# DAFTAR SAMPUL

# DAFTAR ISI

# I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan menyajikan beberapa materi yang terkait dengan pengukuran dan ketidak pastian, angka signifikan, satuan dan dimensi serta dasar-dasar analisis vektor. Penyajian mengenai hal-hal tersebut sangat diperlukan sebagai dasar untuk mengungkapkan hubungan besaran-besaran yang digunakan dalam pengukuran dalam bentuk satuan-satuan tertentu, misalnya massa, suhu, waktu, panjang. Besaran tersebut dinamakan besaran skalar. Besaran lainnya dinamakan besaran vektor. Tinjauan mengenai besaran vektor dalam bab ini berkenaan dengan teknik matematika yang akan merincikan besaran tersebut dalam sistem koordinat tertentu (koordinat kartesian), lengkap dengan pengoperasiannya.

## A. Standar Kompetensi

Memahami mengenai konsep dasar besaran, satuan, dimensi, pengukuran dan penentuan angka penting serta vektor dan aljabar vektor.

## B. Kompetensi Dasar

1. Memberikan uraian tentang pengukuran dalam fisika.
2. Mengetahui bagaimana perhitungan ketidakpastian dalam pengukuran.
3. Menjelaskan pembulatan angka signifikan.
4. Menentukan satuan serta dimensi suatu besaran fisis.
5. Mendefinisikan vektor dan operator vektor.
6. Menjelaskan tentang penjumlahan, pengurangan dan perkalian titik maupun perkalian silang pada besaran vektor.

## C. Materi Pembelajaran

Ilmu fisika mempelajari berbagai gejala alam, penyebab terjadinya, akibatnya maupun pemakaiannya. Ilmu ini sudah berkembang sangat jauh dan memasuki hampir semua bidang kehidupan kita. Penemuan-penemuan dalam fisika menjadi dasar bagi industri dan teknologi modern, misalnya dalam bidang komputer, transportasi, komunikasi elektronika, ilmu bahan, kesehatan dan banyak lagi. Jangkauannya pun sangat luas, mulai dari ukuran terkecil sekitar $10^{-18}$ m sampai ukuran alam semesta sekitar $10^{26}$ m.

### 1. *Pengukuran Dalam Fisika*

#### a. Pengukuran Dan Ketidakpastian

Pengukuran dalam fisika merupakan aspek penting mengingat suatu "**Hukum**" dapat diberlakukan jika telah terbukti secara eksperimental, dan eksperimental tidak dapat terlepas dari pengukuran. Ketepatan pengukuran merupakan juga bagian penting, karena tidak ada pengukuran yang berpresisi secara mutlak, terdapat ketidakpastian pada setiap pengukuran. Setiap mencatat hasil pengukuran yang kita lakukan, kemungkinannya akan lebih kecil atau lebih besar dari hasil yang sesungguhnya. Oleh karena itu, pemberian hasil dari setiap pengukuran harus disertakan dengan "estimasi ketidakpastian" (*estimated uncertainty*). Misalkan; lebar papan ditulis (5,2 $\pm$ 0,1) cm. Angka 0,1 cm menyatakan estimasi ketidakpastian dalam pengukuran (umumnya angka 0,1 cm adalah nilai skala terkecil alat ukur, dalam hal ini papan diukur dengan mistar). Lebar aktual papan berada di antara 5,1 dan 5,3 cm. Persen ketidakpastian (*percent uncertainty*) adalah rasio ketidakpastian terhadap harga terukur dikalikan dengan 100. Misalkan, jika pengukuran adalah 5,2 cm dan ketidakpastian sekitar 0,1 cm, maka persen ketidakpastian sebesar (0,1/5,2) x 100% = 2%.

#### b. Angka Signifikan (*angka berarti*)

Angka berarti adalah angka-angka di dalam suatu bilangan yang turut mempengaruhi hasil-hasil perhitungan. Misalnya, terdapat empat angka berarti pada bilangan 23,21, dan dua angka signifikan pada bilangan 0,062 cm. Perlu diperhatikan bahwa ***angka berarti*** tidak bisa dipisahkan dari skala pengukuran (skala terkecil alat ukur) jika skalanya 0,001 cm atau 0,002 cm, sehingga angka 6 (enam) dan 2 (dua) adalah angka berarti. Akan tetapi coba perhatikan, bilangan 36.900 memiliki sejumlah angka berarti yang tidak jelas. Kenapa demikian? Karena skala pengukurannya bisa saja 100, 50, 20, atau bahkan 1. Namun jika ditulis $3{,}69 \times 10^4$ kita dapat pastikan terdapat tiga angka berarti. Pada bilangan $3{,}690 \times 10^4$ terdapat empat angka berarti atau jika terdapat bilangan 36,901 kita dapat pastikan terdapat lima angka berarti.

Hasil perkalian, pembagian, pengurangan, penjumlahan dua bilangan atau lebih hendaknya ditulis dengan jumlah angka berarti yang sama dengan jumlah angka berarti terkecil dari bilangan induk. Bilangan induk hendaknya dalam keadaannya semula (tidak mengurangi angka berarti) pada saat mengalami operasi matematika.

**Contoh :**

Hasil pengukuran sebuah balok menunjukkan panjang = 20,21cm, lebar =10,2 cm, dan tinggi = 8,72 cm. Berapakah volume balok?

Jawab:

Volume = panjang x lebar x tinggi

= 20,21cm x 10,2 cm x 8,72 cm = 1797,55824 $cm^3$

Perhatikan angka:

20,21 = empat angka berarti

10,2 = tiga angka berarti

8,72 = tiga angka berarti

Maka volume balok harus mengandung 3 angka berarti yaitu = $1,80 \times 10^3$ $cm^3$

## c. Satuan dan Dimensi

Karena kemunculan berbagai bidang tidak serempak, seringkali besaran yang sejenis diberi satuan yang berbeda. Sebagai contoh energi, kita mengenal banyak satuan untuknya, misalnya kalori, joule, erg, Btu (*British thermal Unit*), kWh, hph. Keanekaragaman ini sering menyulitkan, terutama bagi pemula yang baru belajar fisika. Belum lagi di bidang elektromagnetik. Karena itu diadakan pertemuan internasional untuk menyeragamkan penggunaan satuan. Pertemuan ini menghasilkan suatu sistem satuan yang disepakati untuk digunakan bersama. Sistem satuan ini disebut *Sistem Internasional* disingkat SI.

Dalam SI dikenal tujuh besaran dasar berdimensi dan dua besaran tambahan tidak berdimensi. Satuan besaran dasar ditentukan melalui defenisi, sedangkan satuan besaran lain diperoleh dari besaran dasar melalui hubungan yang dikenal dalam teori. Tabel I.1 memuat besaran dasar dan besaran tambahan beserta dimensinya.

Rumus dimensi diperlukan untuk memeriksa kesesuaian suatu rumus fisika. Rumus fisika yang betul harus memuat rumus dimensi yang sama pada kedua ruasnya.

**Tabel I.1 Besaran dasar dan besaran tambahan**

| Besaran Dasar | Nama | Lambang | Dimensi |
|---|---|---|---|
| 1. Panjang | meter | M | [L] |
| 2. Massa | kilogram | kg | [M] |
| 3. Waktu | sekon | s | [T] |
| 4. Arus Listrik | ampere | A | [I] |
| 5. Suhu | kelvin | K | [$^{o}$] |
| 6. Jumlah zat | mole | mol | [N] |
| 7. Intensitas cahaya | kandela | Cd | [J] |
| **Besaran Tambahan** | | | |
| 1. Sudut datar | radian | Rad | - |
| 2. Sudut ruang | steradian | Sr | - |

Sebagai contoh, dalam gerak melingkar percepatan sentripetal bergantung pada laju putaran dan jari-jari lintasannya. Seandainya kita lupa bagaimana hubungan persisnya, kita dapat memperoleh dengan menggunakan analisis dimensi sebagai berikut :

$$[\text{percepatan}] = [\text{kecepatan}]^{a}[\text{jari - jari}]^{b}$$

$$\frac{[L]}{[T]^2} = \left(\frac{[L]}{[T]}\right)^{a}[L]^{b} = \frac{[L]^{a+b}}{[T]^{a}}$$

karena dimensi kedua ruas harus sama, maka haruslah $a+b=1$ dan $a=2$, maka $b=-1$ jadi rumus percepatan sentripetal adalah $\text{percepatan sentripetal} = [\text{kecepatan}]^2 / [\text{jari - jari}]$ atau $a_{cp} = v^2 / R$.

## d. Notasi Ilmiah

Perhitungan bilangan-bilangan besar atau sangat kecil, biasanya disederhanakan dengan menggunakan notasi ilmiah. Penulisan biasanya dilakukan dengan suatu bilangan antara 1-10 yang dikalikan dengan pangkat dari bilangan 10. Contoh: bilangan 1000, dapat ditulis: $1\text{x}10^{3}$ atau bilangan yang sangat kecil, misalnya 0,0001 maka ditulis $1\text{x}10^{-4}$. Demikian pula jika dalam perhitungan perkalian dimana eksponensial dijumlahkan atau dalam pembagian, eksponensialnya dijumlahkan. Misal $10^2 x 10^3$=100x1000=100.000=$10^{2+3}$ = $10^5$.

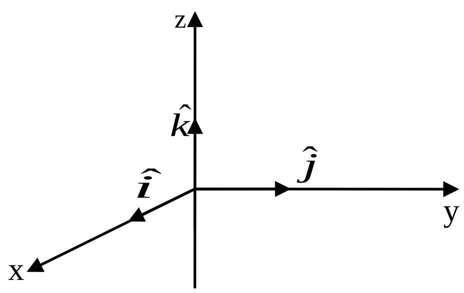
## 2. *Operator Vektor*

Jika kita ingin memberikan informasi kepada orang lain tentang pergeseran atau perpindahan suatu benda sejauh 5 meter misalnya atau sebuah pesawat tempur terbang dengan kecepatan 300 km/jam. Informasi yang kita berikan masih dapat menyesatkan jika disertakan dengan arah pergeseran. Besaran-besaran yang masih memerlukan informasi arah disebut **besaran vektor**, antara lain : kecepatan, pergeseran, gaya, percepatan, dan momentum. Sedangkan besaran-besaran yang tidak memerlukan informasi arah disebut **besaran skalar**, antara lain : massa, temperatur, dan kerapatan.

Penjumlahan, pengurangan, dan perkalian besaran-besaran vektor sangat dipengaruhi oleh arah dari masing-masing besaran vektor tersebut. Umumnya besaran vektor ditulis dengan menggunakan simbol yang bergaris panah di atasnya atau ditulis dengan menggunakan huruf tebal, dan digambarkan secara grafis dengan garis panah. Arah panah menyatakan arah vektor. Dalam sistem koordinat kartesian tiga dimensi, suatu vektor dapat diuraikan dalam tiga komponen. Vektor satuan **i**, **j**, dan **k** didefinisikan sebagai vektor yang mempunyai besar sama dengan satu dan arah sejajar dengan sumbu x, y, dan z. Suatu vektor A dapat diuraikan sebagai :

$$\mathbf{A} = A_x\mathbf{i} + A_y\mathbf{j} + A_z\mathbf{k} \quad \text{.......} \quad (1)$$

Dengan $A_x$, $A_y$, dan $A_z$ masing-masing komponen vektor A dalam arah x, y, dan z.



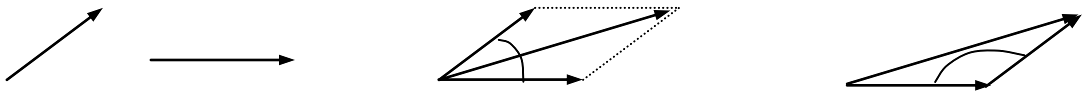

**Gambar I.1 Komponen**

Besaran vektor $\vec{A}$ ditulis dengan |A| atau **A** (tanpa garis panah atasnya) dan bila komponen-komponen kartesiannya diketahui maka **A** diberikan berdasarkan :

$$|A| = A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \qquad (2)$$

**a. Penjumlahan Vektor**

Jika dua buah vektor masing-masing **A** dan **B** dijumlahkan akan menghasilkan sebuah resultan **C**.



**Gambar I.2 Penjumlahan Vektor**

$$C = A + B \qquad (3)$$

$$|C|^2 = |A|^2 + |B|^2 + 2\,|A|\,|B| \cos\theta \qquad (4)$$

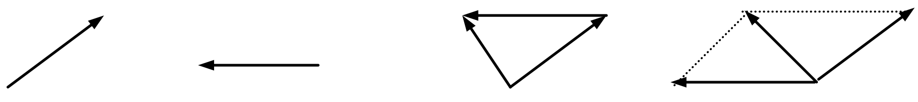
$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A} \qquad (5)$$

$$|C|^2 = |A|^2 + |B|^2 - 2\,|A|\,|B| \cos\phi \qquad (6)$$

**b. Pengurangan Vektor**

Pengurangan dua buah vektor didefinisikan sebagai :

$$\mathbf{A - B = A + (-B)} \qquad (7)$$



**Gambar I.3 Pengurangan Vektor**

**c. Perkalian titik (*Dot Product*)**

Operasi perkalian vektor ada dua macam, yang pertama adalah "perkalian titik", diberi tanda "$\bullet$" antara dua vektor dan hasilnya adalah skalar.

$$A \bullet B = |A||B| \cos\theta = AB\cos\theta \qquad (8)$$

Dengan $\theta$ adalah sudut antara vektor **A** dan **B**. Jika komponen-komponen kartesian dari **A** dan **B** diketahui, maka :

$$A \bullet B = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}) \bullet (B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}) = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$$

Dengan, $\hat{i}.\hat{i} = \hat{j}.\hat{j} = \hat{k}.\hat{k} = 1$ dan $\hat{i}.\hat{j} = \hat{j}.\hat{k} = \hat{k}.\hat{i} = 1$, karena ketiga vektor satuan saling tegak lurus.

**d. Perkalian Silang (*Cross Product*)**

Operasi perkalian vektor yang kedua adalah "perkalian silang", diberi tanda "×" antara dua vektor dan hasilnya adalah vektor

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = |A||B| \sin\theta \qquad (9)$$

Dengan $\theta$ adalah sudut antara vektor **A** dan **B**, jika diuraikan dalam komponen-komponen kartesian :

$$\begin{aligned} A \times B &= (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}) \times (B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}) \\ &= (A_yB_z - A_zB_y)\hat{i} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{j} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k} \end{aligned}$$

atau : $$A \times B = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

Dengan, $\hat{i}x\hat{j} = -\hat{j}x\hat{i} = \hat{k}$ ; $\hat{j}x\hat{k} = -\hat{k}x\hat{j} = \hat{i}$ ; $\hat{k}x\hat{i} = -\hat{i}x\hat{k} = \hat{j}$

Arah vektor **A** × **B** senantiasa tegak lurus dengan luasan yang dibentuk oleh perkalian silang tersebut.

## D. Contoh-contoh Soal dan Pemecahannya

1. Sebuah kapal berlayar 400 km ke arah barat lalu 300 km ke arah barat daya. Tentukan berapa jauh dari posisi semula dan arah haluannya untuk kembali ke posisi semula.

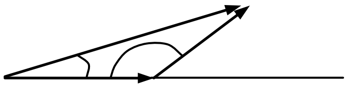
***Jawab :***

|A| = 400 km dan |B| = 300 km, ditanyakan |C| = …..? dan θ = ….?

$|C|^2 = |A|^2 + |B|^2 - 2\,|A|\,|B| \cos 135^o$

$|C|^2 = 400^2 + 300^2 - 2\,(400)\,(300) \cos 135^o$ = …………

$\frac{\sin\theta}{|B|} = \frac{\sin 135^o}{|C|}$ *maka* $\sin\theta = \frac{|B|}{|C|}\sin 135^o$



sehingga diperoleh : $\theta = \arcsin(\ldots.)$

2. Diketahui vektor-vektor posisi sebagai berikut :

   $\vec{r}_1 = 2\hat{i} + 4\hat{j}$ *dan* $\vec{r}_2 = 3\hat{j} + 2\hat{k}$ hitunglah :

   a. $\vec{r}_1 \bullet \vec{r}_2$

   b. $\vec{r}_1 \times \vec{r}_2$

   c. Sudut yang diapit oleh vektor-vektor tersebut

**Jawab :**

a. $\vec{r}_1 \bullet \vec{r}_2 = (2\hat{i} + 4\hat{j}) \bullet (3\hat{j} + 2\hat{k}) = 12$

b. $\vec{r}_1 \times \vec{r}_2 = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 2 \end{vmatrix} = 8\hat{i} - 4\hat{j} + 6\hat{k}$

c. $\cos\theta = \frac{\vec{r}_1 \bullet \vec{r}_2}{|\vec{r}_1||\vec{r}_2|}$, $\theta = arc\cos\frac{12}{\sqrt{260}}$ = 41,91°

3. Diketahui $\vec{r}_1 = 2\hat{i} + \hat{j}$ dan $\vec{r}_2 = 4\hat{i} + 7\hat{j}$ tentukan :

   a. komponen $\vec{C}$ yang memenuhi $\vec{C} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$

   b. $|\vec{C}|$ dan sudut yang dibentuknya terhadap sumbu-x.

***Jawab :***

a. $\vec{C} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 = (2\hat{i} + \hat{j}) + (4\hat{i} + 7\hat{j}) = (6\hat{i} + 8\hat{j})$

b. $|\vec{C}| = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{100} = 10$ *satuan*, nilai ini merupakan resultan, maka besarnya sudut yang dibentuknya terhadap sumbu-x dihitung dengan menggunakan persamaan :

$\sin\theta = 8/10 = 0{,}8$ *maka* $\theta = \arcsin\ (0{,}8) = 53{,}13^o$ *atau* $\theta = \arccos\ (6/10) = 53{,}13^o$.

4. Seorang pemain golf membutuhkan tiga putt (pukulan perlahan-lahan) untuk memasukkan bola ke dalam lubangnya. Putt pertama menggeser bola sejauh 12 m ke utara, yang kedua 6 m ke tenggara dan yang ke tiga 3 m ke barat-daya. Tentukan pergeseran bola sejak pukulan pertama sampai masuk ke dalam lubang (misalkan $\alpha$ = arah pergeseran bola).

***Jawab :***

Dengan menggunakan penjumlahan vektor secara analitis yaitu dengan menguraikan komponen vektor terhadap sumbu-x dan sumbu-y, maka resultannya dapat dihitung sebagai berikut :

| **Jarak Pergeseran Bola** | **Komponen - X** | **Komponen - Y** |
|---|---|---|
| 12 m | 12 cos 90 =0 | 12 sin 90 = 1 |
| 6 m | 6 cos 315 = 4,2426 | 6 sin 315 = -4,2426 |
| 3 m | 3 cos 225 = -2,1213 | 3 sin 225 = -2,1213 |
| **Jumlah** | **Rx = 2,1213** | **Ry = 5,6361** |

Pergeseran bola sejak pukulan pertama hingga masuk lubang adalah sama dengan resultan gaya-gaya tersebut dimana : $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{36,266} = 6,02\ m$

Arahnya dapat dihitung dengan menggunakan :

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x} = \frac{5,6361}{2,1213} \approx 2,657 \qquad \theta \approx 69,375^o$$

Jadi arahnya : $\alpha = (90 - 69,375) = 20,625^o$ ke timur dari utara.

5. Dua buah vektor diberikan sebagai $\vec{a} = 4\hat{i} - 3\hat{j} + \hat{k}$ dan $\vec{b} = -\hat{i} + \hat{j} + 4\hat{k}.$

   Tentukanlah: (a) $\vec{a} + \vec{b}$ ; (b) $\vec{a} - \vec{b}$ dan (c) vektor $\vec{c}$ agar $\vec{a} - \vec{b} + \vec{c} = 0$

Jawab :

a) $\vec{a} + \vec{b} = (4\hat{i} - 3\hat{j} + \hat{k}) + (-\hat{i} + \hat{j} + 4\hat{k}) = (\ 3\hat{i} - 2\hat{j} + 5\hat{k}\ )$

b) $\vec{a} - \vec{b} = (4\hat{i} - 3\hat{j} + \hat{k}) - (-\hat{i} + \hat{j} + 4\hat{k}) = (5\hat{i} - 4\hat{j} - 3\hat{k})$

c) Agar memenuhi $\vec{a}-\vec{b}+\vec{c}=0$, maka vektor $\vec{c}$ haruslah dipilih yang memiliki komponen vektor yang merupakan lawan (negatif) dari $\vec{a}-\vec{b}$, yaitu : $\vec{c}=(-5\hat{i}+4\hat{j}+3\hat{k})$, sehingga memenuhi $\vec{a}-\vec{b}+\vec{c}=(5\hat{i}-4\hat{j}-3\hat{k})$ + $(-5\hat{i}+4\hat{j}+3\hat{k})$ = 0

6. Dua buah vektor $\vec{a}$ dan $\vec{b}$ memiliki komponen $a_x$ = 3,2 ; $a_y$ =1.6; $b_x$ =0.5 ; $b_y$ =4.5; dalam satuan sembarang. Tentukan sudut antara $\vec{a}$ dan $\vec{b}$.

<u>***Jawab :***</u>

Komponen vektor $\vec{a}=(3{,}2\,\hat{i}+1{,}6\,\hat{j})$ *dan* $\vec{b}=(0{,}5\,\hat{i}+4{,}5\,\hat{j})$. Untuk menentukan sudut antara kedua vektor tersebut, digunakan persamaan :

$$\vec{a}\bullet\vec{b}=|\vec{a}|\,|\vec{b}|\cos\theta$$

$$\Rightarrow \quad \cos\theta=\frac{\vec{a}\bullet\vec{b}}{|\vec{a}|\,|\vec{b}|}=\frac{(3{,}2\,\hat{i}+1{,}6\,\hat{j})\bullet(0{,}5\,\hat{i}+4{,}5\,\hat{j})}{\sqrt{(3{,}2)^2+(1{,}6)^2}\sqrt{(0{,}5)^2+(4{,}5)^2}}=\frac{8{,}8}{16{,}199}\approx 0{,}543$$

$$\Rightarrow \quad \theta=\arccos\ (0{,}543)\approx 57{,}1^o$$

7. Tentukan kerapatan massa dan luas permukaan (dalam SI) dari sebuah silinder dengan tinggi = 10,04 cm, diameter = 32,1 mm dan massa = 49,2 gr. Perhatikan angka signifikan yang seharusnya dituliskan pada jawaban.

<u>***Jawab :***</u>

Diketahui : tinggi silinder (t) = 10,04 cm = 0,1004 m
diameter silinder (d) = 32,1 mm = 0,0321 m
jari-jari silinder (r) = 0,0321 / 2 = 0,01605 m
massa silinder = 49,2 gr = 0,0492 kg

Ditanya :
a. Luas permukaan silinder
b. Rapat massa silinder

Penyelesaian :

a. Luas silinder = $\pi\, r^2=\pi\ (0{,}01605)^2=8{,}093\ x\ 10^4\ m^2$

b. Rapat massa =

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{m}{\pi r^2 t}=\frac{0{,}0492\ kg}{(8{,}093\ x\ 10^4 m^2)(0{,}1004\,m)}\approx 6{,}06\,x10^6\,kg/m^3$$

8. Dua buah vektor yang besarnya masing-masing 5 satuan dan 3 satuan, membentuk sudut 60° satu sama lain. Hitunglah resultan vektor-vektor ini !

<u>***Jawab :***</u>

$V_1 = 5\, satuan$ $\qquad R = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2 V_1\ V_2 \cos\alpha}$

$V_2 = 3\, satuan$ $\qquad R = \sqrt{5^2 + 3^2 + 2\,(5)\,(3) \cos\ 60^o}$

$\alpha\ =\ 60^o$ $\qquad R = \sqrt{25 + 9 + (30)(0{,}5)} = \sqrt{49} = 7\, satuan$

9. Sebuah perahu hendak menyeberangi sungai. Kecepatan perahu adalah 10 m/dtk. Perahu diarahkan 60° terhadap arus sungai yang kecepatannya 6 m/dtk. Hitunglah :

   a) Kecepatan resultan perahu.

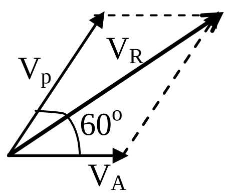
   b) Jarak yang ditempuh perahu jika perahu sampai ke seberang setelah 50 dtk.

   ***Jawab :***

   a. Misal : Kecepatan resultan perahu = $V_R$

   Kecepatan arus sungai = $V_A$

   Kecepatan perahu = $V_P$




$$V_R = \sqrt{V_A^2 + V_P^2 + 2\,(V_A)\ (V_P)\ \cos\ 60^o}$$

$$V_R = \sqrt{6^2 + 10^2 + 2\,(6)\ (10)\,(0{,}5)} = \sqrt{36 + 100 + 60} = \sqrt{196} = 14\, m\,/\,dtk$$

10. Tiga buah gaya yang bekerja pada suatu partikel dinyatakan sebagai :

$$F_1 = 20\hat{i} - 36\,\hat{j} + 73\hat{k}\ \ N$$

$$F_2 = -17\hat{i} + 21\,\hat{j} - 46\hat{k}\ \ N$$

$$F_3 = -12\hat{k}\ \ N$$

11. Tentukan resultannya dalam bentuk komponen dan tentukan pula besarnya resultan tersebut.

    ***Jawab :***

    Diketahui bahwa resultan masing-masing komponen adalah masing-masing komponen pada ketiga gaya tersebut, dinyatakan dalam :

$R_x = \sum F_x = 20 - 17 + 0 = 3\ N$ $\qquad$ Karena : $\boldsymbol{R} = R_x\hat{i} + R_y\,\hat{j} + R_z\hat{k}$

$R_y = \sum F_y = -36 + 21 + 0 = -15\ N$ $\qquad$ Maka komponennya : $\boldsymbol{R} = 3\hat{i} - 15\,\hat{j} + 15\hat{k}$

$R_z = \sum F_z = 73 - 46 - 12 = 15\ N$

Besarnya resultan : $\boldsymbol{R} = \sqrt{R_x{}^2 + R_y{}^2 + R_z{}^2} = \sqrt{459} = 21{,}4 \text{ N}$

## E. Rangkuman

Setiap hasil-hasil pengukuran besaran fisis biasanya dituliskan secara lengkap beserta dengan ketidakpastiannya. Penulisan hasil-hasil pengukuran tersebut dinyatakan dengan angka berarti. Hasil perkalian, pembagian, pengurangan, penjumlahan dua bilangan atau lebih, harus ditulis dengan jumlah angka berarti yang sama dengan jumlah angka berarti terkecil dari bilangan induk. Penyajian hasil pengukuran maupun perhitungan suatu besaran harus disertai dengan satuan. Dalam SI dikenal tujuh besaran dasar berdimensi dan dua besaran tambahan tidak berdimensi. Satuan besaran dasar ditentukan melalui defenisi, sedangkan satuan besaran lain diperoleh dari besaran dasar melalui hubungan yang dikenal dalam teori. Rumus fisika yang betul harus memuat rumus dimensi yang sama pada kedua ruasnya.

Dikenal ada dua besaran dalam fisika, yaitu besaran vektor (memerlukan informasi arah) antara lain: kecepatan, pergeseran, gaya, percepatan, momentum dan besaran skalar (besaran-besaran yang tidak memerlukan informasi arah), contohnya : massa, temperatur dan kerapatan.

Besaran vektor umumnya ditulis dengan menggunakan simbol yang bergaris panah di atasnya atau ditulis dengan menggunakan huruf tebal, dan digambarkan secara grafis dengan garis panah. Arah panah menyatakan arah vektor. Dalam sistem koordinat kartesian tiga dimensi, suatu vektor dapat diuraikan dalam tiga komponen. Vektor satuan **i**, **j** dan **k** didefinisikan sebagai vektor yang mempunyai besar sama dengan satu dan arah sejajar dengan sumbu x, y, dan z.

Penjumlahan, pengurangan, dan perkalian besaran-besaran vektor sangat dipengaruhi oleh arah dari masing-masing besaran vektor tersebut. Ada dua perkalian dalam vektor, yaitu perkalian titik (*dot product*) dan perkalian silang (*cross product*).

## F. **Test Formatif**

1. Jika diketahui vektor $\vec{A} = 2\hat{i} - 3\hat{j} + 5\hat{k}$ dan vektor $\vec{B} = 3\hat{i} + 1\hat{j} - 2\hat{k}$, maka nilai $(\vec{A} + \vec{B}) \bullet (\vec{A} - \vec{B})$ adalah :

   a. $5\hat{i} - 2\hat{j} + 3\hat{k}$ b. $-\hat{i} - 4\hat{j} + 7\hat{k}$

   c. $4\hat{i} + 6\hat{j} + 10\hat{k}$ d. $-5\hat{i} + 8\hat{j} + 21\hat{k}$

2. Suatu vektor resultan memiliki besar $\vec{R} = 6 \ satuan$ dengan sudut 129$^o$ terhadap sumbu x. Uraian vektor resultannya terhadap sumbu x dan sumbu y adalah :

   a. $\vec{R}_x = -4{,}7 \ satuan$ dan $\vec{R}_y = 3{,}8 \ satuan$ b. $\vec{R}_x = 3{,}8 \ satuan$ dan $\vec{R}_y = -4{,}7 \ satuan$

   a. $\vec{R}_x = -3{,}8 \ satuan$ dan $\vec{R}_y = 4{,}7 \ satuan$ d. $\vec{R}_x = -3{,}8 \ satuan$ dan $\vec{R}_y = -4{,}7 \ satuan$

1. Dua vektor $V_1$ = 4 satuan dan $V_2$ = 3 satuan bertitik tangkap di suatu titik, menghasilkan vektor resultan sebesar $\sqrt{37}$ satuan. Sudut yang di bentuk oleh kedua vektor tersebut adalah :

   a. 30$^o$ b. 60$^o$

   c. 45$^o$ d. 50$^o$

2. Dua buah vektor $\vec{a}$ dan $\vec{b}$ memiliki komponen masing-masing $a_x$= 3,2 ; $a_y$ =1,6 ; $a_z = 1{,}2$ dan $b_x$ =0,5 ; $b_y$ =4,5 ; $b_z = 1{,}5$ dengan satuan sembarang. Sudut antara yang dibentuk oleh kedua vektor tersebut adalah $\vec{a}$ dan $\vec{b}$

   a. 53,8$^o$ b. 35,8$^o$

   c. 83,5$^o$ d. 57,8$^o$

3. Resultan dua buah vektor yang besarnya 13 satuan dan 14 satuan adalah 15 satuan. Jika sudut yang diapit oleh vektor semula yaitu $\theta$, maka hitunglah tg $\theta$ :

   a. -2,43 b. 2,43

   c. 0,92 d. 0,38

4. Sebuah pesawat terbang bergerak ke arah timur dengan kecepatan 600 km/jam. Angin bertiup ke selatan dengan kecepatan 100 km/jam, maka kecepatan pesawat itu relatif terhadap bumi dan arahnya menjadi :

   a. 608,3 km/jam dan 12,5$^o$ ke arah selatan

   b. 608, 3 km/jam dan 9,46$^o$ ke arah selatan

c. 683 km/jam dan 9,46° ke arah barat daya

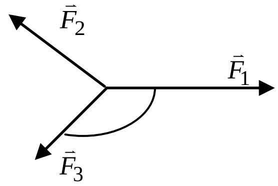
d. 508 km/jam dan 10,2° ke arah selatan

5. Dari titik A, Badu berjalan menuju arah Timur sejauh 5 km sampai di titik B dan melanjutkan perjalanannya dengan arah Utara sejauh 10 km sampai di titik C. Berapakah jarak AC ?

   a. 18,11 km  b. 10,25 km

   c. 11,18 km  d. 10,11 km

6. Tiga buah vektor gaya $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ *dan* $\vec{F}_3$ sebidang, bertitik tangkap sama berturut-turut besarnya 20 N, 15 N dan 10 N seperti gambar berikut. Ketiganya berada dalam keadaan setimbang. Sudut yang dibentuk antara $\vec{F}_1$ *dan* $\vec{F}_3$ adalah :




   a. 133,43°  b. 143,33°

   c. 134,44°  d. 150,33°

7. Dua buah vektor yang besarnya 8 dan 15 satuan saling mengapit sudut 45° terhadap sumbu x. Resultan kedua vektor dan sudut antara resultan dengan vektor pertamanya adalah :

   a. 21,42 satuan dan 29,7°  b. 29,7 satuan dan 24,7°

   c. 24,41 satuan dan 29,7°  d. 27,9 satuan dan 27,9°

10. Dua buah gaya yang bekerja pada suatu partikel dinyatakan sebagai :

$$\vec{F}_1 = 2\hat{i} - 6\hat{j} + 7\hat{k} \ N$$

$$\vec{F}_2 = -7\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k} \ N$$

   Tentukan $\vec{F}_1 \times \vec{F}_2$ nya :

   a. $-5\hat{i} - 4\hat{j} + 3\hat{k}\ N$  b. $10\hat{i} - 41\hat{j} - 40\hat{k}\ N$

   c. $-14\hat{i} - 12\hat{j} + 28\hat{k}\ N$  d. $-\hat{i} - 41\hat{j} - 40\hat{k}\ N$

## G. Referensi

1. Halliday, D dan Reisnick, R., 1994, ***Fisika I,*** Erlangga, Jakarta

2. Sutrisno, 1985, ***Seri Fisika Dasar: Mekanika***, ITB, Bandung

3. Giancolli, 2001, ***FISIKA, Jilid 1 ed V$^{th}$,*** Erlangga, Jakarta.

# II. KINEMATIKA PARTIKEL

Mekanika adalah salah satu cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak benda. Persoalan–persoalan mekanika diantaranya mencakup tentang perhitungan lintasan peluru dan gerak pesawat ruang angkasa yang dikirim keluar bumi. Jika kita hanya menggambarkan gerak suatu benda, maka kita membatasi diri pada cabang mekanika yang disebut kinematika. Jadi kinematika partikel artinya penggambaran gerak suatu partikel. Yang dimaksud partikel atau benda titik adalah benda yang ukurannya dapat diabaikan terhadap skala ukuran lain yang terlihat dalam pembahasan. Misalnya, dalam meninjau gerak benda langit bumi dapat dianggap sebagai benda titik karena ukurannya jauh lebih kecil daripada ukuran orbitnya. Gerak benda yang bukan titik dapat pula dipandang sebagai gerak benda titik asalkan benda secara keseluruhan hanya bergerak translasi saja.

## A. Standar Kompetensi

Mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan mekanika klasik sistem partikel

## B. Komptensi Dasar

1. Menjelaskan defenisi kecepatan rata-rata dan sesaat
2. Menjelaskan defenisi percepatan rata-rata dan sesaat
3. Menganalisis besaran-besaran pada gerak lurus beraturan
4. Menganalisis besaran-besaran pada gerak lurus berubah beraturan
5. Menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan gerak lurus beraturan dan berubah beraturan
6. Menganalisis besaran-besaran pada gerak parabola
7. Menganalisis besaran-besaran pada gerak melingkar

## C. Materi Pembelajaran

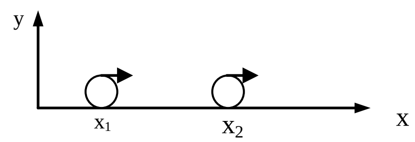
### *1. Kinematika dalam Satu Dimensi*

Pada bagian ini kita hanya memandang benda bergerak dalam suatu garis lurus dan tidak berotasi gerak seperti ini "gerak translasi". Dalam suatu kerangka acuan atau sistem koordinat (kartesian), gerak satu dimensi digambarkan dalam sumbu koordinat-x saja.

**a. Kecepatan Rata-rata**

Sering kali kita tidak dapat membedakan kata “kecepatan” dan “laju”. Ada perbedaann prinsipil antara “kecepatan” dan “laju”, yakni kecepatan adalah besaran vektor sedangkan laju belum tentu vektor. Kecepatan sendiri secara definisi adalah laju, tetapi tidak semua laju adalah kecepatan. Laju didefinisikan sebagai perubahan “sesuatu” persatuan waktu “sesuatu” bisa berarti pergeseran, kecepatan, massa, energi, volume.

Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai jarak perpindahan di bagi dengan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Jarak perpindahan didefinisikan sebagai perubahan posisi. Misalkan mula-mula suatu benda pada posisi $x_1$, kemudian pada interval waktu tertentu telah berada pada posisi $x_2$ (lihat gambar 2.1). Maka perubahan posisi adalah (diberi simbol $\Delta x$) $\Delta x = x_2 - x_1$



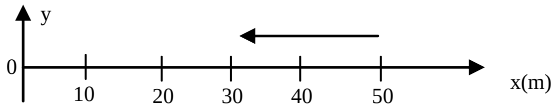

Gambar 2.1

waktu yang dibutuhkan oleh benda untuk berpindah dari posisi $x_1$ ke $x_2$ adalah $\Delta t = t_2 - t_1$, maka kecepatan rata-rata adalah :

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \text{...........} (1)$$

dengan $\bar{v}$ adalah kecepatan rata-rata.

Contoh : Posisi seorang pelari sebagai fungsi waktu digambarkan dalam sumbu-x. selama interval waktu tiga detik, posisi pelari berubah dari $x_1$= 50 m ke $x_2$ = 30,5 m. Berapakah kecepatan rata-rata pelari.




Gambar 2.2

Jawab :

$\Delta x = x_2 - x_1 = 30{,}5\ m - 50{,}0\ m = -19{,}5\ m$

$\Delta t = 3\ s$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-19{,}5\ m}{3\ s} = -6{,}5\ m/s$$

**b. Kecepatan sesaat**

Kecepatan sesaat didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata pada selang waktu yang sangat pendek. Dalam hal ini persamaan (2.1) dihitung dalam limit $\Delta t$ secara infinitesimal sangat kecil, mendekati nol.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \text{.......} (2)$$

Notasi $\lim_{\Delta t \to 0}$ berarti rasio $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ dihitung dalam limit $\Delta t$ mendekati nol, tetapi tidak sama dengan nol.

**c. Percepatan Rata-rata dan sesaat**

Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan, atau perubahan kecepatan dibagi dengan waktu yang dibutuhkan selama perubahan tersebut.

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{.......} (3)$$

Sementara percepatan sesaat didefinisikan sebagai analogi dari kecepatan sesaat :

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad \text{.......} (4)$$

dengan $\Delta v$ menyatakan perubahan kecepatan yang kecil secara infinitesimal selama selang waktu $\Delta t$ yang singkat secara infinitesimal. Pada umumnya konsep kecepatan dikaitkan dengan kecepatan ataupun laju.

**Contoh :**

1. Persamaan gerak suatu partikel dinyatakan oleh fungsi x(t) = 0,1 t3, dengan x dalam meter dan t dalam detik. Hitunglah :

   c) Kecepatan rata-rata dalam selang waktu t = 3s sampai t = 4s
   d) Kecepatan pada saat t = 3s
   e) Percepatan rata-rata dalam selang waktu t = 3s sampai t =4s
   f) Percepatan pada saat t = 5s

   Jawab :

   a. $\bar{v} = \dfrac{x(t=4s) - x(t=3s)}{\Delta t} = \dfrac{6{,}4\ m - 2{,}7\ m}{1\ s} = 3{,}7\ m/s$

   b. $v_x(t) = \dfrac{dx(t)}{dt} = \dfrac{d}{dt}\left(0{,}1\ t^3\right) = 0{,}3t^2$

   $v_x$ (t=3s) = 0,3 ($3^2$) m/s = 2,7 m/s

   c. $\bar{a} = \dfrac{v_x(t=4s) - v_x(t=3s)}{\Delta t} = \dfrac{4{,}8\ m/s - 2{,}7\ m/s}{1\ s} = 2{,}1\ m/s^2$

   d. $a_x(t) = \dfrac{dv(t)}{dt} = \dfrac{d}{dt}\left(0{,}3\ t^2\right) = 0{,}6t$ sehingga $a_x$(t = 5 s) = 0,6 . 5 m/$s^2$ = 3 m/$s^2$

2. Sebuah mobil bergerak sepanjang jalan lurus (arah sumbu-x) dengan kecepatan 15,0 m/s Kemudian sopir menginjak rem sehingga setelah 5,0 detik kecepatan mobil turun menjadi 5,0 m/s. Berapakah percepatan rata-rata mobil ?

3. Jawab :

   Dengan menggunakan persamaan $\bar{a} = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ diperoleh $\bar{a}$ = -2,0 m/s

**d. Gerak Dipercepat Beraturan (Percepatan Konstan)**

Pandang suatu benda mula-mula ($t_1$ = 0) berada pada posisi $x_1 = x_0$ dengan kecepatan $v_1 = v_0$ pada saat $t_2$ = t benda tetap berada pada posisi $x_2$ = x dengan kecepatan $v_2$ = v. Kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata benda selama selang waktu t2 – $t_1$ = t diberikan oleh :

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x - x_0}{t - 0} = \frac{x - x_0}{t} \quad \text{.......................................................................(5)}$$

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v - v_0}{t} \quad \text{......} (6)$$

atau

$$x = x_o + vt \quad \text{......} (7)$$

$$v = v_o + at \quad \text{......} (8)$$

Oleh karena kecepatan berubah secara beraturan (uniform), maka kecepatan rata-rata v adalah setengah dari jumlah kecepatan awal dan kecepatan akhir.

$$v = \frac{v_o + v}{2} \text{ (kecepatan konstan) ......} (9)$$

Jika persamaan (9) kita masukkan dalam persamaan (7) kita peroleh

$$x = x_0 + \left(\frac{v_0 + v}{2}\right)t = x_0 + \tfrac{1}{2}v_0\, t + \tfrac{1}{2}v\, t \quad \text{......} (10)$$

Jika persamaan (8) kita masukkan kedalam persamaan (10) kita peroleh

$$x = x_0 + \tfrac{1}{2}v_0\, t + \left(\frac{v_0 + at}{2}\right)t = x_0 + v_0\, t + \tfrac{1}{2}a\, t^2 \quad \text{......} (11)$$

Persamaan (11) ini dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (8) sebagai fungsi waktu. Selanjutnya persamaan (6) dapat ditulis sebagai berikut :

$t = \frac{v - v_0}{a}$ dan jika persamaan ini disubtitusikan kedalam persamaan (10) kita peroleh

$$x = x_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \text{ atau } v^2 = v_0^2 + 2a\,(x - x_0) \text{ (percepatan konstan) ......} (12)$$

Tanda vektor (huruf tebal) pada $v^2$ dan $v_0^2$ persamaan (12) dihilangkan karena pada gerak satu dimensi, vektor arah hanya dipengaruhi oleh tanda positif dan negatif.

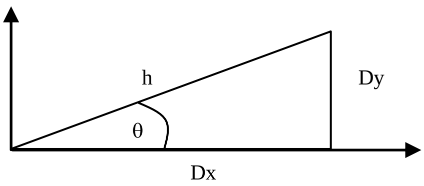
## 2. *Kinematika dalam dua dan tiga dimensi*

Gerak dalam dua dimensi dapat kita turunkan dalam kasus antara lain gerak pada bidang miring, gerak peluru, gerak melingkar, dan lain-lain. Sedang gerak dalam tiga dimensi dapat kita temukan dalam kasus antara lain : gerak revolusi bumi (gerak bumi mengelilingi matahari), dan lain-lain. Pada bagian ini vektor sangat berperan.

## a. Analisis Vektor

Besaran-besaran vektor yang membentuk sudut $\theta$ tehadap sumbu-x dan sumbu-y maupun sumbu-z dalam koordinat kartesian, dapat diproyeksikan berdasarkan definisi fungsi trigonometri seperti pada gambar 2.3. sin $\theta$ = Dy/h , cos $\theta$ = Dx/h, tan $\theta$ = Dy/Dx dan $\sin^2\theta + \cos^2\theta = (Dx^2 + Dy^2)/h^2 = 1$ karena $Dx^2 + Dy^2 = h^2$ (dalil phytagoras)

i.

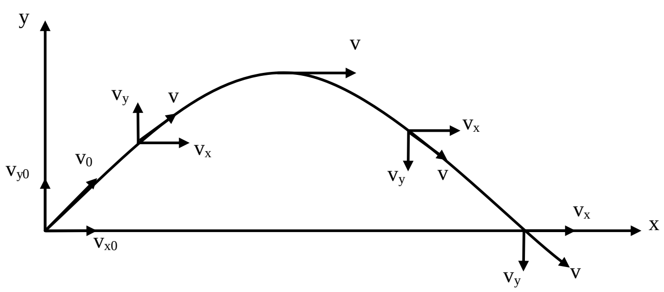



Gambar 2.3

## b. Gerak Peluru

Gerak peluru menggambarkan sebuah benda di udara dan membentuk sudut tertentu terhadap garis horisontal. Contoh bola yang dilemparkan atau ditendang, peluru yang ditembakkan dari moncong senapan, benda yang dijatuhkan dari pesawat udara yang sedang terbang dengan kecepatan awal $v_0$. Jika $v_0 = 0$ maka benda dikatakan jatuh bebas.

Pandang suatu benda yang bergerak dengan kecepatan $v_o$ dan membetuk sudut $\theta$ terhadap sumbu-x (Gambar 2.4). Pada Tabel 2.1 disajikan persamaan-persamaan umum kinematika untuk percepatan tetap dalam dua dimensi, sedang Tabel 2.2 menyajikan persamaan-persamaan kinematika untuk gerak peluru



Gambar 2.4 Lintasan geak peluru

Tabel 2.1 Persamaan Umum Kinematika

| Komponen-x | Komponen-y |
|---|---|
| $v_x = v_{x0} + a_x t$<br>$x = x_0 + v_{x0} t + ½ a_x t^2$<br>$V_x^2 = v_{x0}^2 + 2 a_x (x - x_0)$ | $v_y = v_{y0} + a_y t$<br>$y = y_0 + v_{y0} t + ½ a_y t^2$<br>$v_y^2 = v_{y0}^2 + 2 a_y (y - y_0)$ |

Tabel 2.2 Persamaan Kinematika Gerak Peluru

| Gerak Horisontal | Gerak Vertikal |
|---|---|
| $v_x = v_{x0}$<br>$x = x_0 + v_{x0} t$<br>$V_x^2 = v_{x0}^2$ | $v_y = v_{y0} - gt$<br>$y = y_0 + v_{y0} t - ½ gt^2$<br>$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2 g (y - y_0)$ |

Umumnya diambil $y - y_0 = h$ untuk gerak peluru dan gerak jatuh bebas. Komponen kecepatan pada sumbu–x dan sumbu–y gerak peluru adalah

$v_{x0} = v_0 \cos\theta$ dan $v_{y0} = v_0 \sin\theta$, selanjutnya akan ditunjukkan bahwa lintasan peluru adalah parabolik, jika kita dapat mengabaikan gesekan udara dan menganggap percepatan gravitasi konstant. Misalkan $x_0 = y_0 = 0$, berdasarkan Tabel 2.2. kita dapatkan :

$x = v_{x0} t$ dan $y = v_{y0} t - ½gt^2$, kedua persamaan disubtitusi dengan mengambil $t = \dfrac{x}{v_{x0}}$, diperoleh :

$y = \left(\dfrac{v_{y0}}{v_{x0}}\right)x - \left(\dfrac{g}{2v_{x0}^2}\right)x^2$, jika dimasukkan komponen-komponen kecepatan diperoleh :

$$y = (\tan\theta)x - \left(\frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}\right)x^2$$

atau $y = ax - bx^2$, dengan $a = \tan\theta$ (tangen arah) dan $b = \left(\dfrac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}\right)$ masing-masing konstant.

***Contoh :***

Sebuah bola ditendang sehingga memiliki kecepatan awal 20 m/s dan membentuk sudut $37^0$,hitung:

a) Tinggi maksimum bola
b) Waktu lintasan bola sehingga menyentuh tanah
c) Jarak horisontal bola menyentuh tanah
d) Vektor kecepatan pada tinggi maksimum
e) Vektor percepatan pada tinggi maksimum

Jawab :

$V_{x0} = v_0 \cos 37^0 = (20\ m/s)\ (0{,}799) = 16\ m/s$

$V_{y0} = v_0 \sin 37^0 = (20\ m/s)\ (0{,}602) = 12\ m/s$

a. Pada tinggi maksimum, $v_y = 0$

$V_y = v_{y0} - gt \rightarrow t = v_{y0} / g$

$t = \frac{12\ m/s}{9{,}8\ m/s}$ =1,22 s

$y = v_{y0}\ t - ½gt^2$, jika masukkan nilai-nilainya diperoleh y = 7,35 m

dengan cara lain

$$y = \frac{v_{y0}^2 - v_y^2}{2g} = \frac{12^2 - 0^2}{2\,(9{,}8)} = 7{,}35\ m/s$$

b. Pada saat ditendang $y_0 = 0$, setelah menyentuh tanah kembali y = 0

$y = y_0 + v_{y0}\ t - ½gt^2$,

diperoleh $t = \frac{2v_{y0}}{g} = 2{,}45\ s$

c. Jarak horisontal $x = x_0 + v_{x0}\ t \rightarrow$ dengan $x_0 = 0$

$x = 0 + v_{x0}\ t = 39{,}2\ m$

d. Pada titik tertinggi $v = v_x + v_y \rightarrow v_y = 0$

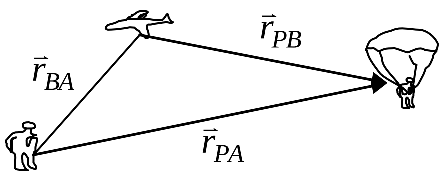
$v = v_x = v_{x0} \cos 37^0 = 16\ m/s$

e. $a = -g = -\ 9{,}8\ m/s^2$

### *3. Gerak dan Kecepatan Relatif*

Relatif di sini artinya tidak mutlak, bergantung pada siapa yang mengamati atau kerangka acuan mana yang digunakan.

Misalkan pengamat A diam pada suatu sistem koordinat dan pengamat B diam pada sistem koordinat yang lain yang bergerak translasi terhadap pengamat A. Agar mudah membayangkannya, misalkan A diam di tanah dan B diam pada pesawat terbang yang sedang bergerak. Keduanya mengamati sebuah titik yang sedang bergerak, misalnya seorang penerjun payung. Posisi penerjun menurut masing-masing pengamat dinyatakan dengan $\vec{r}_{PA}$ dan $\vec{r}_{PB}$. Posisi B relatif terhadap A dinyatakan oleh $\vec{r}_{BA}$ situasinya ditunjukkan pada Gambar :




Gambar 2.5 Kerangka B bergerak relatif terhadap kerangka A

Menurut analisis vektor, kita peroleh hubungan antara posisi relatif sebagai berikut:

$$\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB} + \vec{r}_{BA}$$

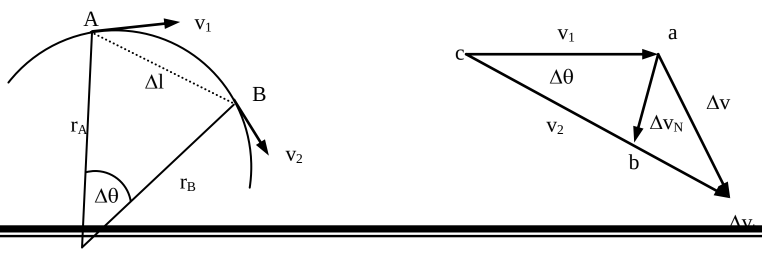
Hubungan antara kecepatan atau percepatan P yang diamati oleh A dengan yang diamati oleh B dapat diperoleh dengan melakukan diferensiasi pada persamaan di atas hasilnya adalah:

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA} \text{ dan } \vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} + \vec{a}_{BA}$$

Contoh: Mobil A bergerak dari barat ke timur dengan laju 40 km/jam (terhadap tanah). Mobil B bergerak dari timur ke barat dengan laju 60 km/jam (terhadap tanah). Kecepatan relatif B terhadap A adalah $\vec{v}_{BT} = \vec{v}_{BA} + \vec{v}_{AT}$ $\rightarrow$ 60 (-i) = $\vec{v}_{BA}$ + 40 (i) $\rightarrow$ $\vec{v}_{BA}$ = -60 i – 40 i = - 100 i km/jam

### 4. *Gerak melingkar*

Sebuah benda yang bergerak pada lintasan berbentuk lingkaran mendapat percepatan yang dapat diurai menjadi komponen normal dan tangensial terhadap lintasan tersebut.






(a) (b)

Gambar 2.5

Segitiga ABC dan abc pada gambar 2.5 adalah sebangun. Sudut antara $v_1$ (ca) dan $v_2$(cb) pada gambar 2.5b adalah $\Delta\theta$ adalah sama dengan sudut antara CA dan CB pada gambar 2.5a karena CA tegak lurus terhadap $v_1$ dan CB tegak lurus terhadap $v_2$. Oleh karena itu kita dapat menuliskan :

$$\frac{\Delta v_N}{v} \approx \frac{\Delta l}{r} \quad \text{atau} \quad \Delta v_N = \frac{v}{r}\Delta l$$

dengan v = $v_1$ = $v_2$, sebab harga kecepatan diangap tidak berubah (hanya arahnya saja yang berubah terus menerus). Percepatan normal $a_N$ yang semakin kecil menuju nol diberikan oleh :

$$a_N = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{v}{r}\right)\frac{\Delta l}{\Delta t} = \left(\frac{v}{r}\right)\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta l}{\Delta t}$$

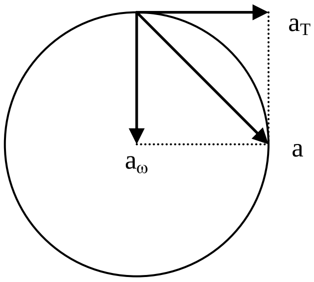
harga limit $\frac{\Delta l}{\Delta t}$ adalah laju pada titik A, sehingga percepatan normal dapat dituliskan

$a_N = \frac{v^2}{r}$, jadi benda yang bergerak dalam satu lingkaran berjari-jari r dengan laju v konstan mempunyai percepatan yang arahnya menuju pusat lingkaran dan besarnya adalah $\frac{v^2}{r}$. Karena arahya menuju pusat lingkaran inilah percepatan in disebut "percepatan sentripetal" (sentripetal = mencari pusat) atau "percepatan radial" (karena arahnya sepanjang jari-jari lingkaran)

$$a_N = a_{cp} = a_r = \frac{v^2}{r}$$

Pada benda yang bergerak melingkar dengan laju yang berubah, maka selain memiliki percepatan sentripetal, benda juga memiliki percepatan yang arahnya sama dengan garis singgung. Percepatan tangensial disefinisikan sebagai :

$$a_T = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v_T}{\Delta t} = \frac{dv_T}{dt}$$




Gambar 2.6

karena $v_1 = \omega r$ ($\omega$ = kecepatan sudut), maka

$$a_T = \frac{d\omega}{dt} r = \alpha r$$

dengan $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ percepatan sudut konstan. Berdasarkan gambar 2.6 percepatan sesaat benda diberikan oleh :

**a** = $a_{cp} + a_r$

$$a = \sqrt{a_{cp}^2 + a_r^2}$$

**Contoh :**

Sebuah bola berputar pada suatu lingkaran horisontal berjejari 0,6 m. Bola melakukan putaran 2 putaran tiap detik. Berapa kecepatan sentripetal bola

Jawab :

T = 1/t = ½ = 0,5 s

v = $2\pi r/T$ = 7,54 m/s

Percepatan sentripetal bola :

$a_{cp} = v^2/r = 94\ m/s^2$

## D. Contoh-contoh Soal dan Pemecahannya :

1. Seorang pelari menempuh satu putaran sepanjang 200 m dalam waktu 25 detik. Berapakah:
   a) laju rata-ratanya?
   b) kecepatan rata-ratanya?

2. Laju sebuah truk bertambah secara teratur dari 15 km/jam menjadi 60 km/jam dalam waktu 20 detik. Carilah (dalam satuan meter dan detik):
   a) laju rata-rata.
   b) Percepatan.
   c) Jarak yang ditempuh

3. Sebuah benda dijatuhkan dan mengalam gerak jatuh bebas (ke arah sumbu-y negatif). Tentukan posisi dan laju benda tersebut pada 10 s setelah dijatuhkan.

4. Sebuah bola dilemparkan ke atas searah sumbu y positif dengan laju 20 m/s, hitunglah tinggi bola maksimum dan waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai ketinggian tersebut.
5. Seorang pemain sky meluncur ke bawah selama 10 det pada kemiringan $30^0$ dengan percepatan 3,8 m/s$^2$.
   a) Berapa besar komponen kecepatan vertikalnya
   b) Berapa jarak yang dapat dicapainya dari kaki bukit, anggap dia mengalami percepatan yang seragam dan jarak lintasan pada kemiringan 250 m?
6. Sebuah peluru ditembakkan dalam arah mendatar dari atas bukit terjal setinggi 80 m dengan kecepatan 30 m/s. Hitunglah :
   a) waktu yang diperlukan untuk mencapai tanah!
   b) pada jarak berapakah dihitung dari kaki bukit terjal peluru mencapai tanah?
7. Pada turnamen Golf yang diselenggarakan di lapangan Golf Roviga Palu. Seorang pegolf profesional yang bernama Lamarita berhasil melakukan hole in one (memasukkan bola kedalam lubang dengan sekali pukulan), kecepatan bola 4 m/s dengan membentuk sudut $30^o$ terhadap horisontal. Berapa ketinggian maksimum yang dicapai bola golf?
8. Sebuah motor boat meluncur di air dengan kecepatan 1,85 m/s
   a) jika arah motor boat tegak lurus arah arus yang kecepatannya 1,2 m/s, berapakah kecepatan (besar dan arah) motor boat relatif terhadap pantai?
   b) Bagaimanakah posisi motor boat relatif terhadap titik star setelah 3 menit?
9. Mobil A bergerak dengan laju 40 km/jam (terhadap tanah) dan mobil B bergerak searah dari barat ke timur dengan laju 60 km/jam (terhadap tanah). Tentukan kecepatan relatif B terhadap A!
10. Pada kejuaraan Internasional yang diselenggarakan di Palu, seorang pembalap mengendarai motornya mrngitari suatu lintasan lingkaran.yang diameternya 8 m. Berapakah percepatan motor menuju kepusat lintasan jika kecepatan sudutnya 10 rad.s$^{-1}$.

**Jawaban Soal-soal Latihan:**

1. a. $Laju\ rata-rata = \dfrac{Jarak\ \ yang\ di\, tempuh}{Waktu\ tempuh}$

$$\bar{v} = \frac{200\ m}{25\det ik} = 8\, m/\det$$

b. $Kecepa\tan\ rata-rata = \dfrac{Perpindahan}{Waktu\ tempuh}$

$$\bar{v} = \frac{0\ m}{25\det ik} = 0\ \ m/\det$$

2. $v_1 = \dfrac{15\, km}{jam} = \dfrac{15000\ m}{3600\det} = 4{,}17\, m/\det$ dan $v_2 = \dfrac{60\, km}{jam} = \dfrac{60000\ m}{3600\det} = 16{,}67\, m/\det$

a. $\bar{v} = \dfrac{v_1 + v_2}{2} = \dfrac{4{,}17 + 16{,}67}{2}\, m/\det = 10{,}42\, m/\det$

b. $a = \dfrac{v_2 - v_1}{t} = \dfrac{16{,}67 - 4{,}17}{20} = 0{,}625\, m/\det^2$

c. $s = v_1.t + \frac{1}{2}\, a\, t^2 = 4{,}17\,.\,20 + \frac{1}{2}.\,0{,}625\,.\,20^2 = 209\, meter$

3. $y = -\frac{1}{2}\, g\, t^2 = -\frac{1}{2}.9{,}8.10^2 = -490\, meter$ posisi pada 490 meter di bawah posisi awal.

$v = -gt = -9{,}8.10 = -98\, m/\det$ kecepatan benda pada posisi 490 meter di bawah posisi awal adalah 98 m/det searah sumbu y negatif.

4. Tinggi bola maksimum berarti $V(t) = 0$. sehingga $t = \dfrac{v_o}{g} = \dfrac{20}{9{,}8} = 2{,}04\det$ dan

$$h_{\max} = v_o.t - \tfrac{1}{2}.\, g\, .t^2 = 20\,.\,2{,}04 - \tfrac{1}{2}.9{,}8.\,2{,}04^2 = 20{,}4\, meter$$

5. a. $v = v_o + a.t = 0 + 3{,}8\,.10 = 38\, m/\,det \rightarrow v_y = v\, sin 30^o = 38\,.\tfrac{1}{2} = 19\, m/\,det$

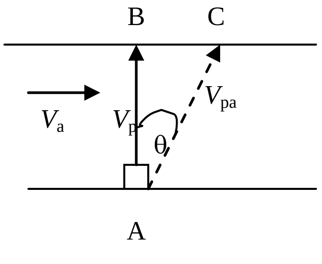
b. $s = v_o.t + \frac{1}{2}\, a.t^2 = 0 + \frac{1}{2}\, 3{,}8\,.10^2 = 190\ \ meter$, Jadi jarak sky ke kaki bukit = 250 – 190 = 60 meter.

6. a. $y = v_{oy}.t + \frac{1}{2}(-g\,)t^2 \rightarrow$ 80 m = 0 + ½ (-9,8).$t^2$ $\rightarrow$ t = 4,04 detik

b. pada arah horizontal (arah x) percepatannya nol, maka $v_x = v_{ox}$ = 30 m/det

$x = v_x t = 30\,.\,4{,}04 = 121\ \ meter$

7. $y_h = \dfrac{v_o^2}{2g}\sin^2\theta$ =16.x0.25/20=4/20=0.2m

8. 


a. $v_{pa} = \sqrt{v_p^2 + v_a^2} = \sqrt{1{,}85^2 + 1{,}2^2} = 2{,}205\ \ m/\,det$

Arah : $tag\,\theta = \dfrac{v_a}{v_p} = \dfrac{1{,}2}{1{,}85} = 0{,}65$

θ = 33°

b. $v_p = \dfrac{AB}{t} \rightarrow AB =$ 1,85 m/det . 3 . 60. det = 333 meter

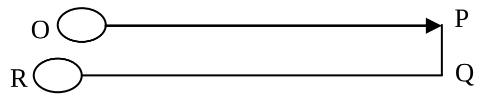
9. $\vec{v}_{BT} = \vec{v}_{BA} + \vec{v}_{AT} \rightarrow 60\ (i) = \vec{v}_{BA} + 40\ (i) \rightarrow \vec{v}_{BA} = 60\ i - 40\ i = 20\ i$ km/jam

10. $a_s = \omega^2 R = 100x4 = 400 m/s^2$

## E. Rangkuman

- Laju adalah besaran skalar. Bila benda memerlukan waktu *t* untuk menempuh jarak *d*, maka: $Laju\ rata-rata = \frac{Jarak\ yang\ di\,tempuh}{Waktu\ tempuh} = \frac{d}{t}$
- Kecepatan adalah besaran vektor. Jika benda dalam waktu t mengalami perpindahan *s*, maka $\bar{v} = Kecepa\tan\ rata-rata = \frac{Perpindahan}{Waktu\ tempuh} = \frac{s}{t}$ arah vektor kecepatan adalah sama dengan arah vektor perpindahan. Satuan kecepatan adalah meter per detik (m/det)
- Percepatan adalah besaran vektor yang menyatakan perubahan kecepatan terhadap waktu dengan satuan meter per detik kuadrat (m/det$^2$).
- Gerak lurus beraturan merupakan gerak benda yang mempunyai lintasan lurus dan kecepatannya tetap. Sedangkan gerak lurus berubah beraturan adalah gerak benda yang lintasannya lurus dengan kecepatan berubah secara tetap atau percepatannya tetap.
- Gerak jatuh bebas dan gerak vertikal ke atas adalah gerak lurus berubah beraturan yang mempunyai percepatan tetap yakni percepatan gravitasi bumi.
- Gerak peluru merupakan gabungan dari gerak beraturan (pada arah horizontal) dan gerak berubah beraturan (arah vertikal).
- Gerak melingkar beraturan kecepatan sudutnya ($\omega$) tetap, sedangkan pada gerak melingkar berubah beraturan percepatan sudutnya ($\alpha$) tetap. Selain itu terdapat percepatan sentripetal dan percepatan tangensial.
- Gerak relatif memandang sebuah gerak benda relatif terhadap titik acuan yang digunakan.

## F. Tes Formatif

1. 


Dalam selang waktu tertentu sebuah benda bergerak dar O ke R menempuh rute OPQR seperti pada gambar di atas. hal Ini menunjukkan bahwa ….

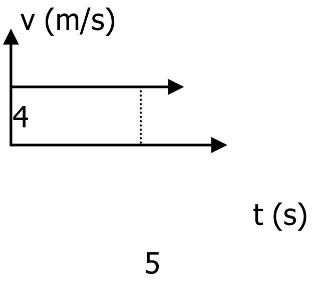
a. Jarak yang ditempuh sama dengan perpindahan benda

b. Jarak yang ditempuh sebanding dengan perpindahan benda

c. Jarak yang ditempuh lebih besar dari pada perpindahan benda

d. Jarak yang ditempuh tidak sebanding dengan perpindahan benda

2. Gambar dibawah ini menunjukan grafik kecepatan terhadap waktu sebuah benda yang bergerak lurus. Pernyataan berikut yang benar adalah…..



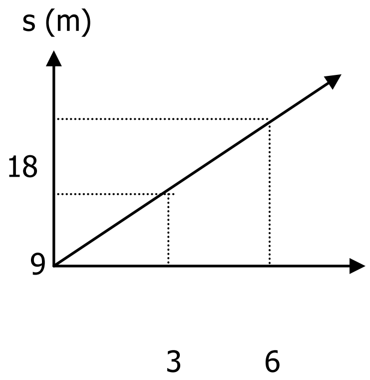

a. Benda bergerak lurus beraturan,dengan kecepatan 5 m/s

b. Benda bergerak lurus beraturan, setelah 5 detik berpindah 20 m

c. Perpindahan benda setelah 6 detik 20 m

d. Benda bergerak lurus beraturan dengan percepatan 4 m/s

3. Grafik perpindahan terhadap waktu dari gerak benda tampak seperti gambar di bawah. Maka kecepatan benda tersebut adalah ….




a. 12 m/s

b. 9 m/s

c. 6 m/s

d. 3 m/s

t (s)

4. Sebuah benda bergerak dari A ke B dengan laju tetap 6 m/s, lalu kembali dari B ke A dengan laju tetap 12 m/s melalui jalan yang sama. Laju rata-rata benda adalah.......
   a. 2 m/s  c. 8 m/s
   b. 6 m/s  d. 9 m/s

5. Pernyataan berikut yang termasuk gerak lurus berubah beraturan adalah ….
   a. Gerak lurus yang kecepatannya tetap
   b. Gerak lurus yang kecepatannya berubah-ubah
   c. Gerak lurus yang kecepatannya selalu bertambah
   d. Gerak lurus yang percepatannya tetap

6. Percepatan sebuah partikel adalah $\vec{a} = -10\hat{j}$ m/s$^{-2}$. Pada t = 0 detik diketahui bahwa kecepatan partikel adalah $\vec{v}(0) = 30\hat{i} + 40\hat{j}$ ms$^{-1}$. Kecepatan sebagai fungsi waktu t adalah…
   a. $\vec{v}(t) = 30\hat{i} + 40\hat{j}$ m/s  c. $\vec{v}(t) = 30t\hat{i} + 40t\hat{j}$ m/s
   b. $\vec{v}(t) = 40\hat{i} + (40 - 10t)\hat{j}$ m/s  d. $\vec{v}(t) = 40t\hat{i} + (40t - 10)\hat{j}$ m/s

7. Jika diketahui posisinya pada t = 0 berada di pusat koordinat, $\vec{r}(0) = 0\hat{i} + 0\hat{j}$ m pada soal No.6, posisinya sebagai fungsi waktu adalah ……..
   a. $r(t) = 30t\,\hat{i} + 40t\,\hat{j}$ m
   b. $r(t) = 40t\,\hat{i} - 5t^2\,\hat{j}$ m
   c. $r(t) = 40\hat{i} + (40 - 10t)\hat{j}$ m
   d. $\vec{r}(t) = (30t)\hat{i} + \left(40t - 5t^2\right)\hat{j}$ m

8. Pernyataan di bawah ini paling tepat untuk sebuah benda yang jatuh bebas adalah
   a. Percepatan tetap, kecepatan tetap
   b. Percepatan bertambah, kecepatan tetap
   c. Percepatan tetap, kecepatan bertambah
   d. Percepatan bertambah, kecepatan bertambah

9. Pilot sebuah pesawat terbang bermaksud terbang ke Barat. Tanpa ada angin, laju pesawat dapat mencapai 200 km/jam. Jika angin bertiup 50 km/jam ke Selatan, ke arah manakah pilot harus mengarahkan moncong pesawatnya ?
   a. 284$^{o}$  c. 104$^{o}$
   b. 166$^{o}$  d. 76$^{o}$

10. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas, apabila percepatan gravitasi g maka gerak tersebut merupakan ….
    a. Gerak lurus beraturan
    b. Gerak lurus kecepatan tetap
    c. Gerak lurus dengan percepatan g
    d. Gerak lurus dengan perlambatan g

## G. Referensi


1. Halliday, D dan Reisnick, R., 1994***, Fisika I,*** Erlangga, Jakarta
2. Sutrisno, 1985, ***Seri Fisika Dasar: Mekanika***, ITB, Bandung
3. Giancolli, 2001, ***FISIKA, Jilid 1 ed V$^{th}$,*** Erlangga, Jakarta.

# III. DINAMIKA PARTIKEL

Pada dasarnya setiap benda mengalami gaya-gaya luar karena setiap benda pasti berinteraksi dengan benda lain dan sesungguhnya tidak ada satupun benda di alam yang diam secara mutlak. Akan tetapi ada benda yang diam (relatif) dan ada pula benda yang bergerak terus menerus tanpa henti. Kita juga kadang menyaksikan ada benda yang makin lama makin cepat atau makin lama makin lambat gerakannya. Benda tampak diam atau bergerak berdasarkan pengamatan dari suatu tempat atau kerangka acua tertentu bergantung pada resultan gaya yang bekerja padanya. Knsep tentang gerak dan gaya telah dirangkum oleh Newton dalam suatu hukum yang disebut hukum Newton, dan dipelajari dalam sebuah cabang yang disebut "Dinamika"

## A. Standar Kompetensi

Mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan mekanika klasik sistem diskrit (partikel).

## B. Kompetensi Dasar

1. Menjelaskan hukum Newton sebagai konsep dasar dinamika, dan mengaplikasikannya dalam persoalan dinamika sederhana.
2. Menjelaskan hukum Kepler sebagai dasar pemahaman peredaran planet mengelilingi matahari.

## C. Materi Pembelajaran

### *1. Hukum Newton I*

Pandangan bahwa gaya adalah penyebab benda bergerak telah diyakini oleh Aristoteles sejak tahun 350 sebelum masehi. Menurut Aristoteles, keadaan alamiah dari sebuah benda adalah diam, dan suatu gaya diperlukan untuk membuat benda tersebut bergerak. Dua ribu tahun kemudian pandangan ini diperbaharui oleh Galileo yang menyimpulkan bahwa keadaan alamiah sebuah benda adalah diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (keadaan setimbang). Untuk mengubah kecepatan gerak benda dibutuhkan gaya luar, tetapi untuk mempertahankan kecepatan tidak dibutuhkan gaya luar sama sekali. Prinsip ini kemudian oleh Newton diangkat sebagai hukum yang pertama dari ketiga hukum geraknya. Newton menyajikan hukum pertamanya dalam ungkapan kata-kata sebagai berikut "*Setiap benda tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan kecuali jika ia dipaksa untuk mengubah keadaan itu oleh gaya-gaya yang berpengaruh padanya*"

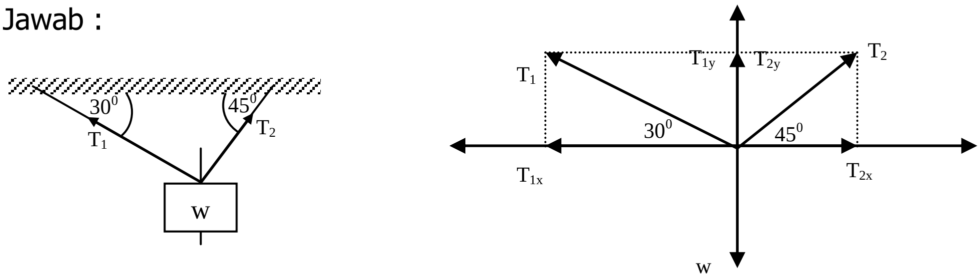
Kenyataan bahwa tanpa gaya luar suatu benda akan tetap diam atau tetap bergerak lurus beraturan sering dinyatakan dengan memberikan suatu sifat benda yang disebut inersia (kelembaman) dan kerangka acuan dimana hukum ini berlaku disebut kerangka inersia.

Dalam hukum Newton I tersirat pula bahwa tidak ada perbedaan antara pengertian tidak ada gaya yang sama sekali dengan ada gaya-gaya yang resultannya nol. Dengan demikian, bentuk lain pernyataan hukum Newton I adalah "*Jika tidak ada resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda, maka percepatan benda adalah nol*".

**Contoh :**

Gambar 3.1 memperlihatkan sebuah benda w digantungkan dengan menggunakan tali. Pandanglah simpul pada titik temu ketiga tali sebagai "benda". Benda diam meskipun tiga gaya yang bekerja padanya. Jika W = 100 N, Hitunglah tegangan tali $T_1$ dan $T_2$.

Jawab :




Gambar 3.1

Jawab :

Karena benda tidak mengalami percepatan, maka $T_1 + T_2 + w = 0$ atau jika diuraikan berdasarkan komponen-komponennya :

$-T_{1x} + T_{2x} = 0$

$T_{1x}$ = $T_1$ cos $30^0$ ; $T_{2x}$ = $T_2$ cos $45^0$ sehingga -$T_1$ cos $30^0$ + $T_2$ cos $45^0$ = 0, diperoleh :

$$T_1 = \frac{\cos\ 45^0}{\cos\ 30^0} T_2$$

Proyeksi ke sumbu-y

$T_{1y} + T_{2y} - w = 0$

$T_{1y}$ = $T_1$ sin $30^0$ ; $T_{2y}$ = $T_2$ sin $45^0$ sehingga $T_1$ sn $30^0$ + $T_2$ sin $45^0$ – w = 0, dengan mensubtitusi nilai $T_1$ dan menyelesaikannya maka diperoleh :

$$T_2 = \frac{w}{\cos 45^0 \ \tan 30^0 + \sin 45^0} = 89{,}66 \ \ N$$

$$T_1 = \frac{\cos\ 45^0}{\cos\ 30^0} T_2 = 73{,}2\ N$$

## *2. Hukum Newton II*

Kata inersia atau lembam pada hukum Newton I adalah sifat benda yang menyatakan keengganan benda tersebut terhadap perubahan gerak. Pada hukum Newton II, sifat inersia diberi definisi secara kuantitatif sebagai "massa". Jadi massa sebuah benda tidak lain merupakan pengertian kuantitatif dan operasional dari sifat inersia benda.

Untuk melawan atau mengganggu sifat inersia benda dibutuhkan gaya. Gaya inilah yang membuat kecepatan suatu benda berubah. Jika gaya dikenakan searah dengan kecepatan benda maka kecepatan benda bertambah, dikatakan benda mengalami percepatan. Jika gaya yang dikenakan berlawanan dengan arah kecepatan benda, maka kecepatan benda berkurang, dikatakan benda mengalami perlambatan atau percepatan ke arah negatif.

Dari suatu percobaan tentang garak lurus, diperoleh kesimpulan bahwa : pecepatan sebuah benda adalah berbanding lurus dengan resultan gaya-gaya yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah resultan gaya. Kesimpulan ini tidak lain adalah ungkapan hukum Newton II yang secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$a \propto \sum \frac{F}{m} \quad \text{....................................................} (1)$$

Jika kita ambil konstanta proporsional sama dengan 1 maka pernyataan hukum Newton II ditulis :

$$a_i = \sum \frac{F_i}{m}$$

atau

$$\sum F_i = ma_i \quad \text{....................................................} (2)$$

Gaya $F_i$ dapat diuraikan atas komponen-komponen yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum F_z = ma_z$$

Jika $\sum F_i = 0$ maka resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol. Dengan demkian, percepatan a = 0, dan berarti bahwa benda dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan. Ternyata hukum Newton I adalah hal khusus dari hukum Newton II.

### *3. Hukum Newton III*

Gaya yang bekerja pada suatu benda berasal dari benda-benda lain yang membentuk lingkungannya. Suatu gaya tunggal hanyalah salah satu bagian dari interaksi timbal balik antara dua benda. Secara eksperimen diketahui bahwa jika sebuah benda melakukan gaya pada benda kedua, maka benda kedua selalu membalas melakukan gaya pada benda yang pertama. Selanjutnya diketahui pula bahwa kedua gaya ini sangat besar, tetapi arahnya berlawanan. Karena itu tidak mungkin memperoleh gaya tunggal terisolasi.

Jika salah satu dari dua gaya yang muncul pada interaksi dua benda disebut gaya "aksi", maka yang lain disebut "reaksi". Yang mana saja dapat dipandang sebagai aksi dan yang lain reaksi. Menyangkut hal ini tidak terkandung pengertian sebab akibat, yang ada hanyalah interaksi timbal balik secara serentak.

Sifat gaya ini pertama kali diungkapkan oleh Newton dalam hukum geraknya yang ke III dalam rangkaian kalimat sebagai berikut *"Untuk setiap aksi selalu terdapat reaksi yang sama besar dan berlawanan arah; atau aksi timbal balik satu terhadap yang lain antara dua benda selalu sama besar, dan berarah ke bagian yang berlawanan*". Kedua gaya aksi dan reaksi terletak sepanjang garis lurus yang menghubungkan kedua benda. Gaya aksi dan reaksi selalu terjadi berpasangan dan bekerja pada benda yang berbeda. Seandainya keduanya terjadi pada benda yang sama, tentu tidak pernah ada gerak dipercepat karena resultan gaya pada setiap benda selalu sama dengan nol. Secara matematis, hukum Newton III dapat ditulis :

$F_{aksi} = F_{reaksi}$

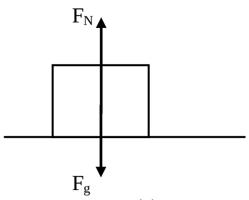
### 4. *Gaya Gravitasi dan Gaya Normal*

Galileo mengemukakan bahwa semua benda yang dilepaskan didekat permukaan bumi akan jatuh dengan percepatan yang sama dengan g, jika gesekan udara diabaikan. Gaya dengan percepatan g ini disebut gaya "gravitasi" atau disebut "berat". Gaya gravitasi dipandang sebagai penerapan hukum Newton II dengan mengganti percepatan a dengan g. Jadi gaya gravitasi pada sebuah benda $F_g$ dituliskan :

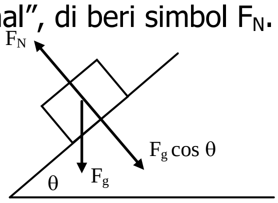
$F_g = m\,g$

Arah gaya ini menju pusat bumi.

Dalam satuan SI, g = 9,8 m/s$^2$ = 9,8 N/kg, dengan demikian berat dari 1 kg massa di bumi adalah 1 kg x 9,8 m/s$^2$ = 9,8 N. Harga g berpariasi di tempat-tempat yang berbeda di permukaan bumi karena pengaruh bentuk bumi yang tidak benar-benar bulat. Gaya gravitasi bumi akan terlihat pada benda jika ia jatuh. Jika benda diam di permukaan bumi, gaya gravitasi tidak terlihat. Ini berarti setiap benda mengalami gaya gravitasi. Jika benda berada di atas permukaan bidang dan benda diam, berarti harus ada *gaya lain* untuk mengimbangi gaya gravitasi sebagai konsekuensi hukum Newton I. Gaya tersebut disebut "gaya kontak". Bila gaya kontak tegak lurus dengan permukaan kontak maka ia disebut "gaya normal", di beri simbol $F_N$.



(a)



(b)

## 5. *Hukum Gravitasi Newton*

Semula Newton menyimpulkan bahwa gaya gravitasi yang dialami sebuah benda di permukaan bumi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pusat benda ke pusat bumi. Jadi $F_g \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$ dengan $m_1$ adalah massa bumi dan $m_2$ massa benda, dan r adalah jarak dari pusat bumi ke benda.

Newton kemudian menemukan kesimpulan tentang gaya gravitasi yang dialami benda di bumi berlaku pula bagi benda pada benda-benda lain di matahari, bulan, dan planet lainnya. Dengan kata lain, kesimpulan Newton di atas berlaku universal, dan ditulis :

$$F_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{.......} (3)$$

dengan $m_1$(massa bumi) dan $m_2$ massa kedua benda, dan r adalah jarak antar ke duanya serta G adalah konstanta universal atau disebut juga tetaan gravitasi alam semesta. Dari eksperimen diperoleh G = 6,67x$10^{-11}$ $Nm^2/kg^2$. Persamaan 3.5 dikenal sebagai hukum Gravitasi Newton. Berdasarkan persamaan 3.4 diperoleh :

$$g = G\frac{m_b}{r^2}$$

perubahan percepatan gravitasi bumi diberikan oleh :

$$dg = \left(\frac{-2Gm_b}{r^3}\right)dr = \frac{-2gdr}{r} \quad \text{.......} (4)$$

atau

$$\frac{dg}{g} = \frac{-2dr}{r} \quad \text{.......} (5)$$

tanda minus menyatakan bahwa jika jarak bertambah sebesar dr, maka percepatan gravitasi akan berkurang sebesar dg/2.

Karena bumi tidak benar-benar berupa bola, harga g di permukaan bumi bergantung pada lintang. Di khatulistiwa untuk lintang $0^0$ harga g  9,75039 $m/s^2$ dan untuk lintang $60^0$ harga g = 9,81918 $m/s^2$. Harga-harga tersebut hanyalah harga rata-rata. Harga g masih berubah dari suatu tempat ke tempat lain pada lintang yang sama karena sifat lapisan bumi. Perbedaan harga ini digunakan dalam eksplorasi bahan galian bumi.

Contoh :

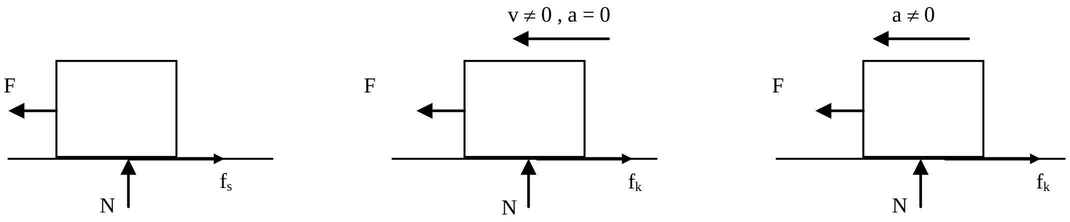
Berapa besar gaya gravitasi pada benda yang bermassa 2000 kg yang melakukan orbit d atas permukaan bumi setinggi dua kali jari-jari bumi dari pusat bumi? Jari-jari bumi 6380 km, massa bumi = 5,98 x $10^{24}$ kg dan G = 6,67 x $10^{-11}$ N m/kg$^2$.

Jawab :

$$F_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = 4900\ \text{N}$$

### 6. *Gaya Gesekan*

Jika sebuah balok bermassa m diluncurkan dengan kecepatan awal $v_0$ sepanjang bidang horisontal, balok akhirnya berhenti. Hal ini berarti dalam geraknya, balok mengalami percepatan rata-rata a yang berlawanan arah geraknya. Jika dalam kerangka inersia kita melihat suatu benda dipercepat, maka pada geraknya selalu kita kaitkan gaya, yang didefinisikan melalui hukum Newton II. Dalam hal ini dikatakan bahwa bidang melakukan gaya gesekan pada balok yang meluncur yang harga rata-ratanya adalah m.a.




(a) Benda diam

(b) benda bergerak dengan kecepatan $f_k$ = F

(b) benda bergerak dengan kecepatan $f_k$ < F

Gambar 3.3

Tinjaulah sebuah balok yang diam di atas permukaan meja horisontal (gambar 3.3.a). Gaya gesekan antara dua permukaan yang saling diam satu sama lain disebut "gaya gesekan statis". Gaya gesekan statis maksimum antara dua permukaan tidak bergantung pada luas daerah kontak, tetapi besarnya sebanding dengan besarnya gaya normal.

Perbandingan antara besar gaya gesekan statik maksimum dengan besar gaya normal disebut koefisien gesekan statik antara kedua permukaan. Jika $f_s$ menyatakan besar gaya gesek statik, maka:

$$f_s \le \mu_s N$$

dengan $\mu_s$ adalah koefisien gesekan statik dan N adalah gaya normal.

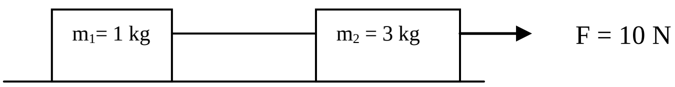
Gaya yang bekerja antara dua permukaan yang saling bergerak relatif disebut "gaya gesekan kinetik". Gaya gesekan kinetik $f_k$ juga tidak bergantung pada luas daerah kontak dan besarnya sebanding dengan gaya normal. Perbandingan antara besar gaya gesekan kinetik dengan gaya normal disebut "koefisien gesekan kinetik", diberi simbol $\mu_k$

$$f_k = \mu_k N$$

dengan $f_k$ adalah gaya gesekan kinetik

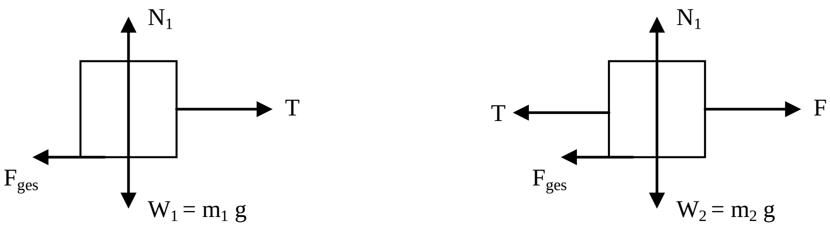
Contoh :

Jika koefisien gesekan kinetik antara lantai dan balok adalah 0,25, tentukanlah tegangan tali yang menghubungkan kedua balok dan percepatan sistem.




Jawab:

Diagram gaya masing-masing balok :




$\sum F = ma$

$T - f_{ges} = m_1 a$

$T - m_1 a = \mu_k m_1 g = 2{,}5$ N ……..I

$\sum F = ma$

$F\text{-}T\text{-}f_{ges} = m_2\, a$

$T + m_2\, a = F - \mu_k\, m_1\, g = 2{,}5$ N……II

Digabungkan kedua persamaan diperoleh a = 0 m/s$^2$ dan T = 2,5 N

## 7. *Dinamika Gerak Melingkar*

Berdasarkan hukum Newton II (F = m a), sebuah benda yang mengalami percepatan haruslah terdapat gaya yang bekerja padanya. Sebuah benda yang bergerak dalam suatu lingkaran akan mengalami percepatan sentripetal $a_c$ yang besarnya adalah $v^2/r$, dengan r adalah jari-jari lingkaran. Oleh karena itu diperlukan gaya yang memberikan benda percepatan sentri petal tersebut. Gaya tersebut adalah gaya sentripetal yang arahnya sama dengan arah percepatan sentripetal (menuju pusat lingkaran) dan besarnya adalah:

$$\sum F = ma_c = \frac{av^2}{r}$$

Dengan $\Sigma$F adalah gaya total dalam arah radial, dalam hal ini benda dipandang bergerak melingkar beraturan, yakni besar kecepatan sama tetapi arahnya selalu berubah.

Pada gerak melingkar sebenarnya paling sedikit dua buah gaya bekerja pada benda. Gaya-gaya tersebut adalah gaya sentripetal yang arahnya menuju pusat lingkaran dan gaya sentrifugal (segaris dengan gaya sentripental tetapi arahnya berlawanan atau meninggalkan pusat lingkaran).

Pada garak melingkar tidak beraturan, yakni benda bergerak melingkar dengan besar dan arah kecepatan berubah, disamping memiliki percepatan sentripetal, $a_c$ juga terdapat percepatan tangensial $a_r$, $a_c$ dan $a_t$ selalu tegak lurus satu sama lain. Vektor percepatan total untuk gerak melingkar tidak beraturan diberikan oleh;

$$a = a_t + a_c$$

dan harga per a = $\sqrt{a_t^2 + a_c^2}$

sehingga gaya yang menyebabkan benda yang bergerak melingkar adalah

F = m a

dengan besar gaya yang diberikan oleh

$F = m\,a = m\sqrt{a_t^2 + a_c^2}$ (6)

Contoh:

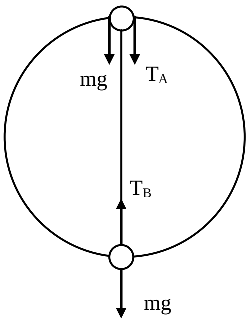
Sebuah bola bermassa 150 gram diikatkan pada tali yang panjangnya 1,10 m lalu diputar secara vertikal. Tentukan

a) laju minimun bola agar pada posisi tertiggi bola tetap berputar melingkar

b) tegangan tali padasaat posisi bola paling rendah dimana kecepatan bola sam dengan dua kali kecepatan pada posis tertinggi.

Jawab:

a) pada posisi tertinggi:




$\Sigma F = ma$

$T_A + mg = ma$

laju minimun diperoleh kalau $T_A$= 0, sehingga mg = ma maka:

$g = \dfrac{v_A^2}{r}$

$v_A = (gr)^{\frac{1}{2}} =$ [(9,8 m/s$^2$) (1,10m)]$^{1/2}$

a. pada posisi terendah:

$\Sigma F = m\,a$

$T_B - mg = \dfrac{mv_B^2}{r}$, $v_B = 2\,v_A$ = 6,56 m/s

$T_B = m\left(g + \dfrac{v_B^2}{r}\right)$ = 7,34 N

### 8. *Hukum Kepler dan Sintesa Newton*

Sebelum Newton mengemukakan hukum gravitasi alam semesta dan hukum geraknya, yang ketiga seorang astronomi jerman bernam Johanes Kepler (157-1630) telah membuat karya tulis astronomi berisi deskiripsi detail gerak planet-planet mengelilingi matahari. Karya kepler ini dibuat bedasarkan data yang dikumpulkan oleh Tycho Brahe. Intisari karya Kepler kemudian dikenal sebagai "hukum kepler tentang gerak planet", terdiri dari:

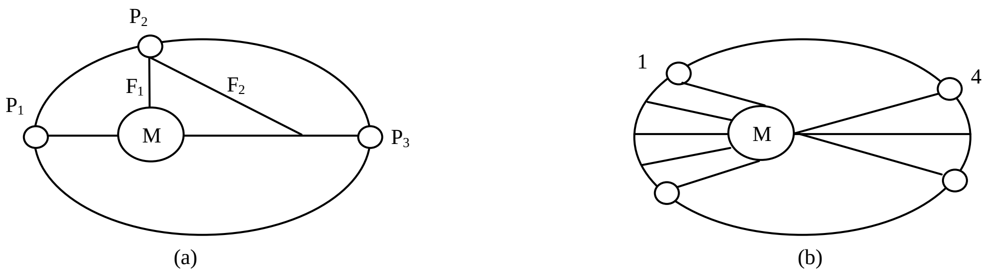
a) Hukum kepler pertama : lintasan tiap-tiap planet di sekitar matahari adalah berbentuk ellips dengan matahari adalah salah satu fokusnya (Gambar 3.6a)

b) Hukum kepler kedua : Luas yang dilalui garis hubung antara matahari dan planet dalam selang waktu yang sama adalah sama besar (Gambar 3.6b)

c) Hukum Kepler ketiga : perbandingan kuadrat periode dari dua planet yang mengelilingi matahari adalah sama dengan perbandingan pangkat tiga jarak rata-rata masing-masing planet dari matahari. Jika $T_1$ dan $T_2$ menyatakan periode (waktu yang dibutuhkan planet untuk melakukan satu kali orbit atau putaran penuh) masing-masing planet, serta $r_1$ dan $r_2$ menyatakan jarak rata-rata mereka dari matahari, maka

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 \quad \text{.......(7)}$$

Jarak rata-rata planet dari matahari adalah separuh jumlah $p_1$ M dan $p_3$ M (gambar 3.6a)




Gambar 3.6 Posisi planet terhadap bumi

Newton menunjukkan bahwa hukum Kepler dapat diturunkan secara matematika dari hukum gravitasi alam semesta. Dari hukum Newton kedua, kemudian mensubtitusi gaya dengan gaya gravitasi alam semesta dan percepatan dengan gaya percepatan sentripetal.

$$F = m\,a$$

$$\frac{G m_1 M_s}{r_1^2} = \frac{m_1 v_1^2}{r_1}$$

dengan $m_1$ adalah massa planet, $r_1$ adalah jarak rata-rata planet dari matahari, $v_1$ adalah laju rata-rata orbit planet, dan $M_s$ adalah massa matahari. Jika $T_1$ adalah periode planet dengan panjang lintasan $2\pi r_1$, maka

$$v_1 = \omega_1 r_1 = \frac{2\pi\, r_1}{T_1}$$

sehingga

$$\frac{Gm_1 M_s}{r_1^2} = m_1 \frac{4\pi^2 r_1^2}{T_1^2}\frac{1}{r_1} = m_1 \frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2} \quad \text{atau} \quad \frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s}$$

Untuk planet kedua ditulis

$$\frac{T_2^2}{r_2^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s}$$

yang merupakan pernyataan hukum Kepler ketiga.

Contoh:

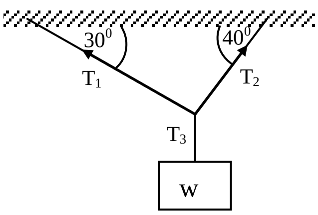
Priode planet mars yang dicatat pertama oleh Kepler sekitar 684 hari. Jika jarak dari matahari kebumi $r_{ES}$ = 1,50 x $10^{11}$ m, tentukan jarak dari matahari ke planet mars.

Jawab :

$$r_{ms} / r_{ES} = \left(\frac{T_m}{T_s}\right)^{2/3} = 1{,}52$$

$r_{ms}$ = 1,52 x 1,50 x $10^{11}$ m = 2,28 x $10^{11}$ m

## D. Soal-soal Latihan :

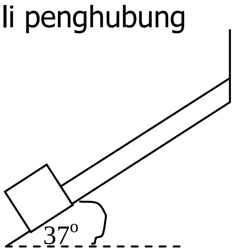



1. Jika w = 100 N, tentukan $T_1$ $T_2$ dan $T_3$ pada masing-masing tali penghubung. Anggap g = 10 m/s$^2$ dan abaikan massa tali-tali penghubung. Jawab : $T_1$ = 73,3 N, $T_2$ = 89,6 N , dan $T_3$ = 100 N
2. Seorang anak kecil menarik sebuah beban dengan gaya horisontal sebesar 10 N pada sebuah bidang datar. Beban 1 dan beban 2 masing-masing bermassa 3 kg dan 1 kg. Kedua beban ini dihubungkan dengan tali yang amat ringan (anggap m = 0 kg). Dengan mengabaikan gesekan antara lantai dengan kedua beban , hitunglah :

a. Gaya normal oleh lantai pada masing-masing beban

b. Percepatan sistem

c. Gaya tali penghubung

3. 


Sebuah benda bermassa 2 kg terletak di atas bidang miring licin yang membentuk sudut 37° dengan horisontal (tan $37^0 \approx 3/4$). Benda ditahan dengan seutas tali pada dinding (gambar). Berapakah tegangan tali yang menahan benda tersebut ? Berapakah gaya dari bidang miring pada benda ?

4. Sebuah mobil bergerak sepanjang jalan lurus dengan laju 36 km/jam. Jika koefisien gesek statis antara ban mobil dengan jalan adalah 0,2, tentukan jarak minimum yang diperlukan untuk menghentikan mobil

5. Sebuah benda kecil berputar pada lingkaran horisontal dengan laju konstan. Di ujung seutas tali yang panjangnya 1 m dan bergantung pada langit-langit. Benda berayun melingkar membentuk sudut $30^0$ sehingga tali membentuk sebuah permukaan kerucut. Tentukanlah waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh satu putaran penuh.

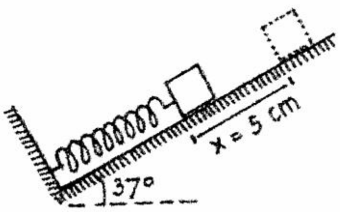
6. Sebuah satelit geosynchronous (orbitnya selalu sinkron dengan bumi) berada disuatu titik di atas ekuator bumi. Jika diketahui massa bumi adalah $5{,}98 \times 10^{24}$ kg maka tentukan :

   a. Tinggi di atas permukaan bumi sedemikian sehingga satelit melakukan orbit sinkron

   b. Laju satelit

7. Berapa massa matahari jika diketahui jarak bumi dari matahari $1{,}5 \times 10^{11}$ m

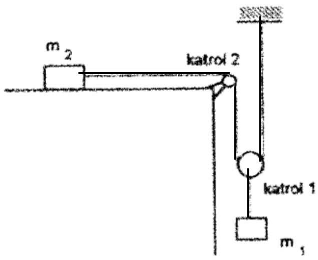
8. Seseorang yang beratnya 700 N berada di dalam sebuah elevator yang sedang dipercepat ke atas dengan percepatan 2 $ms^{-2}$. Berapakah berat yang tercatat pada timbangan bila ia ditimbang dalam elevator tersebut ?

9. 


Sebuah benda bermassa 0,5 kg menekan sebuah pegas di kaki bidang miring yang membentuk sudut $37^o$ dengan horisontal. Pegas tertekan sejauh 0,5 cm dari keadaan kendurnya.

Bila konstanta karakteristik pegas adalah k = 1000 N/m, (a) hitunglah percepatan benda pada keadaan ini. Bila pegas ditekan lebih jauh lagi dan kemudian dilepaskan, maka benda akan didorong ke atas bidang miring oleh pegas. (b) Hitunglah percepatan benda setelah benda terdorong lepas dari pegas?

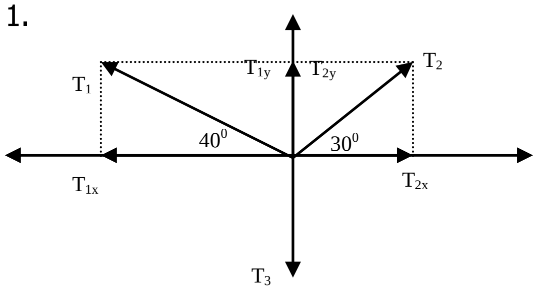
10. Dua buah benda dihubungkan dengan tali dan katrol seperti pada gambar. Katrol 1 dapat bergerak bebas turun-naik, dan katrol 2 tetap. Lantai dianggap licin., tali dan katrol dianggap tidak bermassa dan tali tidak dapat mulur. Bila $m_1$ = 0,5 kg dan $m_2$ = 1,5 kg, hitunglah percepatan masing-masing benda dan tegangan masing-masing tali




Gambar Soal No. 10

**Penyelesaian Soal-saol Latihan**

1.




Jawab :

Jika diuraikan berdasarkan komponen-komponennya :

$-T_{1x} + T_{2x} = 0$

$T_{1x} = T_1 \cos 30^0$ ; $T_{2x} = T_2 \cos 40^0$ sehingga $-T_1 \cos 30^0 + T_2 \cos 40^0 = 0$, diperoleh :

$$T_1 = \frac{\cos\ 40^0}{\cos\ 30^0} T_2$$

Proyeksi ke sumbu-y

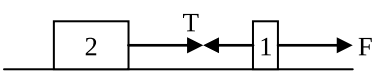
$T_{1y} + T_{2y} - T_3 = 0 \rightarrow T_3 = w = 100$ N

$T_{1y} = T_1 \sin 30^0$ ; $T_{2y} = T_2 \sin 40^0$ sehingga $T_1 \sin 30^0 + T_2 \sin 40^0 - w = 0$, dengan mensubtitusi nilai $T_1$ dan menyelesaikannya maka diperoleh :

$$T_2 = \frac{w}{\cos 40^0 \ \tan 30^0 + \sin 40^0} = \frac{100}{0{,}44 + 0{,}64} \quad N = 92{,}6\, N$$

$$T_1 = \frac{\cos\ 40^0}{\cos\ 30^0} T_2 \ = \ 81{,}9\ N$$

2.



a. Beban 1: $N_1 = m_1 . g = 3\ kg . 10\ ms^{-s} = 30\ N$

Beban 2: $N_2 = m_2 . g = 1\ kg . 10\ ms^{-2} = 10\ N$

b. Percepatan sistem: $\sum F = (m_1 + m_2).a_s \Rightarrow a_s = \dfrac{\sum F}{(m_1 + m_2)} = \dfrac{10\,N}{(3\,kg + 1\,kg)} = 2{,}5\,ms^{-2}$

c. Tegangan Tali penghubung: $T = F - m_1 . a_s = 10 - 3\,kg . 2{,}5\,ms^{-2} = 2{,}5\,N$

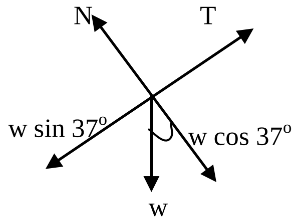
3. Komponen x : T - W sin 37° = 0

Komponen y : N – W cos $37^0$ = 0

Dari sini diperoleh:

T = W sin $37^0$ = mg sin $37^0$ = (2)(10)$\left(\frac{3}{5}\right)$ = 12 N

N = W cos $37^0$ = mg cos 37° = (2) (10)$\left(\frac{4}{5}\right)$ = 16 N

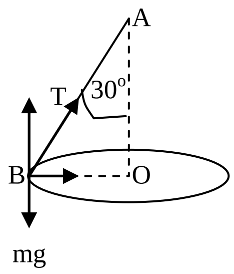



4. $v_o = 36\,km/\,jam = 10\,m/s$ gaya gesek yang dialami mobil adalah:

$f_s = \mu_s\, N = \mu_s\, m\,g = 0{,}2 . m . 10\,ms^{-2} = 2\,m$ $\rightarrow$ resultan gaya yang bekerja: $-f_s = m.a$ $\rightarrow$ a = - 2 $ms^{-2}$

jarak minimum yang ditempuh adalah: $x = \dfrac{v_f^2 - v_o^2}{2\,a} = \dfrac{0^2 - 10^2}{2.(-2)} = 25\,meter$

5.




Dari gambar di samping diperoleh: $T \cos 30^o = mg$ dan

$T \sin 30^o = \dfrac{mv^2}{r}$ dengan menyelesaikan persamaan pertama dan mensubstitusikannya dalam persamaan kedua diperoleh:

$v^2 = r\,g \tan 30^o$

$\rightarrow$ r = AB sin 30° = 1 meter . 0,5 = 0,5 meter dan g = 10 $ms^{-2}$ sehingga:

$v = \sqrt{0{,}5 . 10 . 0{,}577} = 1{,}7\,ms^{-1}$ $\rightarrow$ periode benda:

$$T = \frac{keling\ lingkaran}{v} = \frac{2\pi r}{1{,}7} = \frac{2\pi\, 0{,}5}{1{,}7} = 1{,}85\,dtk$$

6. a.

$$r^3 = \frac{T^2 G M}{4\pi^2} = \frac{(24\ jam . 3600\,\det)^2 . 6{,}67 . 10^{-11}\,N\,m^2/kg^2\,(5{,}98 . 10^{24}\,kg)}{4(3{,}14)^2} = 7{,}55\,\mathrm{x}\,10^{22}\,m^3$$

$$r \approx (7{,}55\,x10^{22}\,m^3)^{1/3} \approx 4{,}23\,\mathrm{x}10^7\ m$$

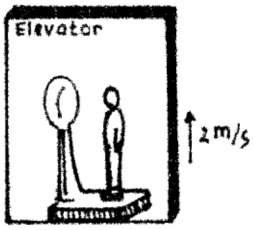
b. $v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2(3{,}14)(4{,}23\,x10^7\ m)}{24\ jam . 3600\,\det} \approx 3{,}07\,\mathrm{x}10^5\ m/\det$

7. Dari Hukum gravitasi Newton diperoleh kecepatan bumi: $v = \sqrt{G\frac{M}{r}} = \frac{2\pi r}{T} \rightarrow$

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

$$M = \frac{4(3{,}14)^2 (1{,}5.10^{11}\ m)^3}{(6{,}67\ x 10^{-11}\ N\ m^2 kg^{-2})(366\ hari\ x\ 24\ jam\ x\ 3600\ \det)^2} \approx 2{,}0\ x 10^{30}\ kg$$

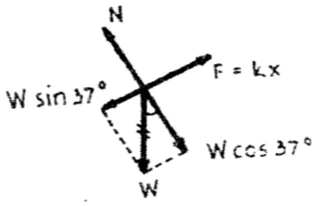
8. Diagram gaya untuk orang ditunjukkan dalam gambar. Gaya N adalah gaya lantai timbangan pada orang. Berat yang nampak pada timbangan adalah besamya gaya dari orang pada lantai timbangan, jadi merupakan gaya reaksi dari N (tentu saja besarnya sama). Percepatan orang haruslah sama dengan percepatan elevator, yaitu 2 $ms^{-2}$. Menurut hukum Newton,





$N - W = ma = \frac{W}{g} a$ atau $N = W + \frac{W}{g} a = 700 + \frac{700}{10} .2 = 772\ Newton$

9a. Diagram benda bebas untuk benda diperlihatkan dalam gambar b. Sumbu x dipilih sepanjang bidang miring dan sumbu y tegak lurus pada bidang. Hukum Newton untuk masing-masing komponen :




$\Sigma F_y = m\ a$ $\Rightarrow$ N - W cos 37° = 0 (karena tidak ada gerak dalam arah y)

N = W cos 37° = (0,5) (10) (0,8) = 4 N

$\Sigma F_x = m\ a_x$ $\Rightarrow$ kx - W sin $37^0$ = m $a_x$

(1000) (0,005) - (0,5) (10) (0,6) = 0,5 $a_x$

$a_x$ = (5-3)/0,5 = 4 $m/s^2$

b. Setelah lepas dari pegas, gaya pegas tidak lagi bekerja pada benda; gaya sepanjan sumbu x yang bekerja hanyalah -W sin 37°, sehingga

$$a_x = -\frac{W \sin 37^0}{m} = -\frac{(0{,}5)(10)(0{,}6)}{(0{,}5)} = -6\ m/s^2$$

Tanda negatif karena percepatannya berarah ke sumbu x negatif.

10.

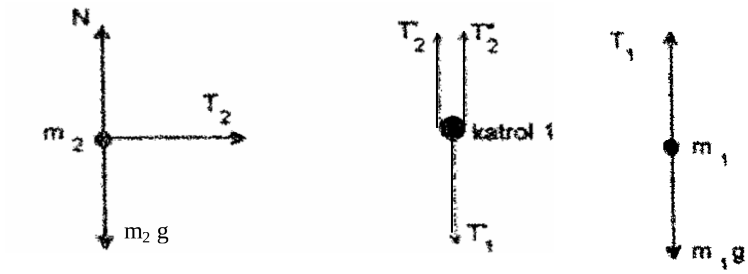



Diagram benda bebas untuk situasi ini diberikan dalam gambar. Kendala bahwa katrol tidak bermassa menyebabkan $T_2' = T_2''$, dan kendala bahwa tali tidak bermassa menyebabkan $T_2 = T_2' = T_2''$ dan $T_1' = T_1$. Selanjutnya, karena tali tidak dapat mulur, maka perpindahan $m_2$ akan selalu dua kali perpindahan $m_1$, sehingga percepatannya pun akan dua kali percepatan $m_1$, yaitu $a_2 = -2a_1$. Tanda negatif artinya bila $a_2$ ke kanan (positif) maka $a_l$ ke bawah (negatif).

Hukum Newton untuk $m_2$, memberikan

(l) $N = m_2 g = 0 \quad \Rightarrow N = m_2 g$

(2) $T_2 = m_2 a_2 = -2\, m_2 a_1$

Hukum Newton untuk katrol memberikan

(3) $T_2' + T_2'' - T_1' = m_{kantrol} a_1 \approx 0 \qquad \Rightarrow T_1' = T_2' + T_2''$ atau $T_1$=2T

(4) $T_1 - m_1 g = m_1 a_1 \qquad \Rightarrow 2T_2 - m_1 g = m_1 a_1$

Dari persamaan (2) dan (4) kita peroleh

$$m_1 g = -(4m_2 + m_1)a_1 \;\Rightarrow\; a_1 = \frac{-m_1 g}{4m_2 + m_1} = \frac{-(0{,}5)(10)}{4(1{,}5) + (0{,}5)} = -\frac{10}{13}\, m/s^2 \;\Rightarrow$$

$$a_2 = -2a_1 = \frac{30}{13} N$$

Substitusi hasil ini ke dalam persamaan (2) dan (3) memberikan

$$T_2 = m_2 a_2 = (1{,}5)\left(\frac{20}{13}\right) = \frac{30}{13} N \qquad \text{dan} \qquad T_1 = 2T_2 = \frac{60}{13} N$$

## E. Rangkuman

1. Kenyataan bahwa tanpa gaya luar suatu benda akan tetap diam atau tetap bergerak lurus beraturan, suatu sifat benda yang disebut inersia (kelembaman) dan kerangka acuan dimana hukum ini berlaku disebut kerangka inersia.

2. Untuk melawan atau mengganggu sifat inersia benda dibutuhkan gaya. Gaya inilah yang membuat kecepatan suatu benda berubah. Percepatan sebuah benda adalah berbanding lurus dengan resultan gaya-gaya yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah resultan gaya.
3. Untuk setiap aksi selalu terdapat reaksi yang sama besar dan berlawanan arah; atau aksi timbal balik satu terhadap yang lain antara dua benda selalu sama besar, dan berarah ke bagian yang berlawanan. Kedua gaya aksi dan reaksi terletak sepanjang garis lurus yang menghubungkan kedua benda.
4. Semua benda yang dilepaskan didekat permukaan bumi akan jatuh dengan percepatan yang sama dengan g, jika gesekan udara diabaikan. Gaya dengan percepatan g ini disebut gaya "gravitasi" atau disebut "berat".
5. Gaya normal adalah gaya kontak yang tegak lurus dengan permukaan kontak yang bekerja untuk mengimbangi gaya gravitasi.
6. Gaya gravitasi yang dialami benda di bumi berlaku pula bagi benda pada benda-benda lain di matahari, bulan, dan planet lainnya.
7. Gaya yang bekerja antara dua permukaan disebut "gaya gesekan ". Gaya gesekan tidak bergantung pada luas daerah kontak dan besarnya sebanding dengan gaya normal. Arah gaya gesek berlawanan dengan gerak benda.
8. Pada gerak melingkar paling sedikit dua gaya bekerja pada benda. Gaya-gaya tersebut adalah gaya sentripetal yang arahnya menuju pusat lingkaran dan gaya sentrifugal yang arahnya berlawanan atau meninggalkan pusat lingkaran.
9. Gerak planet mengelilingi matahari berbentuk ellips dengan luasan yang dilalui garis hubung antara matahari dan planet dalam selang waktu yang sama adalah sama besar.

## F. Tes Formatif

1. Benda yang massanya 10 kg bergerak di atas lantai horizontal yang kasar ditarik dengan gaya mendatar 20 N sehingga kecepatannya tetap. Jika g = 10 m/s$^2$ maka besar koefisien gesekan antara benda dengan lantai adalah:

   a. 0,1 c. 0,3

b. 0,2 d. 0,4

2. Dua buah benda, masing-masing bermassa $m_1$ = 0,5 kg dan $m_2$ = 1,5 kg digantungkan di ujung-ujung sebuah tali melalui sebuah katrol. Bila massa tali dan massa katrol diabaikan, dan tali dianggap tidak dapat mulur, percepatan masing-masing benda adalah ….

   a. 1 $m/s^2$ dan -1 $m/s^2$ c. 5 $m/s^2$ dan -5 $m/s^2$
   b. 3 $m/s^2$ dan -3 $m/s^2$ d. 7 $m/s^2$ dan -7 $m/s^2$

3. Berapakah tegangan tali pada soal nomor 2?

   a. 7,5 newton c. 3,5 newton
   b. 5,5 newton d. 1,5 newton

4. Sebuah benda bermassa m terletak di atas bidang miring kasar, $\mu_s$ = 0,4 dengan sudut miring θ yang dapat diubah-ubah. Mulai dari θ = $0^0$, kemiringan bidang ditambah sedikit demi sedikit. Pada sudut miring tan θ berapakah benda mulai akan bergerak?

   a. 0,2 b. 0,4 c. 0,6 d. 0,8

5. Sebuah benda bermassa m terletak di atas bidang miring kasar, $\mu_k$ = 0,3. Berapakah percepatan benda ketika sudut miring θ = $30^0$ ?

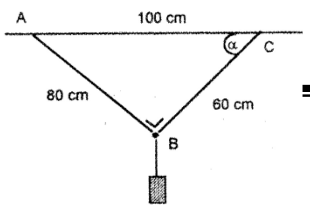
   a. 5,2 $m/s^2$ c. 2,4 $m/s^2$
   b. 4,2 $m/s^2$ d. 1,2 $m/s^2$

6. Dua buah benda dengan massa $m_1$ = 2 kg dan $m_2$ = 4 kg terletak berdampingan di atas lantai kasar ($\mu_s$=0,5). Berapakah besar gaya minimum F yang harus diberikan supaya kedua benda hampir bergerak ?

   a. 40 newton c. 20 newton

   b. 30 newton d. 10 newton

7. Sebuah benda digantung seperti pada gambar. Bila tali AB dan BC hanya dapat menahan tegangan 100 N, berapakah beban maksimum yang dapat digantung



pada susunan ini ?

a. 100 newton

b. 125 newton

c. 150 newton

d. 175 newton

8. Sebuah benda yang massanya 5 kg bergerak secara beraturan dalam lintasan yang melingkar dengan kecepatan 2 $ms^{-2}$. Bila jari-jari lingkaran 0,5 m. maka besarnya gaya sentripetal adalah:

a. 20 N c. 40 N
b. 30 N d. 50 N

9. Sebuah balok 400 g dengan kecepatan awal 80 cm/s meluncur di atas meja melawan gaya gesek dari 0,7 N. Berapa jauhkah benda akan meluncur sebelum berhenti?

a. 0,183 meter c. 18,3 meter
b. 1,83 meter d. 183 meter

10. Sebuah mobil 600 kg melaju dengan kecepatan 30 m/s. tiba-tiba direm sehingga berhenti pada jarak 70 meter. Berapakah gaya yang diperlukan untuk mengerem?

a. 3,86 kN c. 38,6 kN

b. – 3,86 kN d. – 38,6 kN

## G. Referensi


1. Halliday, D dan Reisnick, R., 1994***, Fisika I,*** Erlangga, Jakarta
2. Sutrisno, 1985, ***Seri Fisika Dasar: Mekanika***, ITB, Bandung
3. Giancolli, 2001, ***FISIKA, Jilid 1 ed V$^{th}$,*** Erlangga, Jakarta.

# IV. USAHA DAN ENERGI

Usaha adalah besaran skalar yang diperoleh melalui operasi perkalian titik (dot) dari dua besaran vektor yakni gaya dan pergeseran. Dengan demikian, usaha akan bernilai tidak sama dengan nol jika proyeksi gaya ke arah sumbu pergeseran tidak sama dengan nol. Atau dengan kata lain sudut antara vektor gaya dengan vektor pergeseran tidak sama dengan $90^o$. Satuan SI untuk usaha dan energi adalah joule (disingkat J) yang setara dengan satuan newton dikalikan dengan satuan meter. Satuan cgs untuk usaha dan energi adalah erg (dyne centimeter). 1 joule (1 J) = $10^7$ erg. Dalam materi ini akan dibahas penggunaan Hukum-hukum Newton dan pengembangan konsep usaha dan energi.

## A. Standar Kompetensi

Mahasiswa mampu memahami konsep dasar mekanika klasik

## B. Kompetensi Dasar :

Mahasiswa dapat membedakan konsep energi, usaha dan daya serta mampu mencari hubungan antara usaha dan transformasi energi dan transfer energi serta prosesnya.

## C. Materi Pembelajaran

### 1. *Usaha oleh Gaya Konstan*

Jika gaya $\overline{F}$ yang menyebabkan pergeseran sejauh $\overline{d}$ adalah tetap, maka pernyataan matematik untuk usaha diberikan oleh :

$$\boxed{W = \overline{F} \bullet \overline{d} = Fd \cos \theta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

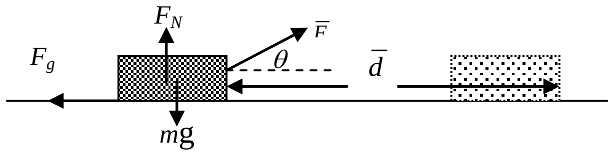
dengan $\theta$ adalah sudut antara arah gaya $F$ dan arah pergeseran $d$. Dari persamaan (4-1) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

a) Bila tidak ada pergeseran ($d$ = 0) maka gaya tidak melakukan usaha ($W$ = 0). Contoh : Seseorang mengambil tas dan membawanya ke suatu tempat kemudian meletakkannya. Orang tersebut tidak melakukan usaha.

b) Bila $\overline{F}$ tegak lurus $\overline{d}$ ($\theta$ = 90°) maka gaya tidak melakukan usaha.

c) Bila komponen gaya $\overline{F}$ searah dengan pergeseran $\overline{d}$ maka usaha yang dilakukan adalah positif ($W > 0$)

d) Bila komponen gaya $\overline{F}$ berlawanan arah dengan pergeseran $\overline{d}$ maka usaha yang dilakukan adalah negatif ($W < 0$).



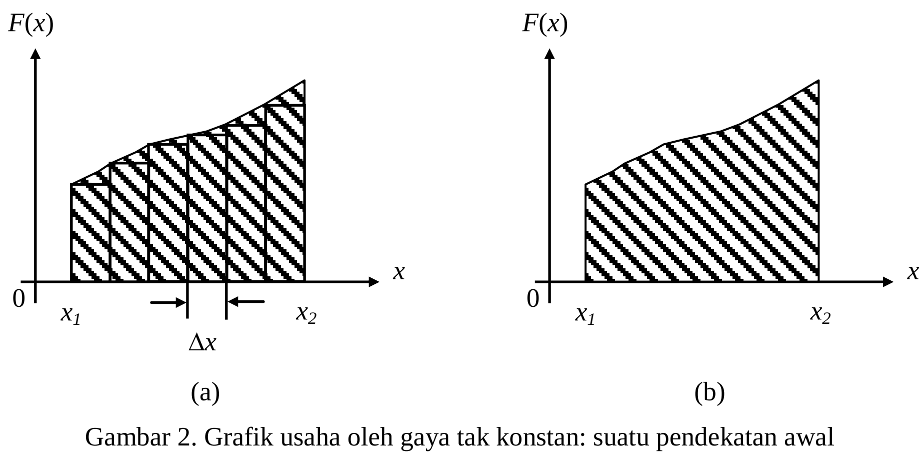

Gambar 1. Benda yang ditarik oleh gaya F yang membentuk sudut θ terhadap pegeseran d

## 2. *Usaha oleh Gaya yang Berubah*

### a. Kasus Satu Dimensi

Andaikan gaya merupakan fungsi posisi $F(x)$ dan bekerja dalam arah sumbu-x. Jika sepanjang pergeseran (arah sumbu-x), besar gaya berubah-ubah, maka usaha yang dilakukan harus dihitung dengan metode penjumlahan atau integrasi.

Untuk menghitung usaha yang dilakukan oleh gaya untuk memindahkan benda dari $x_1$ ke $x_2$, terlebih dahulu kita membagi-bagi pergeseran total menjadi sejumlah besar selang kecil $\Delta x$ yang sama (Gambar 2a). Usaha yang dilakukan oleh gaya $F(x)$ sepanjang pergeseran kecil $\Delta x$ dari $x_1$ ke $x_1 + \Delta x$ adalah $F(x)\ \Delta x$. Maka usaha total yang dilakukan oleh gaya $F(x)$ untuk memindahkan benda dari $x_1$ ke $x_2$ adalah (Gambar 2b).




Gambar 2. Grafik usaha oleh gaya tak konstan: suatu pendekatan awal

$$W_{12} = \lim_{\Delta x \to 0} \sum_{x_1}^{x_2} F(x)\, \Delta x \quad \text{..........} (2)$$

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\, dx \quad \text{..........} (3)$$

Secara numeris, $W_{12}$ tepat sama dengan luas di antara kurva gaya dan sumbu-x yang dibatasi oleh $x_1$ dan $x_2$ (Gambar 4.2b).

Bila gaya yang bekerja berubah terhadap waktu, maka usaha yang dilakukan dapat dituliskan sebagai:

$$W = \int F(t)\, dx \quad \text{..........} (4)$$

Perubahan gaya terhadap waktu umumnya disebabkan karena adanya perubahan kecepatan terhadap waktu, atau dengan kata lain karena benda mengalami percepatan.

**b. Kasus Dua Dimensi**

Gaya yang bekerja pada sebuah obyek dapat berubah, baik besar maupun arahnya. Untuk menghitung usaha yang dilakukan oleh gaya ini, lintasan dibagi-bagi menjadi sejumlah besar pergeseran kecil $\Delta \bar{r}$, masing-masing berarah sepanjang lintasan dalam arah gerak (Gambar 3).

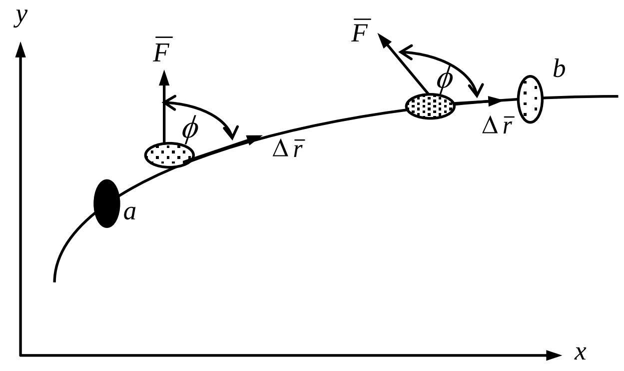
Usaha yang dilakukan oleh gaya *F* untuk memindahkan obyek dari *a* ke *b* diberikan oleh :

$$W_{ab} = \int_a^b \bar{F} \bullet d\bar{r} = \int_a^b F \cos\phi\, d\bar{r} \quad \text{..........} (5)$$

Usaha dalam kasus dua dimensi dapat pula diperoleh pemecahannya dengan menyatakan $\bar{F}$ dan $d\bar{r}$ dalam komponen-komponennya, $\bar{F} = \hat{i}\, F_x + \hat{j}\, F_y$ dan $d\bar{r} = \hat{i}\, dx + \hat{j}\, dy$, sehingga $\bar{F} \bullet d\bar{r} = F_x dx + F_y dy$.

Dengan demikian pernyataan (5) dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

$$W_{ab} = \int_a^b \left(F_x dx + F_y dy\right) \text{ ......(6)}$$




Gambar 3. $\overline{F}$ dan $\phi$ dapat berubah sepanjang lintasan

### 3. *Energi Kinetik*

Untuk memperoleh definisi kuantitatif bagi energi kinetik, pandang sebuah obyek bermassa *m* yang bergerak sepanjang garis lurus dengan kecepatan awal $v_1$. Obyek mengalami percepatan tetap hingga mencapai kecepatan $v_2$ disebabkan oleh resultan gaya *F* yang tetap dan tegak lurus dengan perpindahan obyek sejauh *d*. Besar usaha yang dilakukan oleh *F* terhadap obyek adalah :

$$W = Fd = m\,a\,d = m\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}\right)d$$

atau

$$W = \frac{1}{2}\left(mv_2^2 - mv_1^2\right) \text{ ...... (7)}$$

$\frac{1}{2}mv^2$ adalah definisi kuantitatif dari "energi kinetik translasi" atau sebut saja "energi kinetik" dari obyek ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$). Dengan demikian usaha tidak lain adalah perubahan energi kinetik :

$$W = \Delta E_k \text{ ......(8)}$$

Pernyataan (8) sesungguhnya berlaku umum, baik untuk gaya resultan konstan maupun berubah-ubah, baik untuk translasi maupun gerak rotasi. Andaikan kita tinjau gaya resultan berubah-ubah besarnya dengan pergeseran dalam arah sumbu-x. Usaha yang dilakukan oleh gaya resultan untuk memindahkan obyek dari $x_1$ ke $x_2$ adalah :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \bar{F} \bullet d\bar{r} = \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

masukkan

$$\bar{F} = ma = m\frac{dv}{dt} = m\frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt} = m\frac{dv}{dx}v = mv\frac{dv}{dx}$$

sehingga

$$W = \int_{x_1}^{x_2} mv\frac{dv}{dx}dx = \int_{v_1}^{v_2} mv\,dv = \frac{1}{2}mv^2 \Big|_{v_1}^{v_2}$$

$$\boxed{W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2} \qquad \text{.............................................................................(9)}$$

## 4. *Energi Potensial*

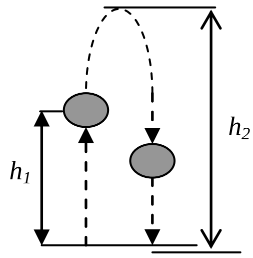
Energi yang berhubungan dengan posisi atau keadaan internal obyek disebut "energi potensial". Salah satu contoh energi potensial adalah energi yang tersimpan dalam pegas atau obyek yang mengalami deformasi elastis. Energi potensial ini disebut energi potensial pegas. Contoh lain adalah "energi potensial gravitasi" yang bergantung pada posisi di permukaan bumi. Kedua contoh energi potensial di atas dikenal sebagai "energi potensial mekanik".

## 5. *Energi potensial gravitasi*

Besar gaya gravitasi atau gaya berat yang dialami oleh sebuah benda yang berada dekat permukaan bumi ditulis sebagai :

$$\bar{F} = m\bar{g} \qquad \text{..................................................................................................................(10)}$$

di dekat permukaan bumi $g$ dianggap konstan. Usaha yang diperlukan untuk memindahkan suatu benda dari ketinggian $h_1$ ke $h_2$ di atas permukaan bumi dianggap sebagai berkut:




Gambar 4. perpindahan benda dari $h_1$ ke $h_2$

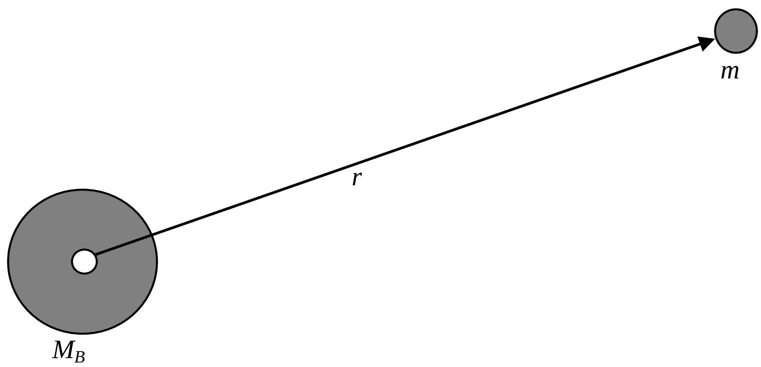
$$W = \int_{h_1}^{h_2} mg\, dh = mg(h_2 - h_1) \quad \text{.......... (11)}$$

di sini besaran *mgh* merupakan besaran energi yang tersimpan pada benda tersebut pada posisi ketinggian *h*. Oleh karenanya besaran *mgh* disebut sebagai energi potensial atau energi tempat ($E_p$), jadi:

$$E_p = mgh \quad \text{.......... (12)}$$

Jika posisi benda jauh dari permukaan bumi, maka gaya gravitasi tidak lagi konstan. Bila pusat bumi diambil sebagai pusat sumbu koordinat, maka gaya gravitasi yang dialami sebuah benda bermassa m yang berjarak r dari pusat bumi diberikan oleh:

$$F = \gamma \frac{M_B m}{r^2} \hat{r} \quad \text{.......... (13)}$$




Gambar 5.

Usaha yang dilakukan bila benda tersebut berpindah dari posisi $r_1$ ke $r_2$ diberikan oleh:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} \overline{F}.d\overline{r} = \int_{r_1}^{r_2} \gamma \frac{M_B m}{r^2} \hat{r}.d\overline{r} \quad \text{.......} \quad (14)$$

$$W = \gamma M_B m \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{.......} \quad (15)$$

Dengan: $\gamma$ = konstanta gravitasi , $M_B$ = massa bumi

Besaran $\gamma \frac{M_B m}{r} = E_p$ disebut sebagai energi potensial gravitasi.

## 6. *Energi potensial pegas*

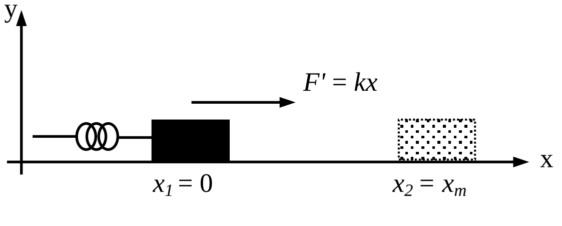
Pegas adalah suatu sistem yang terdiri dari sejumlah (sangat banyak) molekul yang melakukan gaya interaksi terhadap satu sama lain. Setiap benda yang memiliki sifat elastis (mempunyai kecenderungan untuk kembali ke bentuk semula) digambarkan sebagai pegas. Apabila pegas direnggangkan, jarak antara molekul berubah. Gaya atau tegangan yang timbul di dalam pegas ideal akibat perpanjangan $x$ menurut hokum Hooke adalah :

$F = -kx$ ....... (16)

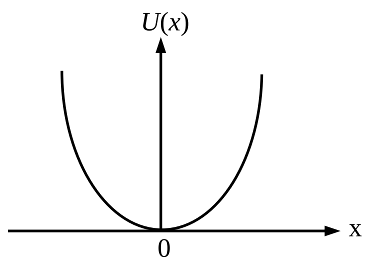
dengan $k$ adalah tetapan pegas. Pada pegas ideal tidak ada gaya gesekan internal, hanya ada gaya elastis yang konservatif. Bila pegas ditarik oleh gaya luar $F'$, maka $F' = -\overline{F} = +kx$ (lihat Gambar 6), usaha yang dilakukan oleh $F'$ sehingga terjadi deformasi pada posisi $x_1 = 0$ hingga $x_2 = x_m$ diberikan oleh :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F'\,dx = \int_{0}^{x_m} kx dx = \frac{1}{2} k x_m^2 \quad \text{.......} \quad (17)$$

Usaha ini dipindahkan menjadi energi internal atau energi potensial pegas. Usaha yang dilakukan oleh gaya $F'$ sama dengan energi potensial pegas.



Gambar 6. Energi potensial pegas



Gambar 7. Grafik energi potensial sebagai fungsi perpanjangan

$$U(x_m) = \frac{1}{2}kx_m^2 \quad \text{.........................................................................(18)}$$

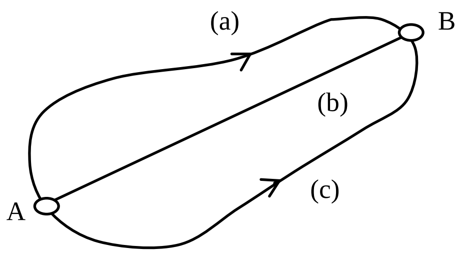
Energi potensial ini adalah relatif terhadap acuan yang dipilih yakni energi potensial nol untuk perubahan panjang $x = 0$. Perubahan energi potensial pegas bila panjang berubah dari $x_1 = x_0$ ke $x_2 = x_m$ diberikan oleh :

$$U(x_m) - U(x_0) = \frac{1}{2}k\left(x_m^2 - x_0^2\right) \quad \text{......................................................(19)}$$

Gambar 7 menunjukkan grafik energi potensial sebagai fungsi perpanjangan.

## *7. Kekekalan Tenaga*

Suatu ciri energi potensial yaitu usaha yang dilakukan hanya bergantung pada posisi awal dan akhir dari obyek bersangkutan tidak bergantung pada lintasan. Dalam hal ini gaya bersangkutan disebut "gaya konservatif" (Gambar 8).




Gambar 8. Gaya Konservatif

Usaha $W_{AB}$ yang dilakukan untuk memindahkan objek dari posisi A ke B adalah sama untuk lintasan (a), (b), (c). Demikian juga didapat bahwa

$$W_{AB} = -W_{AB} \quad \text{..................................(20)}$$

Oleh sebab $W_{AB} + W_{BA} = W_{AA} = 0$ Hasil ini dapat juga ditulis dalam bentuk

$$\oint dW = \oint \vec{F} \bullet d\vec{S} = 0 \quad \text{.............................. (21)}$$

Simbol $\oint$ menyatakan pengintegrasian keliling lintasan tertutup. Seandainya terdapat gaya gesekan, usaha yang dilakukan untuk menggeser suatu obyek dari posisi A ke B akan bergantung pada lintasan yang ditempuh.

Gaya gesekan adalah "gaya tidak konservatif" biasa disebut "gaya disipatif", karena energi selalu dibuang menjadi kalor bila terjadi gesekan. Sekalipun arah gerak dibalikkan, tetap terjadi gaya gesekan yang berlawanan dengan arah gerak sehingga usaha yang dilakukan gaya gesekan selalu negatif, dalam pengertian objek mengalami kehilangan energi. Perlu diperhatikan pula bahwa yang tidak termasuk gaya konservatif adalah gaya yang bergantung pada waktu ataupun kecepatan. Pada suatu sistem dapat bekerja gaya konservatif dan gaya tidak konservatif. Usaha total yang dilakukan pada sistem adalah jumlah usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya konservatif $W_c$, dan usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya tidak konservatif $W_{NC}$ :

$$W_{tot} = W_c + W_{NC} \quad \text{.......................................................................(22)}$$

Dari persamaan (7) dan (8) kita peroleh :

$$W_{tot} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = E_k$$

$$W_c = +W_{NC} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

atau

$$W_{NC} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - W_c$$

Usaha yang dilakukan gaya konservatif dapat ditulis dalam suku-suku energi potensial, misalkan energi potensial gravitasi :

$$W_c = -mg\Delta h = I + E_{p2}$$

Kita subtitusi hubungan ini ke dalam persamaan $W_{NC}$ :

$$W_{NC} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + E_{p2} - E_{p1} \quad \text{..................................................(23a)}$$

atau

$$W_{NC} = \Delta E_k + \Delta E_p \quad \text{......................................................................(23b)}$$

Jadi usaha yang dilakukan oleh gaya tidak konservatif pada sebuah obyek adalah sama dengan perubahan total pada energi kinetik dan energi potensial.

Jika hanya gaya-gaya konservatif yang beusaha pada sistem, maka $W_{NC} = 0$, sehingga persamaan (14) akan menjadi :

$$\Delta E_k + \Delta E_p = 0 \quad \text{.......................................................................(24a)}$$

atau

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + E_{p2} - E_{p1} = 0 \quad \text{.................................................. .......(24b)}$$

dengan demikian dapat ditulis persamaan ini menjadi:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + E_{p2} = \frac{1}{2}mv_1^2 + E_{p1} \quad \text{.........} (25)$$

Jika didefinisikan kuantitas *E* sebagai jumlah energi kinetik dan energi potensial, maka *E* disebut energi mekanik total dari sistem. Persamaan (25) menyatakan energi mekanik sistem pada kedudukan-2 sama dengan energi mekanik sistem pada kedudukan-1, atau energi mekanik sistem adalah kekal. Pernyataan ini dikenal sebagai prinsip kekekalan energi mekanik untuk gaya-gaya konservatif. Jika pada sistem hanya ada energi potensial gravitasi, pernyataan prinsip kekekalan energi mekanik persamaan (25) menjadi :

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2 \quad \text{.........} (26)$$

dengan $y_1$ dan $y_2$ menyatakan posisi relatif (tinggi) benda dari permukaan bumi.

Jika pada sistem beusaha gaya-gaya konservatif dan tidak konservatif maka pernyataan prinsip kekekalan energi mekanik menjadi

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2 + W_{NC} \quad \text{.........} (27)$$

$W_{NC}$ dapat berupa usaha oleh gaya gesekan. $W_{NC}$ umumnya dikenal sebagai energi disipatif.

### 8. Daya

Daya didefinisikan sebagai laju usaha yang dilakukan atau laju energi yang ditransformasikan :

$$daya = \frac{usaha}{waktu} = \frac{energi\ \ yang\ \ ditransmisikan}{waktu} \quad \text{.........} (28)$$

Jika *W* adalah usaha yang dilakukan oleh gaya *F* sejauh *d* selama selang waktu *t*, daya *P* diberikan oleh :

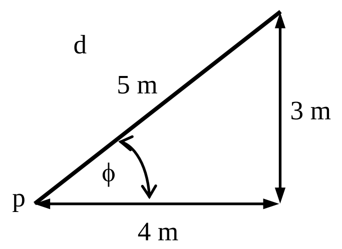
$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F.v \quad \text{.........} (29)$$

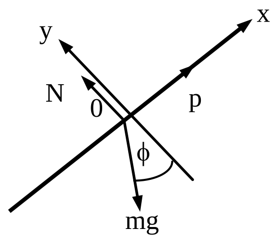
dengan $v = \frac{d}{t}$ adalah laju obyek.

## D. Contoh-contoh Soal dan Pemecahannya

1. Balok bermassa 10,0 kg akan dinaikkan dari dasar ke puncak bidang miring yang panjangnya 5,0 m dan tinggi puncaknya dari tanah 3,0 m. Anggap permukaan bidang licin. Berapakah usaha yang harus dilakukan oleh sebuah gaya sejajar bidang yang mendorong balok ke atas dengan laju konstan dengan g = 9,8 m/s$^2$.

   **Pemecahan :**

   
   
   (a)

   
   
   (b)

   $P - mg \sin\theta = 0$

   atau

   $P = mg \sin\theta$ = (10,0 kg) (9,8 m/s$^2$) (3/5) = 58,8 N

   $W = \bar{P} \bullet \bar{d} = Pd \cos 0^0 = Pd$ = (58,8 N) (5,0 m) = 294 J

   Dengan cara lain :

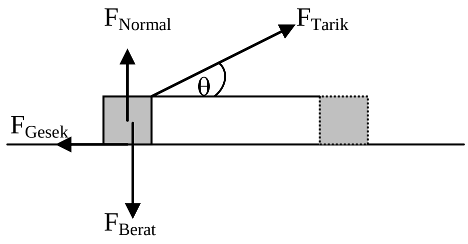
   $W = mgh$ = (10,0 kg) (9,80 m/s$^2$) (3,00 m) = 294 J

2. Gaya tarik-menarik coulomb terhadap muatan positif pada posisi x akibat muatan negatif pada titik asal atau gaya tarik-menarik gravitasi diberikan oleh $F(x) = -K/x^2$ dengan $K$ adalah konstan. Carilah usaha yang dilakukan oleh gaya pada muatan yang bergerak dari $x = a$ ke $x = b$.

   **Pemecahan :**

   $$W_{ab} = \int_a^b F(x)dx = -K\int_a^b \frac{dx}{x^2}$$

   $$W_{ab} = K\left[\frac{1}{x}\right]_a^b = K\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$$




3. Sebuah peti dengan massa 50 kg ditarik sejauh 40 m dengan gaya konstan yang diberikan seseorang sebesar F = 100 N yang membentuk sudut 37$^0$, lantai kasar sehingga

memberi gaya gesekan $F_g$ = 50 N. Tentukan kerja masing-masing gaya dan kerja totalnya.

**Pemecahan :**

Ada empat gaya yang terdapat, yaitu Gaya tarik, gaya berat, gaya normal dan gaya gesek

$W_{Fberat}$ = $m\,g\,d\cos\theta$ = m g cos $90^0$ = 0

$W_{Fnormal}$ = $F_N\,d\cos\theta$ = m g cos $90^0$ = 0

$W_{Ftarik}$ = $F_{tarik}\,d\cos\theta$ = (100 N) (40 m) cos $37^0$ = 3200 Nm = 3200 J (Usaha +)

$W_{Fgesek}$ = $F_{gesek}\,d\cos\theta$ = (50 N) (40 m) cos $180^0$ = - 2000 J (Usaha -)

Energi total = $W_B + W_N + W_T + W_G$

= 0 + 0 + 3200 + (- 2000)

= 1200 J

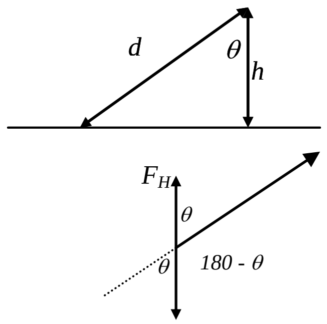
4. (a) Tentukan usaha yang harus dilakukan oleh seorang pendaki gunung untuk membawa 15,0 kg backpack ke atas bukit setinggi $h$ = 10,0 m.

   (b) Tentukan usaha yang dilakukan oleh gravitasi

   (c) Usaha total yang dilakukan pada backpack. Untuk sederhanya anggap pendaki bergerak dengan kecepatan tetap.

**Pemecahan :**

a. Gaya yang ada pada backpack adalah gaya gravitasi mg bekerja ke arah pusat bumi dan gaya angkat $F_H$ yang harus diberikan ke atas oleh pendaki untuk menopang backpack. Karena dianggap percepatan sangat kecil, gaya-gaya horizontal juga sangat kecil. Pada arah vertical y, dipilih ke atas sebagai arah positif.




$$\sum F_y = m\,a_y$$

$F_H - mg = 0$, maka $F_H = mg$ = (15,0 kg) (9,8 m/s$^2$) = 147 N

Untuk menghitung kerja yang dilakukan oleh pendaki :

$W_H = F_H(\,d\cos\theta\,)$, dari gambar dilihat bahwa $d\cos\theta = h$, maka

$W_H = F_H\,h = m\,g\,h$ = (147 N) ( 10,0 m)= 1470 J

b. Kerja yang dilakukan pada gravitasi adalah :

$W_G = F_G\, d \cos\theta \;=\; W_G = F_G\, d \cos(180 - \theta)$

Karena cos (180 - $\theta$) = - cos $\theta$, maka

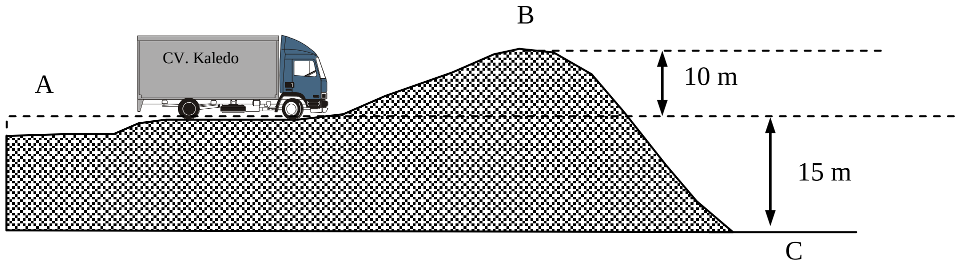
$W_G = F_G\, d - \cos\theta$ = - mgh = (15,0 kg) (9,8 m/s$^2$) (10,0 m) = - 1470 J
mg

c. Kerja total yang dilakukan pada backpack adalah :

$W_{Total} = W_G + W_H$ = 1470 + - 1470 = 0

**Catatan** : kerja total pada ransel adalah 0, tetapi pendaki tetap melakukan kerja sebesar 1470 J terhadap ransel

5. Sebuah kendaraan massanya 1000 kg bergerak dari titik A ke titik B kemudian ke titik C. (a) Berapa energi potensial gravitasi pada B dan C relatif terhadap titik A? Ambil y = 0 pada titik A. (b) Berapa perubahan energi potensial jika ia berangkat dari B ke C? (c) Ulangi pertanyaan (a) dan (b) tetapi dengan acuan di titik C ($y$ = 0 pada titik C).




**Pemecahan :**

(a) $E_p(A) = 0$

$E_p(B) = mgy(AB)$ $\qquad$ $y(AB)$ = 10 m (positif ke arah atas)

$E_p(AB)$ = (100 kg) (9,7 m/s$^2$) (10 m) = 1,0 x 10$^5$ J

$E_p(C) = mgy(AC)$ $\qquad$ $y(AC)$ = -15 m (negatif ke arah bawah)

= (1000 kg) (9,8 m/s$^2$) (-15) = -1,5 x 10$^5$ J

(b) Dari B ke C, perubahan energi potensial adalah :

$E_p(C) - E_p(B)$ = (-15 x 10$^5$ J) – (1,0 x 10$^5$ J) = -2,5 x 10$^5$ J

Energi potensial berkurang sebesar 2,5 x 10$^5$ J

(c) $E_p(C) = 0$

$E_p(A) = mgy(CA)$ $\qquad$ $y(CA)$ = 15 m

= (1000 kg) (9,8 m/s$^2$) (15 m) = 1,5 x 10$^5$ J

$E_p(B) = mgy$(CB) $\qquad$ $y(CB)$ = 25 m

$= (1000\text{ kg})\ (9{,}8\text{ m/s}^2)\ (25\text{ m}) = 2{,}5 \times 10^5\text{ J}$

Dari B ke C, perubahan energi potensial adalah :

$E_p(C) - E_p(B) = 0 - 2{,}5 \times 10^5\text{ J} = -2{,}5 \times 10^5\ \overline{\text{F}}$

6. Sebuah bola bermassa $m$ = 2,6 kg jatuh dari posisi $y = h$ = 55,0 cm menimpa ujung pegas dalam posisi $y$ = 0 sehingga pegas tertekan sejauh 15,0 cm. Tentukan konstanta pegas (anggap massa pegas diabaikan).

**Pemecahan :**

Tinjau gerak jatuh bebas bola dari $y_1 = h$ dengan kecepatan $v_1$ hingga $y_2$ = 0 dengan kecepatan $v_2$. Berdasarkan hukum kekekalan energi :

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{(2)(9{,}8)(0{,}55)} = 3{,}28\text{ m/s (kecepatan bola saat menimpa pegas)}$$

Tinjau gerak bola dari $y_2$ = 0 sampai $y_3 = -Y$ dengan kecepatan $v_3$. Berdasarkan hukum kekekalan energi :

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2 + \frac{1}{2}ky_2^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + mgy_3 + \frac{1}{2}ky_3^2$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + 0 + 0 = 0 + mg(-Y) + \frac{1}{2}k(-Y^2)$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgY = \frac{1}{2}kY^2$$

$$k = \frac{2\left(\frac{1}{2}mv_2^2 + mgY\right)}{Y^2}$$

$$k = \frac{2{,}60\,kg\left[(3{,}28\,ms^{-1})^2 + (2)(9{,}80\,ms^{-1})(0{,}15\,m)\right]}{(0{,}15\ m)^2} = 1580\text{ Nm}^{-1}$$

Atau dengan cara lain :

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_3^2 + mgy_3 + \frac{1}{2}ky_3^2$$

$$0 + mgh = 0 - mgY + \frac{1}{2}kY^2$$

$$k = \frac{2mg(h+Y)}{Y^2} \qquad k = \frac{(2)(2{,}60\,kg)(9{,}80\,ms^{-2})(0{,}55\,m + 0{,}15\,m)}{(0{,}15\,m)^2} = 1580\text{ Nm}^{-1}$$

7. Sebuah benda dengan massa 4 kg diangkat ke atas dari keadaan diam setinggi 3 m dengan menggunakan gaya 60 N yang arahnya vertikal ke atas. Tentukanlah :
   a. Kerja oleh gaya tersebut
   b. Kerja oleh gaya gravitasi
   c. Kecepatan akhir benda

   **Pemecahan :**

   a. $W_F = F \Delta y \ \cos 0^0 = (60 \text{ N}) (3 \text{ m}) (1) = 180 \text{ J}$

   b. $W_g = F \Delta y \ \cos 0^0 = m\, g\, \Delta y \ \cos 180^0$

   $= (4 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) (3 \text{ m}) (-1) = -120 \text{ J}$

   c. $\Delta W = ½\, m\, v_2^2 - ½\, m\, v_1^2$

   $= ½\, m\, (v_2^2 - v_1^2) = ½ (4 \text{ kg}) (v_2^2 - 0)$

   $180 \text{ J} - 120 \text{ J} = 2 \text{ kg} (v_2^2 - 0)$

   $v_2^2 = 60 \text{ J}/2 \text{ kg}$

   $v_2 = \sqrt{30} \text{ m/s}$

8. Sebuah balok 2 kg di atas bidang horizontal yang licin ditempelkan pada sebuah pegas dengan konstanta 500 N/m. Pegas ditekan sejauh 20 cm lalu dilepaskan. Berapa kecepatan balok meninggalkan pegas? Jika kemudian balok tersebut menaiki bidang miring yang juga licin berapa tinggi maksimum yang dicapai?

   **Pemecahan :**

   Pada mulanya energi mekanik total hanyalah energi potensial pegas,

   $$Ep = ½\, k\, x^2 = ½ (500 \text{ N/m}) (0{,}2 \text{ m})^2 = 10 \text{ J}$$

   Setelah meniggalkan pegas, energi potensial pegas menjadi 0, sehingga energi totalnya adalah energi kinetik balok (Ek) yang besarnya tentu samma dengan energi potensial pegas = 10 J.

   Jadi kecepatan balok meninggalkan pegas adalah :

   $$Ek = ½\, m\, v^2$$

   $$v^2 = 2\, Ek / m$$

   $$v = \sqrt{2\,Ek/m} = = \sqrt{(2)(10\text{ J})/2\text{kg}} = \sqrt{10} \text{ m/s}$$

   pada saat mencapai tinggi maksimum, kecepatan balok = 0, sehingga energi mekanik total addalah energi potensial gravitasi = 10 J

   $$Ep_g = m\, g\, h = 10 \text{ J}$$

   $$h = Ep_g / m\, g$$

   $$= 10 \text{ J} / (2 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) = ½ \text{ m}$$

9. Seorang laki-laki bermassa 70 kg berlari menaiki tangga yang tingginya 4,5 m dalam waktu 4 detik. Berapa daya yang dikeluarkan? Berapa besar energi yang dibutuhkan ?

**Pemecahan :**

Kerja yang dilakukan melawan gaya beratnya,

$$\overline{P} = \frac{m\,g\,h}{t} = \frac{(70\,kg)(10\,m/s^2)(4{,}5\,m)}{4\,det\,ik} = 770 \text{ J/s} = 770 \text{ Watt}$$

$$E = \overline{P}\,t = (770 \text{ J/s})) (4 \text{ s}) = 3100 \text{ J}$$

10. Dalam iklan disebutkan bahwa mobil yang memiliki massa 1200 kg dari keadaan diam dapat mencapai kecepatan 25 m/s dalam waktu 8 detik. Berapakah daya rata-rata mesin mobil itu? Anggap tak ada gesekan.

**Pemecahan :**

Usaha yang diperlukan untuk menggerakkan mobil :

$$W = \Delta Ek = ½\, m(v_2^2 - v_1^2)$$

$$= ½\,(1200 \text{ kg})\,(25 \text{ m/s})^2 = 375000 \text{ kg m/s} = 375000 \text{ J}$$

maka daya mesin mobil :

$$\overline{P} = \frac{W}{t} = \frac{(1500\,J)}{8\det ik} = 46875 \text{ J/s} = 46875 \text{ Watt} = 46{,}875 \text{ kWatt}$$

## E. Rangkuman

Kerja dilakukan pada benda oleh gaya ketika benda tersebut bergerak melalui jarak, d. Jika arah gaya konstan F membentuk sudut $\theta$ dengan arah gerak, kerja yang dilakukan oleh gaya ini adalah :

$$W = F\,d\cos\theta$$

Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Dalam satuan SI, kerja dan energi diukur dalam Joule (1 J = 1 Nm)

Energi kinetik (EK) adalah energi gerak. Benda dengan massa *m* dan laju *v* mempunyai energi kinetik translasi

$$EK = ½\, m\, v^2$$

Energi potensial (EP) adalah energi yang dihubungkan dengan gaya yang bergantung pada posisi atau konfigurasi benda. Energi potensial gravitasi adalah

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

Dimana *h* adalah ketinggian benda dengan massa m di atas titik acuan.

Energi potensial elastis sama dengan $\frac{1}{2}\ kx^2$ untuk pegas yang teregang atau ditekan, dimana *x* adalah perpindahan dari posisi tidak teregang. Energi potensial lainnya meliputi energi kimia, listrik dan nuklir. Perubahan energi potensial ketika benda berubah posisi sama dengan kerja eksternal yang dibutuhkan untuk memindahkan benda itu dari posisi satu ke posisi lain.

Prinsip kerja-energi menyatakan bahwa kerja total yang dilakukan pada sebuah benda (oleh gaya total) sama dengan perubahan energi kinetik benda tersebut.

$$W_{total} = \Delta EK = \tfrac{1}{2}\, m\, v_2{}^2 - \tfrac{1}{2}\, m\, v_1{}^2$$

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi dapat di ubah dari satu jenis ke jenis lainnya, tetapi energi total tetap konstan. Hukum ini berlaku bahkan jika ada gesekan, karena panas yang dihaslkan dapat dianggap sebagai bentuk energi. Dengan tidak adanya gesekan dan gaya non konservatif lainnya, energi mekanik total akan kekal "

$$\mathrm{EK} + \mathrm{EP} = \mathrm{Konstan}$$

Jika gaya non konservatifbekerja, maka

$$W_{NC} = \Delta\,\mathrm{EK} + \Delta\,\mathrm{EP}$$

Dengan $W_{NC}$ adalah kerja yang dilakukan oleh gaya nonkonservatif

Daya didefinisikan sebagai kecepatan dilakukannya kerja, atau kecepatan perubahan energi

$$P = \frac{W}{t}$$

Satuan SI untuk daya adalah Watt ( 1 W = 1 J/s)

## F. **Tes Formatif**

1. Sebuah benda 300 g meluncur sepanjang 80 cm di atas meja horizontal. Berapakah besar usaha yang dilakukan pada bena tersebut oleh gaya gesekan yang diperoleh dari meja bila koefisien gesekan adalah 0,20?

a. 0,470 J
c. 470 J
b. – 0,470 J
d. – 470 J

2. Hitunglah usaha yang dilakukan agar pompa dapat memompakan 600 liter minyak ke dalam tangki setinggi 20 m. Satu cc minyak massanya 0,82 gr. 1 liter = 1000 $cm^{3.}$

a. 96400 J
c. 9,6400 J
b. 964 J
d. 0,964 J

3. Kalau sebuah benda kita angkat, kita melakukan usaha melawan gaya tarik bumi. Berapakah usaha itu kalau sebuah benda 3 kg kita angkat 40 cm ?

a. 118 J
c. 11,8 J
b. 1,18 J
d. 0,118J

4. Sebuah benda dengan gerakan $30^0$ di atas bidang miring bergerak ke atas karena padanya bekerja beberapa gaya. $F_1$ sebesar 40 N arah datar, $F_2$ tegak lurus bidang miring sebsar 20 N, $F_3$ sebesar 30 N sejajar bidang miring. Hitunglah usaha total yang dilakukan kalau benda berpindah 801 cm ke atas

a. 52 J
c. 0,52 J
b. 5,2 J
d. 5200 J

5. Sebuah peluru ditembakkan degan kecepatan awal 20 m/s ke atas. Berapa ketinggian yang dicapai kalau kecepatannya tinggal 80 m/s? Gesekan udara diabaikan.

a. 170 m
c. 17,1 m
b. 0,170 m
d. 171 m

6. Pada suatu mesin Atwood dua buah benda yang massanya masing-masing adalah 800 dan 700 gr. Sistim tersebut dilepaskan dari keadaan diam. Berapakah kecepatan massa 800 gr sesudah ia jatuh 120 cm?

a. 125 m/s
b. 1,25 m/s
c. 12,5 m/s
d. 0,125 m/s

7. Mobil 1200 kg menggelinding bebas dengan kemiringan $30^0$. Pada saat mobil berkecapatan 12 m/s , sopir mulai menginjak rem. Berapakah besar gaya rem (yang tetap dan berarah sejajar permukaan miring)agar mobil dapat berhenti dalam jaarak 100 m?

a. 6,7 kN
b. 67 kN
c. 0,67 kN
d. 670 kN

8. Sebuah kereta api 60000 kg ditarik gaya 3000 N di atas rel yang miringnya 1 % (untuk setiap jarak horizontal 100 m, kereta api akan mendaki sejauh 1 m). Kereta api itu mengalami gesekan 4000 N. Kalau kecepatan awalnya 12 m/s, berapakah jarak yang harus ditempuh kereta api sebelum kecepatannya tinggal 9 m/s?

a. 6,7 kN
b. 67 kN
c. 0,67 kN
d. 670 kN

9. Dalam iklan disebut bahwa mobil tertentu yang massanya 1200 kg dari keadaan diam dapat mencapai kecepatan 25 m/s dalam waktu 8 detik. Berapakah daya rata-rata mesin mobil itu ? Anggap tak ada gesekan.

a. 4,69 kW
b. 0,469 kN
c. 469 kW
d. 46,9 kW

10. Muatan gandum akan dibongkar dari palka kapal dengan mesin elevator. Alat ini dapat mengangkut gandum setinggi 12 m sebanyak 2,0 kg setiap detik untuk kemudian dijatuhkan dengan kecepatan 3,0 m/s. Mesin dengan hp berapakah sedikit-dikitnya dapat mengerjakan ini ?

a. 32,7 hp
b. 3,27 hp
c. 327 hp
d. 0,327 hp

## G. Referensi


1. Halliday, D dan Reisnick, R., 1994***, Fisika I,*** Erlangga, Jakarta
2. Sutrisno, 1985, ***Seri Fisika Dasar: Mekanika***, ITB, Bandung
3. Giancolli, 2001, ***FISIKA, Jilid 1 ed V$^{th}$,*** Erlangga, Jakarta.