah pegas konstantanya 1000 N/m. Budi menarik pegas sehingga pegas bertambah panjang 10 cm. Pada pegas yang sama Candra menekan pegas sehingga pegas memendek 10 cm. Bandingkan usaha yang dilakukan Budi dan candra untuk merubah panjang pegas tersebut !

## Evaluasi

### Pilihan Ganda

Pilihlah satu jawaban yang tepat !

1. Jika vektor gaya =  $F$  dan vektor perpindahan =  $s$ , sedangkan sudut apit antara  $F$  dan  $s$  adalah  $\alpha$ , maka pernyataan berikut yang benar adalah ...
  - a.  $F \times s = F \cdot s \cdot \cos \alpha$
  - b.  $F \times s = F \cdot s \cdot \sin \alpha$
  - c.  $F \times s = F \cdot s / \cos \alpha$
  - d.  $F \cdot s = F \cdot s \cdot \cos \alpha$
  - e.  $F \cdot s = F \cdot s \cdot \sin \alpha$
2. Dimensi dari besaran usaha adalah ...
  - a.  $MLT^2$
  - b.  $MLT^{-2}$
  - c.  $ML^2T^{-2}$
  - d.  $ML^{-2}T^2$
  - e.  $ML^2T^2$
3. Sebuah benda terletak pada bidang datar licin ditarik dengan gaya 8 N membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap bidang. Usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut adalah  $20\sqrt{2}$  J, maka perpindahan benda adalah ... m
  - a. 5
  - b.  $5\sqrt{2}$
  - c.  $5\sqrt{3}$
  - c. 7,5
  - d.  $7,5\sqrt{2}$
4. Balok beratnya 20 N berada di atas bidang miring licin dengan sudut kemiringan  $30^\circ$ . Jika balok meluncur sejauh 2 m, maka usaha yang dilakukan gaya berat adalah J
  - a. 10
  - b. 20
  - c.  $20\sqrt{3}$
  - e. 40
  - f.  $40\sqrt{3}$
5. Energi 4900 J digunakan untuk mengangkat benda bermassa 50 kg. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , maka benda tersebut dinaikkan setinggi ... m
  - a. 10
  - b. 98
  - c. 9600
  - d. 245
  - e. 480
6. Sebuah benda bermassa 4 kg mula-mula bergerak dengan laju tetap 3 m/s. Pada saat tersebut bekerja gaya sehingga laju benda menjadi 5 m/s. Usaha yang dilakukan gaya tersebut adalah ... J
  - a. 8
  - b. 18
  - c. 20
  - d. 32
  - e. 50
7. Dua buah benda A dan B bermassa 25 kg dan 4 kg memiliki energi kinetik sama besar. Jika benda A bergerak dengan kelajuan 10 m/s, maka benda B bergerak dengan kelajuan ... m/s
  - a. 62,5
  - b. 50,0
  - c. 37,5
  - d. 25,0
  - e. 17,5

8. Jika benda yang beratnya 1 N mempunyai energi kinetik 1 J ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ), kecepatan benda adalah ... m/s
- 1
  - 1,4
  - 2,2
  - 3,2
  - 4,4
9. Mobil mainan bermassa 3 kg terletak pada bidang horizontal licin. Mobil dikerjakan gaya konstan 9 N searah dengan perpindahannya. Jika kecepatan awal mobil 10 m/s, maka kecepatan mobil setelah berpindah 50 m adalah ... m/s
- 5
  - 10
  - 15
  - 20
  - 25
10. Sebuah benda massa 1 kg bergerak sepanjang bidang horizontal. Jika benda bergeser 1 m dan koefisien gesekan kinetis benda dengan bidang 0,2, maka usaha yang dilakukan gaya gesek adalah ... J
- 2
  - 4
  - 6
  - 8
  - 10
11. Buah mangga bermassa 0,5 kg menggantung pada ranting pohonya pada ketinggian 4 m dari tanah. Energi potensial buah mangga adalah ... J
- 2
  - 12
  - 20
  - 80
  - 100
12. Usaha yang diperlukan untuk memompa minyak ke dalam tangki setinggi 10 m adalah 1.000 J. Jika massa jenis minyak  $0,82 \text{ gram/cm}^3$ , maka volume minyak yang terpompa adalah ... liter
- 14
  - 12
  - 10
  - 8
  - 6
13. Sebuah benda bermassa 4 kg jatuh dari ketinggian 10 m. Usaha yang dilakukan gaya gravitasi pada benda adalah ...J
- 500
  - 400
  - 300
  - 200
  - 100
14. Sebuah balok bermassa 10 kg didorong dari dasar bidang miring yang panjangnya 5 m dan puncak bidang miring berada 3 m dari tanah. Jika bidang miring licin, maka usaha yang dilakukan untuk mendorong balok hingga puncak bidang adalah ...J
- 4000
  - 3500
  - 3000
  - 1500
  - 3000
15. Benda bermassa 5 kg dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Besarnya usaha yang dilakukan gaya berat untuk mencapai setengah tinggi maksimum yang dicapai benda adalah ...J
- 125
  - 250
  - 300
  - 350
  - 400

16. Seorang pecinta alam AKHSAL bermassa 60 kg mendaki gunung dari ketinggian 2000 m hingga 3500 m. Usahanya adalah ...
- 200.000
  - 300.000
  - 450.000
  - 500.000
  - 900.000
17. Sebuah benda bermassa 2 kg jatuh dari ketinggian 40 m. Energi kinetik saat benda tepat pada ketinggian 20 m adalah ... J
- 400
  - 800
  - 1600
  - 1800
  - 3600
18. Sebuah bola diluncurkan tanpa gesekan dari puncak bidang miring. Tinggi puncak bidang miring terhadap tanah adalah 200 cm. Kecepatan bola saat menyentuh tanah adalah ...m/s
- 2
  - $2\sqrt{10}$
  - 30
  - 40
  - $4\sqrt{10}$
19. Sebuah sepeda motor bermassa 100 kg menaiki bukit dengan kecepatan awal 10 m/s. Ketinggian maksimum yang dicapai sepeda motor samapi berhenti adalah ... m
- 2
  - 5
  - 10
  - 15
  - 20
20. Sebuah mobil mainan bermassa 5 kg meluncur dari puncak papan luncur yang tingginya 2 m. Besarnya energi mekanik mobil mainan selama meluncur dari puncak hingga dasar papan luncur adalah ... J
- 25
  - 50
  - 100
  - 150
  - 200
21. Anak panah bermassa dilepaskan vertikal ke atas dengan kecepatan 30 m/s dan kembali menancap ke tanah sedalam 3 cm. Besarnya gaya penahan tanah adalah ... N
- 322
  - 225
  - 125
  - 100
  - 75
22. Sebuah lift dan penumpangnya bermassa 2250 kg bergerak naik setinggi 10 m dalam waktu 5 detik. Daya lift tersebut adalah ... Watt
- 11250
  - 500
  - 250
  - 90
  - 45
23. Sebuah bola tenis bermassa 0,2 kg dipukul vertikal ke atas dari ketinggian 1 m di atas tanah dengan kecepatan 10 m/s. Kecepatan bola saat ketinggiannya 2,8 m adalah ... m/s
- 8
  - 7
  - 6
  - 4
  - 2

24. Sebuah benda 8 kg terletak pada bidang miring licin yang sudut kemiringannya  $30^\circ$ . Usaha yang dilakukan gaya berat untuk meluncurkan balok sepanjang 2 m adalah ...
- 80
  - 70
  - 60
  - 50
  - 40
25. Sebutir peluru bermassa 4 gram mengenai pohon dengan kecepatan 400 m/s. Peluru menembus dan keluar lagi dengan kecepatan 200 m/s. Jika gesekan peluru dengan pohon 6.000 N, maka diameter pohon tersebut adalah ... cm
- 7
  - 6
  - 5
  - 4
  - 3
26. Air terjun dari ketinggian 50 m mengenai generator yang efisiensinya 80%. Jika debit air  $2 \text{ m}^3$  per sekon, maka daya generator adalah ... kWatt
- 950
  - 900
  - 800
  - 700
  - 600
27. Sebuah mesin melakukan usaha sebesar 800 J selama 4 sekon. Jika mesin tersebut melakukan usaha 0,6 kWh, maka mesin telah bekerja selama ... jam
- 1
  - 1,5
  - 2
  - 2,5
  - 3
28. Buah jeruk beratnya 2 N jatuh bebas dari dahan yang tingginya 5 m. Besarnya energi kinetik buah jeruk saat membentur tanah adalah ... m/s
- 16
  - 15
  - 10
  - 8
  - 5
29. Sebuah mobil bermassa 2 ton mula-mula melaju dengan kecepatan 2 m/s, lalu dipercepat hingga kecepatannya 5 m/s. Usaha yang dilakukan mesin mobil adalah ...J
- 21.000
  - 22.000
  - 23.000
  - 24.000
  - 25.000
30. Sebuah mobil bermassa 1 ton mula-mula bergerak dengan kecepatan 20 m/s. Mobil direm dengan gaya tetap sehingga mobil berhenti setelah 0,5 s. Besarnya usaha oleh gaya rem adalah ... J
- 200.000
  - 300.000
  - 400.000
  - 500.000
  - 600.000

### **Uraian.**

***Kerjakan soal berikut dengan benar !***

- Sebuah balok bermassa 10 kg berada pada dasar bidang miring dengan kemiringan bidang  $30^\circ$  terhadap horizontal. Balok ditarik dengan gaya 50 N searah bidang miring ke atas hingga bergerak sejauh 100 m. Jika koefisien gesekan papan dengan balok 0,25 ; tentukan :
  - usaha yang dilakukan gaya F
  - Energi potensial setelah balok bergeser 100 m tersebut.

2. Sebuah batu bermassa 2 kg jatuh bebas dari ketinggian 20 m. Hitunglah :
  - a. Energi potensial setelah batu bergerak selama 1 s
  - b. energi kinetik setelah batu bergerak 1 s
  - c. energi kinetik saat membentur tanah
  - d. usaha yang dilakukan gaya berat setelah benda bergerak 1 s
3. Sebuah peluru bermassa 25 gram ditembakkan dengan kecepatan 200 m/s. Peluru menembus kayu sedalam 20 cm. Hitunglah gaya rata-rata untuk menghentikan peluru tersebut !
4. Sebuah bola bermassa 2 kg dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s.
5. Seseorang yang bermassa 60 kg menaiki tangga yang tingginya 20 m dalam selang waktu 2 menit. Hitunglah daya yang dikeluarkan oleh orang tersebut !

# Bab 5

## Impuls dan Momentum

### Standar Kompetensi

Mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan mekanika klasik sistem diskret (partikel)

### Kompetensi Dasar

Menunjukkan hubungan antara konsep impuls dan momentum untuk menyelesaikan masalah tumbukan .

### Materi Pokok & Uraian Materi

- Pengertian Impuls dan Mometum
- Hukum Kekekalan Momentum
- Jenis-jenis tumbukan

### Pengalaman Belajar

- Merumuskan hukum kekekalan momentum pada peristiwa tumbukan melalui praktek kerja
- Menganalisa prinsip hukum kekekalan momentum untuk memecahkan masalah pada berbagai peristiwa tumbukan melalui diskusi dan informasi ,
- Menentukan karakteristik tumbukan elastis sempurna dengan mengintegrasikan hukum kekekalan energi dan momentum

### Indikator

- memformulasikan konsep impuls dan momentum serta keterkaitan antara keduanya
- merumuskan hukum kekekalan momentum untuksuatu sistem
- menerapkan prinsip kekekalan momentum untuk menyelesaikan masalah yang menyangkut interaksi melalui gaya-gaya internal
- mengintegrasikan hukum kekekalan energi dan kekekalan momentum untuk berbagai peristiwa tumbukan

### Pendalaman Materi

#### Pengertian Momentum

Pengertian momentum dalam kehidupan sehari-hari berbeda dengan pengertian momentum dalam fisika, misalnya “*Akhir tahun merupakan **momentum** yang tepat untuk introspeksi diri*”. Kata momentum tersebut, berbeda dengan kalimat “*Setiap benda yang bergerak memiliki **momentum***”.

**Momentum** dalam fisika didefinisikan sebagai *hasil kali massa benda dengan kecepatannya*. Jika sebuah benda bermassa  $m$  bergerak dengan kecepatan  $v$ , maka momentum benda tersebut adalah :

$$p = m.v$$

$p$  = momentum benda (kg.m/s= Ns)

$m$  = massa benda (kg)

$v$  = kecepatan benda (m/s)

#### Pengertian Impuls

**Impuls** didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dengan selang waktu gaya tersebut bekerja pada benda.

$$I = F.\Delta t$$

$I$  = impuls (N.s)

$F$  = gaya (N)

$\Delta t$  = selang waktu (s)

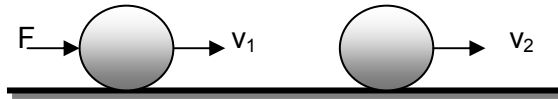
Perhatikan ilustrasi berikut ini !



Seorang pemain sepak bola, yang menendang bolanya dengan gaya  $F$  tertentu dengan waktu sentuh antara kaki pemain dan bola selama  $\Delta t$  akan menimbulkan impuls pada benda sebesar  $I = F \cdot \Delta t$ . Dalam banyak hal kita hanya dapat menyentuh bola dalam waktu yang sangat pendek, oleh karenanya bila ingin mendapatkan Impuls yang besar, maka gaya ( $F$ ) harus diperbesar atau dimaksimalkan.

### Hubungan Impuls dan Momentum

**Impuls** juga didefinisikan sebagai besarnya **perubahan momentum**. Jika sebuah benda yang bermassa  $m$ , mula-mula bergerak dengan kecepatan  $v_1$ , karena suatu gaya  $F$ , kecepatannya berubah menjadi  $v_2$ . Benda tersebut mengalami perubahan momentum  $\Delta p$ .



Perhatikan gambar di atas :

- Besarnya momentum pada saat kecepatannya  $v_1$  (momentum mula-mula) adalah :

$$p_1 = m \cdot v_1$$

- Besarnya momentum pada saat kecepatannya  $v_2$  (momentum akhir) adalah :

$$p_2 = m \cdot v_2$$

Maka besarnya **impuls (perubahan momentum)** benda adalah :

$$I = \Delta p = p_2 - p_1$$
$$I = \Delta p = m \cdot (v_2 - v_1)$$

$I$  = Impuls (kg.m/s)

$\Delta p$  = perubahan momentum (kg.m/s)

$p_1$  = momentum mula-mula (kg.m/s)

$p_2$  = momentum akhir (kg.m/s)

$v_1$  = kecepatan mula-mula (m/s)

$v_2$  = kecepatan akhir (m/s)

**Impuls** juga dapat ditentukan dengan cara **grafis**, yaitu :

**Impuls = luas daerah dibawah grafik hubungan antara  $F$  dengan  $t$**

### Diskusikan !

1. Mengapa satuan impuls sama dengan satuan momentum
2. Impuls dan momentum adalah besaran dalam fisika. Termasuk besaran apa impuls dan momentum tersebut ?

### Contoh Soal

1. Bola bermassa  $kg$  mula-mula dalam keadaan diam lalu ditendang oleh seorang pemain sehingga bola melaju dengan kecepatan  $20 \text{ m/s}$ . Jika kaki pemain menyentuh bola selama  $0,01$  detik, tentukan :
  - a. momentum bola mula-mula (sebelum ditendang)
  - b. momentum bola setelah ditendang
  - c. besarnya impuls
  - d. besarnya gaya tendangan kaki pemain

**Penyelesaian :**

Diketahui :  $m = 2 \text{ kg}$   
 $v_1 = 0 \text{ m/s}$   
 $v_2 = 20 \text{ m/s}$   
 $\Delta t = 0,001 \text{ sekon}$

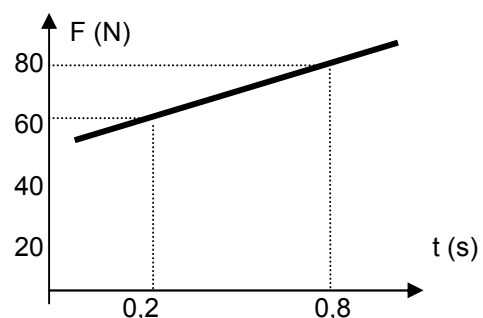
Ditanya : a.  $p_1$   
b.  $p_2$   
c.  $I$   
d.  $F$

Dijawab :

- a.  $p_1 = m \cdot v_1 = 2 \cdot 0 = 0 \text{ kg.m/s}$   
b.  $p_2 = m \cdot v_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ kg.m/s}$   
c.  $I = m (v_2 - v_1) = 2 (20 - 0) = 40 \text{ kg.m/s}$   
d.  $I = F \cdot \Delta t$

$$F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{40}{0,01} = 4000 \text{ N.}$$

2. Perhatikan grafik hubungan gaya dengan waktu (F-t) berikut :



Dari grafik tersebut, tentukan besarnya impuls benda !

**Penyelesaian :**

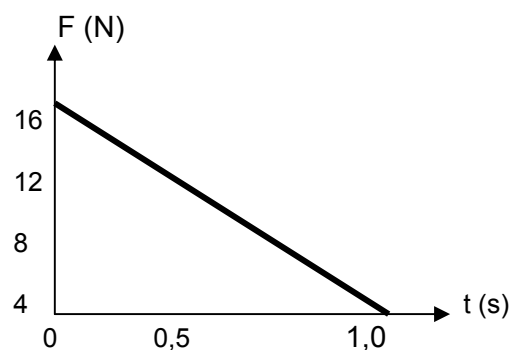
besarnya impuls benda adalah = luas daerah dibawah grafik F-t.

$$\text{Jadi } I = \frac{1}{2} (80 + 60) \cdot (0,8 - 0,2) = 42 \text{ kg.m/s}$$

**Uji Kompetensi 1**

**Kerjakan soal-soal berikut dengan benar !**

1. Sebuah mobil truk bermassa 1 ton bergerak dengan kecepatan 72 km/jam, kemudian menabrak pohon dan berhenti setelah 0,1 s.. Berapa besar gaya rata-rata truk saat menabrak pohon ?
2. Seorang petinju memukul KO penantangnya dengan gaya pukulan 1500 N. Jika tangan petinju menempel kepala lawan dalam waktu 0,02 sekon, hitunglah besarnya impuls yang dihasilkan tangan petinju tersebut !
3. Sebuah bola baseball bermassa 0,1 kg dilempar ke selatan dengan kecepatan 20 m/s. Seorang pemain baseball memukul bola tersebut ke utara, sehingga bola melaju dengan kecepatan 60 m/s. Jika waktu kontak bola dengan kayu pemukul selama 0,01 detik, tentukan :
  - a. impuls kayu pemukul pada bola
  - b. gaya rata-rata kayu pemukul pada bola
  - c. percepatan rata-rata bola selama kontak dengan kayu pemukul.
4. Sebuah bola bermassa 0,5 kg dilempar dengan gaya F selama waktu t. Grafik hubungan gaya dan waktu tersebut ditunjukkan oleh grafik berikut:



Dari grafik tersebut, tentukan :

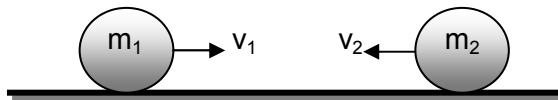
- a. impuls bola
  - b. kelajuan bola setelah dilempar
  - c. momentum bola setelah dilempar
5. Buah kelapa bermassa 2 kg jatuh bebas dari ketinggian 80 m di atas tanah. Hitung besarnya momentum ketika benda sampai dipermukaan tanah !

## Hukum Kekekalan Momentum

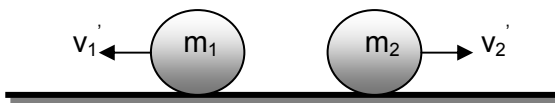
Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa : "jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada suatu sistem, maka jumlah momentum sistem tersebut adalah konstan (tetap)", artinya "jumlah momentum awal sama dengan jumlah momentum akhir".

Perhatikan gambar peristiwa tumbukan dua buah benda berikut :

\* Sebelum tumbukan ;



\* Setelah tumbukan ;



Sesuai dengan hukum kekekalan momentum

"Jumlah momentum sebelum tumbukan sama dengan jumlah momentum setelah tumbukan"

Jadi :

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$
$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$p_1$  = momentum benda 1 sebelum tumbukan

$p_2$  = momentum benda 2 sebelum tumbukan

$p_1'$  = momentum benda 1 setelah tumbukan

$p_2'$  = momentum benda 2 setelah tumbukan

$v_1$  = kecepatan benda 1 sebelum tumbukan

$v_2$  = kecepatan benda 2 sebelum tumbukan

$v_1'$  = kecepatan benda 1 setelah tumbukan

$v_2'$  = kecepatan benda 2 setelah tumbukan

$m_1$  = massa benda 1

$m_2$  = massa benda 2

### Diskusikan !

Perhatikan reaksi badan atlet tembak. Saat peluru melesat ke depan, maka laras senapan akan bergetar. Kemana arah gerak senapan ?

### Tumbukan Sentral Lurus

Benda dikatakan bertumbukan sentral lurus jika dalam gerakannya benda mengalami persinggungan dengan benda lain sehingga saling memberikan gaya, dan arah gerak dan kecepatannya berimpit dengan garis penghubung titik berat kedua benda.

Ada tiga jenis tumbukan sentral lurus, yaitu :

#### 1. Tumbukan lenting sempurna

Pada tumbukan ini berlaku :

a. Hukum kekekalan momentum

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

b. Hukum kekekalan energi kinetik

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2'^2$$

c. Nilai koefisien restitusi ( $e=1$ )

$$e = - \frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2}$$

## 2. Tumbukan lenting sebagian

Pada tumbukan ini berlaku:

- hukum kekekalan momentum
- kehilangan energi kinetic
- nilai koefisien restitusi ( $0 < e < 1$ )

## 3. Tumbukan tidak lenting sama sekali

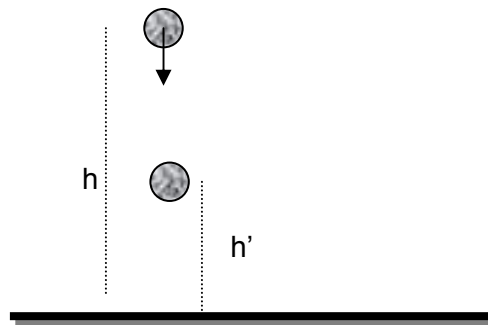
Pada tumbukan ini berlaku:

- hukum kekekalan momentum
- kehilangan energi kinetic
- nilai koefisien restitusi ( $e = 0$ )
- setelah bertumbukan kedua benda bergabung menjadi satu, sehingga  $v_1' = v_2'$

### Penerapan Momentum, Impuls dan Tumbukan

#### 1. Benda jatuh

Benda yang dijatuhkan dari ketinggian  $h$  akan menumbuk lantai, dan akan dipantulkan kembali setinggi  $h'$ . Jenis tumbukan antara bola dengan lantai (tanah) adalah tumbukan lenting sebagian. Pada tumbukan ini muncul koefisien restitusi ( $e$ ), yaitu nilai negatif dari perbandingan beda kecepatan antara dua benda sesudah dan sebelum tumbukan.



- kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan = nol (lantai diam), sehingga:

$$v_l = v_l' = 0$$

- kecepatan bola saat mengenai lantai (sebelum tumbukan dengan lantai):

$$v_b = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{ke bawah}$$

- kecepatan bola setelah bertumbukan dengan lantai:

$$v_b' = -\sqrt{2 \cdot g \cdot h'} \quad \text{ke atas}$$

- besarnya koefisien restitusi bola jatuh dan memantul lagi adalah:

$$e = -\frac{(v_b' - v_l')}{v_b - v_l}$$

$$e = -\frac{v_b'}{v_b} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h'}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

Keterangan:

$h$  = tinggi bola dijatuhkan

$h'$  = tinggi pantulan bola

$v_l$  = kecepatan lantai sebelum tumbukan

$v_l'$  = kecepatan lantai setelah tumbukan

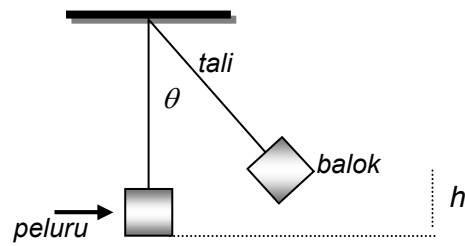
$v_b$  = kecepatan bola sebelum tumbukan

$v_b'$  = kecepatan bola setelah tumbukan

$e$  = koefisien restitusi.

## 2. Ayunan Balistik

Ayunan balistik merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kelajuan peluru.



Sebuah balok diam, tertembak peluru dan bersarang didalamnya. Akibatnya balok dan peluru bergerak (berayun) setinggi  $h$  dengan sudut  $\theta$ . Hal ini disebabkan karena energi kinetik peluru berubah menjadi energi potensial balok balistik. Dari gambar diperoleh :

- balok mula-mula diam, sehingga kecepatan balok sebelum tumbukan dengan peluru  $v_b = 0$
- peluru bersarang di dalam balok, sehingga kecepatan peluru dan balok setelah tumbukan adalah sama ( $v_b' = v_p' = v'$ )
- Menurut hukum kekekalan momentum :  
$$m_p \cdot v_p = (m_p + m_b) \cdot v'$$
- menurut hukum kekekalan energi mekanik :  
$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot (v')^2 = m \cdot g \cdot h$$
- dari kedua hukum di atas diperoleh kecepatan peluru saat mengenai balok adalah :

$$v_p = \left( \frac{m_p + m_b}{m_p} \right) \times \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$v_p$  = kecepatan peluru saat menumbuk balok  
 $m_p$  = massa peluru  
 $m_b$  = massa balok  
 $h$  = ketinggian balok berayun  
 $g$  = percepatan gravitasi

## 3. Prinsip Kerja Roket

Prinsip kerja roket mirip dengan prinsip naiknya balok tak tertutup yang berisi udara. Prinsip kerja roket berdasar pada hukum kekekalan momentum. Momentum roket di tanah = nol. Ketika bahan bakar, menyembur keluar, maka roket naik ke atas untuk menyeimbangkan momentum totalnya.

Roket yang massanya  $M$  dan bahan bakarnya bermassa  $m$ , melaju dengan kecepatan  $v$ . yang artinya bila kecepatan roket  $+v$  maka kecepatan semburan gas buangnya adalah  $-v$ . Menurut hukum kekekalan momentum :

- Jumlah momentum awal roket dan gas = nol
- Jumlah momentum akhirnya adalah :  $M \cdot v_1 + m \cdot (-v_2)$

Sehingga  $0 = M \cdot v_1 + m \cdot (-v_2)$

atau

$$M \cdot v_1 = m \cdot v_2$$

$M$  = massa roket  
 $M$  = massa bahan bakar gas  
 $v_1$  = kecepatan roket naik  
 $v_2$  = kecepatan semburan gas keluar tabung

## Contoh Soal

1. Kecepatan peluru saat lepas dari larasnya 200 m/s. Jika massa peluru dan senapan masing-masing 10 gram dan 5 kg, hitunglah kecepatan dorong senapan terhadap bahu penembak saat peluru lepas dari larasnya ?

**Penyelesaian :**

Diketahui :  $v_1 = 0$  m/s

$v_2 = 0$  m/s

$v_2 = 200$  m/s

$m_1 = 5$  kg

$m_2 = 10$  gr =  $10^{-2}$  kg

Ditanya :  $v_1$  .... ?

Jawab :

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$5 \cdot 0 + 10^{-2} \cdot 0 = 5 \cdot v_1' + 10^{-2} \cdot 200$$

$$0 = 5 \cdot v_1' + 2$$

$$v_1' = -\frac{2}{5} = -0,4 \text{ m/s}$$

(tanda negatif menunjukkan bahwa arah gerak senapan berlawanan dengan arah gerak peluru)

2. Dua buah mainan mobil A dan B massanya masing-masing 2 kg dan 3 kg bergerak searah dengan kecepatan masing-masing 8 m/s dan 5 m/s. Kedua mobil bertumbukan lenting sempurna. Hitunglah kecepatan kedua mobil setelah bertumbukan !

**Penyelesaian :**

Diketahui :  $m_1 = 2 \text{ kg}$   
 $m_2 = 3 \text{ kg}$   
 $v_1 = 8 \text{ m/s}$   
 $v_2 = 5 \text{ m/s}$   
 $e = 1$

Ditanya :  $v_1'$  dan  $v_2'$  .....?

Jawab :

\* hukum kekekalan momentum

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$2 \cdot 8 + 3 \cdot 5 = 2 \cdot v_1' + 3 \cdot v_2'$$

$$2 \cdot v_1' + 3 \cdot v_2' = 31 \text{ .....1)}$$

\* nilai  $e = 1$

$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2}$$

$$1 = -\frac{(v_1' - v_2')}{8 - 5}$$

$$v_1' + v_2' = -3$$

$$v_1' = v_2' - 3 \text{ .....2)}$$

Persamaan 1) dan 2) :

$$2 \cdot (v_2' - 3) + 3 \cdot v_2' = 31$$

$$5 \cdot v_2' = 37$$

$$v_2' = 7,4 \text{ m/s}$$

$$\text{Jadi } v_1' = 2 \text{ m/s}$$

## Aktivitas 2

### Koefisien Restitusi Tumbukan

**Tujuan :**

Menentukan koefisien restitusi pada tumbukan

**Alat & bahan :**

1. bola tennis lapangan
2. bola tennis meja
3. meteran

**Langkah kerja :**

1. Jatuhkan bola tennis lapangan dari ketinggian  $h$
2. Ukurlah tinggi pantulan pertama  $h'$
3. Ulangan langkah di atas dengan ketinggian  $h$  yang berbeda sebanyak 5 kali
4. Ulangi langkah di atas untuk bola tennis meja
5. Catat hasil pengamatanmu model table berikut :

NO	$h$	$h'$	$\sqrt{h}$	$\sqrt{h'}$
1				
2				
3				
4				
5				

**Tugas :**

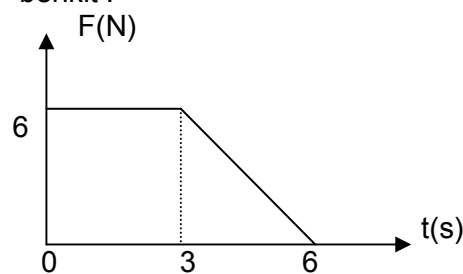
1. Buatlah grafik antara  $\sqrt{h}$  dengan  $\sqrt{h'}$
2. bandingkan gradient garis pada grafik antara bola tennis lapangan dengan bola tennis meja
3. Buatlah kesimpulan percobaan di atas

### Uji Kompetensi 2

1. Sebuah granat yang diam tiba-tiba meledak dan pecah menjadi dua bagian dan bergerak berlawanan. Perbandingan massa kedua benda adalah  $m_1:m_2 = 1:2$ . Jika bagian benda yang bermassa  $m_1$  melesat dengan kecepatan 5 m/s, hitunglah kecepatan bagian benda yang bermassa  $m_2$  dan kemana arahnya ?
2. Dua buah benda bermassa 1 kg dan 3 kg bergerak berlawanan arah dengan kecepatan sama 2 m/s. Kedua benda bertumbukan, sehingga setelah tumbukan kedua benda menjadi satu. Hitunglah kecepatan kedua benda tersebut dan kemana arahnya ?
3. Sebuah bola tennis dilepas dari ketinggian 2 m di atas permukaan tanah. Pada pantulan pertama dicapai ketinggian 50 cm. Hitung :
  - a. tinggia pantulan kedua
  - b. koefisien restitusi benda dengan tanah
4. Dua buah mainan mobil A dan B massanya masing-masing 1 kg dan 2 kg bergerak berlawanan arah dengan kecepatan masing-masing 4 m/s dan 3 m/s. Kedua mobil bertumbukan lenting sempurna. Hitunglah kecepatan kedua mobil setelah bertumbukan !
5. Sebuah balok bermassa 1,98 kg digantungkan pada langit-langit dengan seutas tali yang panjangnya 1 m. Balok diam tersebut ditembak dengan peluru bermassa 20 gram dengan kecepatan 200 m/s dan peluru bersarang dalam balok. Hitunglah :
  - a. kecepatan balok dan peluru berayun
  - b. ketinggian balok berayun
  - c. sudut penyimpangan tali

### Evaluasi

1. Impuls termasuk besaran ...
  - a. vektor
  - b. skalar
  - c. turunan dan skalar
  - d. pokok
  - e. vektor dan turunan
2. Impuls mempunyai rumus dimensi ...
  - a. MLT
  - b.  $MLT^{-1}$
  - c.  $MLT^{-2}$
  - d.  $ML^2T$
  - e.  $ML^2T^{-2}$
3. Sebuah benda bermassa 2 kg dipukul dengan gaya 60 N. Jika lama gaya bekerja pada benda selama 0,2 s, maka besarnya impuls benda adalah ... N.s
  - a. 9
  - b. 10
  - c. 11
  - d. 12
  - e. 13
4. Grafik hubungan antara gaya F yang bekerja pada benda selama t, ditunjukkan seperti pada garik berikut :



Besarnya impuls pada benda adalah ...Ns.

- a. 27
  - b. 28
  - c. 29
  - d. 30
  - e. 32
6. Sebuah bola bekel bermassa 200 gram melaju pada lantai licin dengan kecepatan 20 m/s. Besarnya momentum bola adalah ...kg.m/s
- a. 2
  - b. 3
  - c. 4
  - d. 5
  - e. 6
7. Buah mangga bermassa 1 kg jatuh dari pohon setinggi 5 m. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka besarnya momentum buah mangga saat mengenai tanah adalah ... kg.m/s
- a. 50
  - b. 40
  - c. 30
  - d. 20
  - e. 10
8. Seseorang memukul bola bermassa 0,2 kg dengan gaya 200 N. Selang waktu persinggungan antara kayu pemukul dengan bola 0,1 s. Kelajuan bola setelah dipukul adalah ... m/s
- a. 200
  - b. 100
  - c. 20
  - d. 10
  - e. 2
9. Sebuah benda bermassa 3 kg bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Untuk menghentikan benda diperlukan impuls sebesar ... Ns.
- a. 1,5
  - b. 3
  - c. 6
  - d. 12
  - e. 15
10. Sebuah bola kasti mula-mula bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Setelah dipukul kecepatan bola menjadi 15 m/s dengan arah sebaliknya. Jika massa bola kasti 0,5 kg dan bola menempel pada kayu pemukul 0,1 s, maka besarnya gaya pukulan adalah ... N
- a. 25
  - b. 50
  - c. 75
  - d. 100
  - e. 200
11. Sebuah bola bermassa 0,2 kg dipukul sehingga bergerak dengan kecepatan 60 m/s dan mengenai secara tegak lurus pada tembok. Setelah menumbuk tembok, bola terpental dengan kelajuan 40 m/s. Besarnya impuls yang disebabkan tumbukan tersebut adalah ... Ns.
- a. 2
  - b. 3
  - c. 4
  - d. 5
  - e. 6
12. Sebuah mobil truk bermassa 2 ton bergerak dengan kecepatan 36 km/jam, kemudian menabrak truk lain yang sedang diam dan berhenti setelah 0,1 s. Besar gaya rata-rata truk saat menabrak pohon adalah ... N
- a. 200
  - b. 2000
  - c. 20.000
  - d. 200.000
  - e. 2.000.000

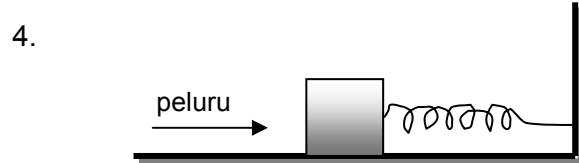
13. Mobil A dan B bergerak searah dengan kecepatan 40 m/s dan 10 m/s. Kedua mobil bertumbukan. Setelah bertumbukan kedua mobil bergerak bersama dengan kelajuan 17,5 m/s. Jika massa mobil A adalah 500 kg, maka massa mobil B adalah ...kg
- 500
  - 1000
  - 1500
  - 2000
  - 2500
14. Sebuah balok bermassa 4,9 kg terletak diatas lantai licin, terkena peluru bermassa 0,1 kg dengan kecepatan 30 m/s. Jika peluru bersarang di dalamnya, maka kecepatan balok setelah terkena peluru adalah ... m/s
- 2,5
  - 2,0
  - 0,8
  - 0,6
  - 0,4
15. Dua buah bola A dan B bermassa sama, bergerak berlawanan arah dengan kecepatan 50 m/s dan 45 m/s, sehingga bertumbukan lenting sempurna. Kecepatan bola A setelah bertumbukan dengan bola B adalah ... m/s
- 5
  - 45
  - 50
  - 90
  - 95
16. Sebuah bola pingpong dilepaskan dari ketinggian h. Pada pemantulan pertama tinggi yang dicapai bola adalah 1,5 m. Jika koefisien restitusi antara bola dengan lantai sebesar  $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ , maka bola pingpong tersebut dijatuhkan dari ketinggian h = ... m
- 6,0
  - 3,0
  - 2,5
  - 2,0
  - 1,5
17. Sebuah benda dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Setelah bola mencapai titik tertinggi, benda pecah menjadi dua bagian dengan perbandingan massa  $m_1:m_2 = 1:4$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka perbandingan kecepatan kedua pecahan benda adalah ...
- 1:2
  - 2:1
  - 4:1
  - 1:4
  - 3:2
18. Dua benda A dan B bermassa sama bergerak berlawanan arah dengan kecepatan 1 m/s dan 2 m/s. Jika kedua benda bertumbukan lenting sempurna, maka perbandingan jumlah energi kinetik kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah ...
- 1:1
  - 1:2
  - 2:1
  - 2:3
  - 3:2
19. Sebuah peluru bermassa 20 gram ditembakkan dari sepucuk senapan yang bermassa 3 kg. Jika senapan tersentak ke belakang dengan kelajuan 0,2 m/s, maka kelajuan peluru saat keluar dari moncong senapan adalah ... m/s
- 5
  - 10
  - 20
  - 30
  - 60

20. Seorang nelayan meloncat ke utara dengan kecepatan 5 m/s dari perahu yang diam. Jika massa perahu dan nelayan masing-masing 200 kg dan 50 kg, maka kecepatan perahu pada saat nelayan meloncat tersebut adalah ...
- 1,25 m/s ke utara
  - 1,25 m/s ke selatan
  - 1,00 m/s ke utara
  - 1,00 m/s ke selatan
  - 2 m/s ke utara

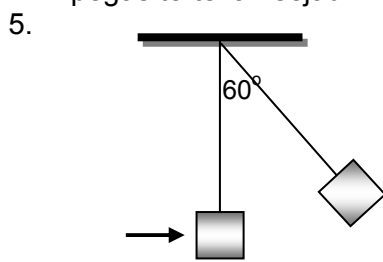
**Uraian**

**Kerjakan Soal Berikut dengan benar !**

- Sebuah balok bermassa 1,5 kg terletak pada lantai kasar yang koefisien gesekannya 0,2. Sebuah peluru bermassa 10 gram mengenai balok tersebut dan bersarang di dalamnya, sehingga balok bergeser sejauh 1 m. Hitunglah besarnya kecepatan peluru saat menumbuk balok !
- Dua buah benda A dan B massanya sama bergerak berlawanan arah dengan kecepatan masing-masing 10 m/s dan 20 m/s. Kedua mobil bertumbukan lenting sempurna. Hitunglah kecepatan kedua mobil setelah bertumbukan !
- Sebuah roket dengan massa gas 15 kg dimampatkan pada sebuah tabung berpipa. Ketika katup tabung dibuka, gas menyembur keluar dan habis dalam waktu 1,5 menit. Jika kecepatan rata-rata semburan gas 30 m/s, hitunglah gaya dorong roket !



Sebuah balok diam di atas bidang datar licin. Balok bermassa 1,99 kg dihubungkan pegas yang konstantanya 2000 N/m. Balok ditembak peluru bermassa 10 gram dan bersarang di dalamnya. Jika pegas tertekan sejauh 10 cm, tentukan kecepatan peluru saat menumbuk balok !



Sebuah peluru bermassa 10 gram ditembakkan ke dalam suatu balok ayunan balistik bermassa 1,49 kg. Pada saat ayunan mencapai ketinggian maksimum, tali membentuk sudut  $60^\circ$ . Jika panjang tali ayunan 0,2 m dan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , hitunglah kelajuan peluru saat mengenai balok !

