

BAB 4 ENERGI DAN MOMENTUM

4.1. USAHA/KERJA DAN ENERGI/TENAGA

Fenomena gerak, di samping bisa dianalisis dengan menggunakan perumusan hukum newton, ia juga bisa didekati dengan menggunakan konsep usaha-energi. Seperti halnya hukum newton, konsep ini menghubungkan pengaruh luar (gaya) dengan keadaan gerak benda. Bedanya dengan konsep hukum newton, usaha (kerja) dan energi (tenaga) adalah besaran skalar. Karena itu, untuk beberapa kasus, konsep usaha-energi dapat lebih mudah digunakan untuk mengetahui keadaan gerak suatu benda akibat pengaruh luar (gaya).

Konsep usaha pada hakikatnya berkaitan erat dengan konsep energi. Energi merupakan penyebab dari adanya usaha. Akan tetapi usaha juga bisa menyebabkan perubahan energi. Ada beberapa bentuk energi yang kita kenal, akan tetapi bentuk energi yang terkait dengan konsep usaha yang akan dibicarakan disini adalah bentuk energi yang terkait dengan gerak benda, yaitu energi kinetik dan energi potensial.

4.1.1 USAHA/KERJA

Dalam kehidupan sehari-hari usaha atau kerja diartikan sebagai kerja yang kita lakukan untuk menghasilkan uang atau untuk tujuan tertentu. Misalnya Ida bekerja agar mendapat uang. Istilah usaha/kerja dalam fisika agak berbeda dengan istilah usaha/kerja yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, meskipun ada beberapa kemiripan.

Dalam fisika usaha atau kerja (*work*) diartikan sebagai hasil kali antara komponen gaya dengan perpindahan benda. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa gaya yang diberikan harus menyebabkan benda berpindah. Jika gaya yang diberikan pada benda tidak menyebabkan perpindahan benda maka usaha/kerja pada benda tersebut sama dengan nol.

Contoh :

- pedagang buah mendorong peti buah yang berisi jeruk sehingga peti tersebut berpindah sejauh 100 m, maka pedagang buah melakukan usaha terhadap peti buah.
- Buah rambutan yang jatuh ke permukaan bumi akibat tertarik gaya gravitasi bumi, maka gaya gravitasi melakukan usaha/kerja pada buah rambutan.
- Seseorang mendorong tembok sekuat tenaga tetapi tembok tidak berpindah, maka usaha/kerja yang dilakukan orang tersebut terhadap tembok sama dengan nol karena tembok tidak berpindah (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Seseorang mendorong tembok

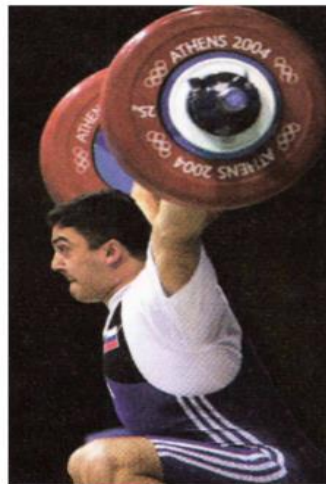
Sumber: Hewitt

- Sejumlah orang mendorong sebuah kereta salju. Orang-orang tersebut masing-masing memberikan gaya melalui suatu dorongan kepada kereta salju sehingga kereta salju bergerak (berpindah). Adanya gaya yang bekerja sebuah kereta salju yang menyebabkan kereta salju tersebut berpindah tempat menunjukkan adanya usaha/kerja yang telah dilakukan oleh masing-masing orang itu.



Gambar 4.2 Sejumlah orang yang sedang mendorong kereta salju
Sumber: Fishbane

- Seorang atlet sedang mengangkat sebuah barbel dalam suatu olimpiade kejuaraan angkat besi. Atlet tersebut mencoba mengangkat barbel yang mula-mula terletak di lantai hingga berada di atas kepalanya. Gaya yang diberikan oleh atlet tersebut pada barbel menyebabkan barbel dapat berpindah (berubah ketinggiannya). Adanya gaya yang diberikan oleh atlet itu kepada barbel sehingga barbel dapat berpindah menunjukkan adanya usaha/kerja yang diberikan oleh atlet tersebut kepada barbell (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Seorang atlet angkat besi sedang mengangkat barbel
Sumber: Hewitt

Berdasarkan uraian di atas, dapat kita simpulkan bahwa ada dua syarat terjadinya suatu usaha, yaitu:

1. adanya gaya yang bekerja pada suatu benda;
2. adanya perpindahan yang dialami oleh benda tersebut.

4.1.1.1 Usaha oleh gaya konstan

Pengertian usaha yang diterangkan di atas adalah usaha oleh gaya konstan, artinya arah dan nilainya konstan. Besar (nilai) usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya (F) pada suatu benda yang mengakibatkan perpindahan sebesar s , dapat dirumuskan kembali dengan kalimat: *Besar usaha oleh gaya konstan didefinisikan sebagai hasil besar komponen gaya pada arah perpindahan dengan besarnya perpindahan yang dihasilkan.*

Secara matematis besar usaha/kerja yang diberikan oleh gaya yang searah dengan perpindahan benda, dapat dihitung dengan rumus (4.1) :

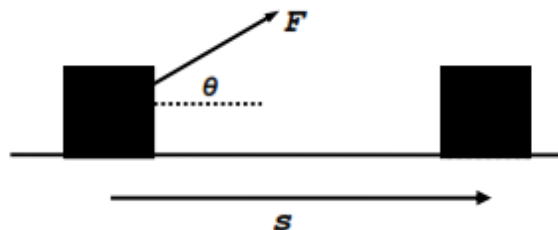
$$W = F \times s \quad \text{..... (4.1)}$$

Dimana :

W = Usaha (Joule)
 F = Gaya (Newton)
 S = Perpindahan (meter)

Apabila gaya yang diberikan tidak searah dengan perpindahan benda tetapi membentuk sudut α terhadap perpindahan, maka persamaan di atas tidak berlaku lagi. besar usaha dapat dihitung dengan rumus (4.2) :

$$W = (F \cos \alpha).s \quad \text{..... (4.2)}$$



Gambar 4.4. Sebuah balok yang ditarik oleh gaya F dan berpindah sejauh s

Baik gaya maupun perpindahan merupakan besaran vektor. Sesuai dengan konsep perkalian titik antara dua buah vektor, maka usaha W merupakan besaran skalar. Dalam sistem satuan SI, satuan usaha adalah Joule, yang dilambangkan dengan huruf J. Satu Joule didefinisikan sebagai besarnya usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya 1 Newton yang bekerja searah dengan perpindahan benda, yang

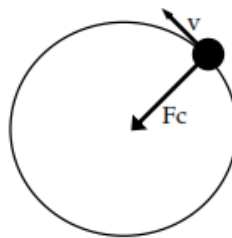
menyebabkan benda berpindah sejauh 1 meter. Untuk Usaha yang lebih besar, biasanya digunakan satuan kilojoule (kJ) dan megajoule (MJ).

- 1 joule = 1 newton x 1 meter
- 1 J = 1 N m
- 1 kJ = 1000 J
- 1 MJ = 1000 000 J
- 1 Joule = 10^7 erg
- 1 ft.lb = 1,356 joule (sistem Inggris)
- 1 kWh = $3,6 \times 10^6$ joule (elektrik)
- 1 eV = $1,60 \times 10^{19}$ Joule (fisika atom)



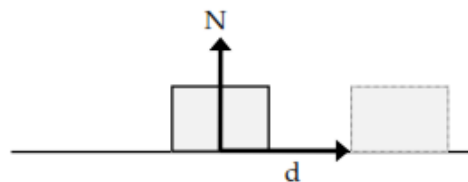
Mengingat di dalam usaha/kerja terdapat dua variabel yang berperan, yaitu perpindahan dan gaya (yang searah dengan perpindahannya), maka tidak semua gaya yang bekerja pada suatu benda melakukan usaha. Jika gaya tersebut berarah tegak lurus dengan arah perpindahan benda, maka gaya tersebut tidak melakukan usaha apapun. Beberapa contoh gaya yang tidak melakukan usaha adalah:

- Gaya sentripetal, arahnya selalu tegak lurus lintasannya, maka usaha oleh gaya sentripetal selalu nol.



Gambar 4.5. Arah Gaya Sentripetal yang Selalu Tegak Lurus dengan Arah Pergeseran Benda

- Gaya normal, arahnya selalu tegak lurus bidang dimana benda bergeser, maka usaha oleh gaya normal selalu nol.



Gambar 4.6 Arah Gaya Normal yang Selalu Tegak Lurus dengan Arah Pergeseran Benda

Contoh Soal:

1. Berapakah usaha yang dilakukan oleh seseorang yang mencoba menarik sebuah balok dengan gaya sebesar 50 N sehingga balok tersebut berpindah sejauh 8 meter?

Diketahui: $F = 50 \text{ N}$

$$\Delta x = 8 \text{ m}$$

Ditanya: $W = ?$

Jawab:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot \Delta x \\ &= 50 \text{ N} \cdot 8 \text{ m} \\ &= 400 \text{ Nm} = 400 \text{ joule} \end{aligned}$$

2. Seseorang menarik sebuah *vacuum cleaner* dengan gaya 50 N dan gaya tersebut membentuk sudut 30° dengan arah perpindahannya. Perpindahan yang dialami oleh *vacuum cleaner* itu adalah 8 meter. Berapakah besar usaha yang dilakukan oleh orang itu? (abaikan kehadiran gaya gesekan!)

Diketahui: $F = 50 \text{ N}$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\Delta x = 8 \text{ m}$$

Ditanya: $W = ?$

Jawab:

$$\begin{aligned} W &= F \cos \alpha \cdot \Delta x \\ &= 50 \text{ N} (\cos 30^\circ) 8 \text{ m} \\ &= 50 \text{ N} \left(\frac{1}{2} \sqrt{3} \right) \cdot 8 \text{ m} \\ &= 200\sqrt{3} \text{ joule} \approx 346,41 \text{ joule} \end{aligned}$$

3. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Sepuluh detik kemudian kecepatan mobil itu menjadi tiga kali semula. Jika massa mobil itu 1.000 kg, hitunglah usaha yang telah dilakukan oleh mesin mobil itu ?

Diketahui: $x_0 = 0$

$$v_0 = 10 \text{ m/s}$$

$$m = 1.000 \text{ kg}$$

$$v_t = 3v_o = 30 \text{ m/s}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Ditanya: $W = ?$

Jawab:

$$v_t = v_o + a.t$$

$$30 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} + a.10 \text{ s}$$

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

$$x = x_o + v_o.t + \frac{1}{2}at^2$$

$$= 0 + 10.10 + \frac{1}{2}.2 \text{ m/s}^2.(10 \text{ s})^2$$

$$= 200 \text{ m}$$

$$F = m.a$$

$$= 1000 \text{ kg} . 2 \text{ m/s}^2$$

$$= 2.000 \text{ N}$$

$$W = F . S$$

$$= 2.000 \text{ N} . 200 \text{ m}$$

$$= 400.000 \text{ J}$$

$$= 4. 10^5 \text{ J}$$

4. Seorang anak mengangkat sebuah kotak dengan gaya 160 N. Hitunglah usaha yang telah dilakukan anak tersebut ketika :

a) Anak tersebut diam di tempat sambil menyangga kotak di atas kepalanya.

b) Anak tersebut mengangkat kotak dan bergerak sejauh 10 meter,

Diketahui : $F = 160 \text{ N}$

Ditanya : a) $W = \dots?$ jika $s = 0$

b) $W = \dots?$ jika $s = 10 \text{ m}$

Jawaban :

a) Ketika anak mengangkat kotak diatas kepala tetapi tetap diam di tempat :

$$s = 0$$

$$W = F.s$$

$$= (160 \text{ N}) (0)$$

$$= 0$$

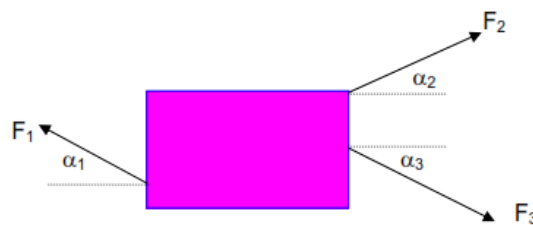
b) Ketika bergerak sejauh 10 m :

$$\begin{aligned}
 s &= 10 \text{ m} \\
 W &= F \cdot s \\
 &= (160 \text{ N}) (1 \text{ m}) \\
 &= 1600 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

4.1.1.2 Usaha yang dihasilkan lebih dari satu gaya

Dalam kejadian sehari-hari, dapat kita lihat bahwa sebuah benda akan dikenai gaya lebih dari satu. Oleh karenanya, jika ditanya berapa usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya tersebut maka haruslah dihitung usaha oleh masing-masing gaya-gaya tersebut, kemudian usaha dari masing-masing gaya tersebut dijumlahkan.

Seandainya pada sebuah benda bekerja 3 buah gaya F_1 , F_2 , dan F_3 sehingga benda mengalami perpindahan sejauh s . Gaya F_1 membentuk sudut α_1 dengan vektor s , F_2 membentuk sudut α_2 , dan F_3 membentuk sudut α_3 . Berapakah usaha oleh ketiga gaya tersebut terhadap benda.



Gambar 4.7 Usaha oleh beberapa gaya

Usaha masing-masing gaya dapat dicari dengan menggunakan rumus (4.2).

Gaya F_1 akan melakukan usaha sebesar:

$$W_1 = F_1 s \cos \alpha_1$$

Gaya F_2 akan melakukan usaha sebesar:

$$W_2 = F_2 s \cos \alpha_2$$

Gaya F_3 akan melakukan usaha sebesar:

$$W_3 = F_3 s \cos \alpha_3$$

Maka Usaha total (usaha yang dilakukan oleh ketiga gaya tersebut):

$$\begin{aligned}
 W &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= F_1 \cdot s \cos \alpha_1 + F_2 \cdot s \cos \alpha_2 + F_3 \cdot s \cos \alpha_3 \quad \dots\dots (4.3)
 \end{aligned}$$

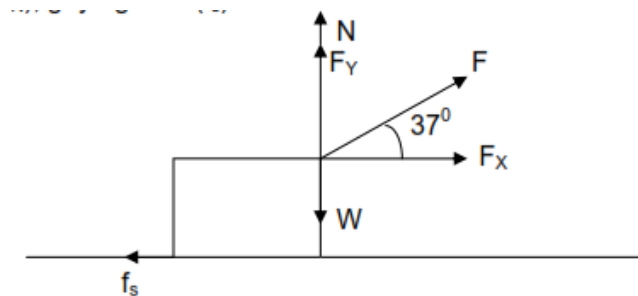
Contoh Soal :

1. Benda dengan massa 5 kg berada pada bidang datar dikenai gaya sebesar 60 newton. Gaya tersebut membentuk sudut 37° dengan arah horisontal (lihat gambar). Pada keadaan gerak, benda mengalami gaya friksi 5 newton dengan arah melawan gerak. Setelah beberapa saat, benda menempuh jarak 10 meter. Jika percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}$ maka :

- Gambarkan gaya-gaya yang bekerja pada benda
- Usaha yang dilakukan oleh masing-masing gaya
- Usaha yang dilakukan oleh sistem gaya-gaya

Jawab

- Gaya- gaya yang bekerja pada benda gaya berat (F_w), gaya normal (F_N), gaya gesek (f_s)



Gambar 4.8 Benda bermassa m ditarik dengan gaya F membentuk sudut 37° dan mengalami gaya gesek

$$\begin{aligned}
 W &= mg \\
 &= 5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s} \\
 &= 49 \text{ newton} \\
 F &= 60 \text{ newton} \\
 F_x &= F \cos 37^\circ \\
 &= 60 \cdot (0,8) \\
 &= 48 \text{ newton} \\
 F_y &= F \sin 37^\circ
 \end{aligned}$$

$$= 60 \cdot (0.6)$$

$$= 36 \text{ newton}$$

$$F_s = 5 \text{ newton}$$

Karena $F_x > f_s$, maka benda dapat bergerak ke kanan. Jika F_y lebih kecil dari W , maka benda masih menyentuh lantai ($N > 0$). Jika F_y sama dengan W , maka benda tepat tidak menyentuh lantai ($N = 0$). Jika F_y lebih besar dari W , maka benda bergerak lepas dari lantai ($N < 0$). Pada kasus di atas $F_y < W$, oleh karena itu benda masih menyentuh lantai/menekan lantai.

$$N + F_y = W$$

$$N = W - F_y$$

$$\begin{aligned} N &= 49 \text{ newton} - 36 \text{ newton} \\ &= 13 \text{ newton} \end{aligned}$$

b . Usaha oleh masing-masing gaya

Usaha mempunyai rumus umum $W = F \cdot s \cos \alpha$

Usaha oleh gaya normal N :

$$\begin{aligned} W_N &= N \cdot s \cos \alpha \\ &= 13 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times \cos 90^\circ \\ &= 13 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times 0 \\ &= 0 \text{ joule} \end{aligned}$$

Usaha oleh gaya F_y :

$$\begin{aligned} W_{F_y} &= F_y \cdot s \cos \alpha \\ &= 36 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times \cos 90^\circ \\ &= 36 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times 0 \\ &= 0 \text{ joule} \end{aligned}$$

Usaha oleh gaya berat benda W_B :

$$\begin{aligned} W_B &= W \cdot s \cos \alpha \\ &= 36 \text{ newton} \times 10 \text{ meter} \times 0 \\ &= 0 \text{ joule} \end{aligned}$$

Usaha oleh gaya F_x :

$$\begin{aligned} W_{F_x} &= F_x \cdot s \cos \alpha \\ &= 48 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times \cos 0^\circ \\ &= 480 \text{ newton m} \times 1 \end{aligned}$$

$$= 480 \text{ joule}$$

Usaha oleh gaya friksi f_s :

$$\begin{aligned} W_f &= f_s \cdot s \cos \alpha \\ &= 5 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times \cos 180^\circ \\ &= 50 \text{ newton m} \times (-1) \\ &= -50 \text{ joule} \end{aligned}$$

c. Usaha yang dilakukan oleh sistem gaya-gaya

Usaha-usaha yang dilakukan oleh sistem gaya-gaya merupakan jumlah skalar dari semua usaha gaya-gaya yang ada.

Usaha oleh sistem gaya-gaya:

$$\begin{aligned} W &= W_N + W_{F_y} + W_B + W_{F_x} + W_f \\ &= 0 + 0 + 0 + 480 \text{ J} + (-50) \text{ J} \\ &= 430 \text{ joule} \end{aligned}$$

Usaha ini dapat dicari dengan cara mencari resultan gaya-gayanya terlebih dahulu, yaitu jumlah gaya-gaya pada arah vertical sama dengan nol.

Jumlah gaya-gaya pada arah horizontal:

$$\begin{aligned} \Sigma F &= F_x - f \\ &= 48 \text{ newton} - 5 \text{ newton} \\ &= 43 \text{ newton, arahnya searah perpindahan.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \Sigma F \cdot s \cos \alpha \\ &= 43 \text{ newton} \times 10 \text{ m} \times \cos 0^\circ \\ &= 430 \text{ joule} \end{aligned}$$

2. Sebuah balok yang bermassa 1,5 kg didorong ke atas sebuah bidang miring ($\theta=53^\circ$) kasar oleh gaya konstan 15 N yang bekerja searah dengan bidang miring melawan gaya gesekan 2,7 N. Balok berpindah sejauh 2 m pada bidang miring melawan gaya gesekan 2,7 N. Balok berpindah sejauh 2 m pada bidang miring. Jika $g=10 \text{ m/s}^2$, hitunglah:

- Usaha oleh tiap-tiap gaya
- Usaha total

Penyelesaian:

Diketahui: $m = 1,5 \text{ kg}$

$F = 15 \text{ N}$

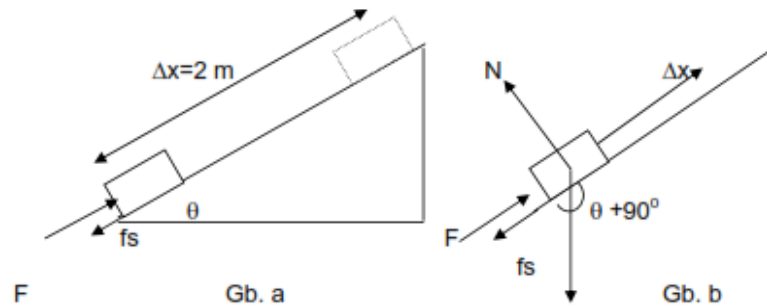
$$f_s = 2,7 \text{ N}$$

$$\Delta x = 2 \text{ m}$$

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

$$\theta = 53^\circ$$

- Ditanya: a. W masing-masing gaya
b. W total



Gambar 4.9 Balok didorong ke atas sebuah bidang miring ($\theta=53^\circ$)

- a. Dari Gambar 4.9:

$$\sin \theta = \frac{h}{\Delta x}$$

Ada empat gaya yang bekerja pada balok (Gambar 4.9 b), yaitu:

- Gaya berat mg , membentuk sudut $(\theta+90^\circ)$ terhadap perpindahan Δx .
- Gaya normal N membentuk sudut 90° dengan perpindahan Δx .
- Gaya gesek f membentuk sudut 90° dengan perpindahan Δx .
- Gaya dorong F searah dengan perpindahan Δx .

Usaha oleh setiap gaya dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{mg} &= mg \cdot \Delta x \cos (\theta+90^\circ) \\ &= mg \cdot \Delta x \sin \theta \\ &= 1,5 \cdot (10) \cdot (2) \cdot (-\sin 53^\circ) \\ &= 30 (-0,8) \\ &= -24 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_N &= mg \cdot \Delta x \cos 90^\circ \\ &= 1,5 \cdot (10) \cdot (2) \cdot 0 \\ &= 0 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$W_f = f \cdot \Delta x \cos 180^\circ$$

$$= 2,7 \cdot (2) \cdot (-1)$$

$$= -5,4 \text{ joule}$$

$$W_F = F \cdot \Delta x \cos 0^\circ$$

$$= 15 \cdot (2) \cdot 1$$

$$= 30 \text{ joule}$$

b. Usaha total

$$W_{\text{total}} = W_{\text{mg}} + W_N + W_f + W_F$$

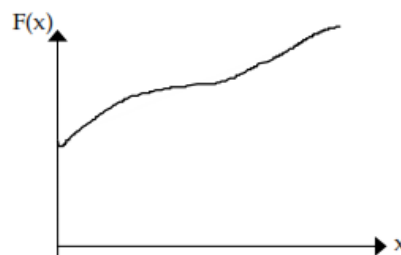
$$= (-24) + 0 + (-5,4) + 30$$

$$= 0,6 \text{ joule}$$

4.1.1.3 Usaha oleh gaya yang tidak konstan

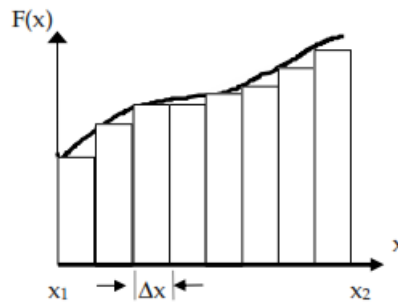
Pada saat seseorang menarik tali busur untuk melepaskan anak panah dari busurnya, maka semakin ditarik tali busurnya akan semakin besar gaya yang diberikan oleh tali busur kepada orang tersebut.

Demikian pula pada saat sebuah pegas diregangkan, semakin diregangkan pegas tersebut akan semakin berat beban yang dirasakan oleh orang yang meregangkannya. Kedua peristiwa tersebut menunjukkan bahwa adakalanya gaya yang bekerja pada suatu benda tidak konstan, melainkan berubah-ubah dan merupakan fungsi dari suatu variable tertentu. Misalnya pada kedua contoh di atas, gaya merupakan fungsi posisi $F(x)$ (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Grafik gaya sebagai fungsi posisi

Bagaimana strategi untuk memperoleh nilai usaha total yang dilakukan oleh gaya $F(x)$ pada kasus tersebut? Pertama, daerah di bawah kurva $F(x)$ dibagi menjadi bagian-bagian yang sangat kecil dengan cara membuat persegi panjang dengan lebar Δx dengan tinggi mengikuti kurva $F(x)$ seperti terlihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Daerah di bawah kurva $F(x)$ dibagi-bagi menjadi bagian-bagian yang kecil

Melalui cara ini dapat diperoleh besarnya usaha yang dilakukan oleh $F(x)$ untuk setiap pergeseran Δx sebesar:

$$\Delta W = F(x) \Delta x \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Sekarang dapat dihitung besarnya usaha total yang dilakukan oleh gaya $F(x)$ untuk melakukan pergeseran sejauh x . Hal ini dilakukan dengan cara menjumlahkan luas seluruh bagian persegi panjang melalui persamaan:

$$W = \sum F(x) \Delta x \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

Persamaan tersebut merupakan jumlahan luas total daerah di bawah kurva $F(x)$. Namun, terlihat masih terdapat eror pada penjumlahan tersebut, yakni dijumpai beberapa luasan yang tidak tercover oleh persegi panjang. Keadaan ini dapat diminimalisir dengan cara membuat Δx sekecil mungkin, $\Delta x \rightarrow 0$. Secara matematis dapat dinyatakan dengan:

$$W = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum F(x) \Delta x \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

Atau dalam bentuk integral dinyatakan dengan:

$$W = \int_{x1}^{x2} F(x) dx \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

Demikianlah strategi yang dapat digunakan untuk menghitung usaha oleh gaya yang tidak konstan.

4.1.2 ENERGI

Energi sering juga disebut dengan tenaga. Dalam kehidupan sehari-hari energi dihubungkan dengan gerak, misal orang yang energik artinya orang yang selalu bergerak tidak pernah diam. Energi dihubungkan juga dengan kerja. Jadi *Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja*. Satuan energi adalah joule (J)

Dalam Fisika energi dihubungkan dengan gerak, yaitu kemampuan untuk melakukan kerja mekanik. Benda dikatakan memiliki energi jika benda tersebut mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha. Energi di alam adalah besaran yang kekal, dengan sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Transformasi energi : energi dapat diubah menjadi energi bentuk lain, tidak dapat hilang.

Contoh:

- Mesin mobil, energy kimia yang disimpan dalam bahan bakar, sebagian diubah menjadi energy gerak mobil dan sebagian menjadi energy thermal/panas.
- Oven microwave, energy elektromagnetik

- b. Transfer energi : energi dapat dipindahkan dari suatu benda ke benda lain atau dari sistem ke sistem lain,

Contoh:

- kita memasak air, energi dari api pindah ke air menjadi energi panas, energi panas atau kalor dipindah lagi ke uap menjadi energi uap

- c. Kerja : energi dapat dipindah ke sistem lain melalui gaya yang menyebabkan pergeseran, yaitu kerja mekanik

- d. Energi tidak dapat dibentuk dari nol dan tidak dapat dimusnahkan

Macam-macam energi:

- a. Energi mekanik
 - Energi kinetik
 - Energi potensial
- b. Energi kalor
- c. Energi kimia

d. Energi elektromagnetik:

- Energi listrik
- Energi magnet
- Energi cahaya

e. Energi nuklir

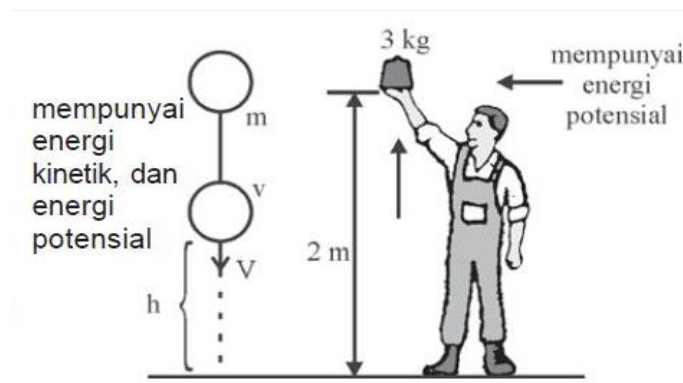
4.2. ENERGI KINETIK DAN ENERGI POTENSIAL

Energi mekanik adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya atau posisinya. Di dalam fisika, energi mekanik adalah hasil penjumlahan dari energi potensial dan energi kinetik yang hadir di dalam komponen-komponen sistem mekanis. Secara matematis energi mekanik dapat dinyatakan dengan rumus:

$$E_m = E_p + E_k \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

Di mana:

- E_m = energi mekanik
- E_p = energi potensial
- E_k = energi kinetik



Gambar 4.12 Contoh ilustrasi energi mekanik

4.2.1 Energi kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya. Ketika benda bergerak, benda memiliki kecepatan, energi kinetik

merupakan energi yang dimiliki benda karena gerakannya atau kecepatannya (Gambar 4.13). Energi kinetik dipengaruhi oleh massa benda dan kecepatannya.

Energi kinetik suatu benda didefinisikan sebagai usaha yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah benda dengan massa tertentu (m) dari keadaan awal (v_0) hingga mencapai kecepatan tertentu (v_t).



Gambar 4.14 Energi kinetik benda

Pada Gambar 4.14, agar benda dipercepat beraturan sampai bergerak dengan laju v , pada benda tersebut harus diberikan gaya total yang konstan dan searah dengan arah gerak benda sejauh s . Untuk itu dilakukan usaha sebesar $W = F \cdot s$ (persamaan 4.1). Jika $F = m \cdot a$; dan benda memiliki kecepatan awal v_0 dan kecepatan akhir v_t , dan bergerak sejauh s , maka nilai percepatan a dapat dihitung menggunakan persamaan $v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$.

Jika $a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s}$ dimasukkan ke dalam persamaan gaya $F = m \cdot a$,

maka besarnya usaha:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot s = (m \cdot a) \cdot (s) = m \cdot \left(\frac{v_t^2 - v_0^2}{2s} \right) \cdot s \\ &= m \cdot \left(\frac{v_t^2 - v_0^2}{2} \right) = \frac{1}{2} m \cdot (v_t^2 - v_0^2) \\ &= \frac{1}{2} m v_t^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \end{aligned}$$

Jika $v_0 = 0$ maka

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

Sehingga secara matematis, besarnya energi kinetik benda dapat dinyatakan dengan rumus:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

Dimana :

E_k = energi kinetik (J)
 m = massa benda (kg)
 v = kecepatan benda (m/s)

Untuk pegas, energi kinetik dinyatakan dengan rumus:

$$E_k = \frac{1}{2} k x^2 \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

Dimana :

E_k = energi kinetik (J)
 k = massa benda (kg)
 v = kecepatan benda (m/s)

jika benda diam maka energi kinetik benda sama dengan nol ($v = 0$)

Contoh Soal:

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 30 m/s, jika massa mobil 750 kg, berapakah energi kinetik mobil tersebut. Ketika mobil direm berapakah energi kinetik mobil tersebut?

Diketahui: $m = 750$ kg
 $V = 30$ m/s

Ditanya: E_k ?

E_k pada saat mobil direm?

Jawab:

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 750 \cdot (30)^2 \\ &= 337.500 \text{ joule} \end{aligned}$$

Ketika mobil direm, $v = 0$ sehingga energi kinetiknya = 0. Energi tersebut tidak hilang tetapi berubah menjadi energi kalor (panas) dan energi bunyi.

2. Sebuah gerbong kereta api mempunyai energi kinetik sebesar 600.000 joule, jika massa gerbong tersebut 1000 kg, hitunglah kecepatan kereta api tersebut!

Diketahui: $E_k = 600.000$ joule
 $m = 1000$ kg

Ditanya: v ?

Jawab:

$$\begin{aligned}
 E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\
 v &= \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \\
 v &= \sqrt{\frac{2.600000}{1000}} = \sqrt{1200} \\
 &= 34.64 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

4.2.1 Energi Potensial

Secara umum, energi potensial diartikan sebagai energi yang tersimpan dalam sebuah benda atau dalam suatu keadaan tertentu. Energi potensial, karena masih tersimpan, sehingga baru bermanfaat ketika berubah menjadi energi lain. Misalnya pada air terjun, energi potensial diubah menjadi energi kinetik sehingga dapat menggerakkan turbin yang kemudian akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Dalam pengertian yang lebih sempit, yaitu dalam kajian mekanika, energi potensial adalah energi yang dimiliki benda karena kedudukan atau keadaan benda tersebut terhadap bidang acuannya. Yang dimaksud dengan bidang acuan adalah bidang yang diambil sebagai acuan tempat benda mempunyai energi potensial sama dengan nol. Sebagai contoh dari energi potensial, adalah energi pegas yang diregangkan, energi karet ketapel, energi air terjun.

Ada beberapa macam energi potensial dalam energi mekanik, yaitu:

a. Energi Potensial gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki suatu benda karena kedudukannya (ketinggiannya) terhadap suatu bidang acuan tertentu. Semakin tinggi benda di atas permukaan tanah, makin besar energi potensial yang dimiliki benda tersebut.

Secara matematis energi potensial gravitasi dapat diartikan sebagai hasil kali massa dengan tetapan gravitasi dibagi dengan jarak benda. Energi potensial gravitasi akan berubah seiring dengan perubahan posisinya terhadap gravitasi. Besar energi potensial gravitasi sama dengan usaha yang dibutuhkan untuk

memindahkan massa ke titik tertentu. Secara matematis energi potensial gravitasi dapat dihitung dengan rumus:

$$E_p = W = -G \frac{M.m}{r} \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

Dimana:

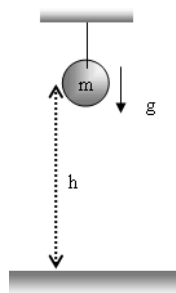
- E_p = energi potensial gravitasi (joule)
- W = usaha untuk memindahkan massa (joule)
- G = tetapan gravitasi ($\text{N.m}^2/\text{kg}^2$)
- M = massa benda pertama (kg)
- m = massa benda kedua (kg)
- r = jarak benda (kg)

Rumus (4.11) secara umum digunakan untuk menentukan energi potensial dua benda bermassa M dan m yang berjarak r satu sama lain. Tanda negative menunjukkan bahwa gaya gravitasi yang bekerja pada benda adalah gaya tarik. Tanda negative juga menandakan bahwa untuk memindahkan benda bermassa m ke titik jauh tak terhingga dibutuhkan usaha atau energi sebesar $G \cdot \frac{M.m}{r}$. Ketika sebuah benda dipindahkan pada ketinggian h di dekat permukaan bumi ($r \gg h$), maka energi potensial gravitasinya dapat dihitung dengan rumus:

$$E_p = m.g_o.h \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

Di mana:

- E_p = energi potensial gravitasi (joule)
- m = massa benda (kg)
- g_o = percepatan gravitasi di permukaan (m/s^2)
- h = ketinggian benda (m)



Gambar 4.15 Energi potensial gravitasi benda di permukaan bumi

Contoh Soal :

1. Seorang pembalap dan sepeda balapnya mempunyai massa 100 kg, bergerak menanjak mendaki sebuah gunung dengan ketinggian 500 m, kemudian menuruni sebuah lereng sejauh 7500 m. Tentukanlah :
 - a. Berapakah energi potensial dipuncak gunung dan ditempat pembalap berhenti dimana titik acuannya adalah ditempat sebelum pembalap menanjak ?
 - b. Berapakah perubahan energi potensial ketika pembalap menuruni lereng sampai berhenti ?

Diketahui:

Massa pembalap dan sepeda $m = 100 \text{ kg}$

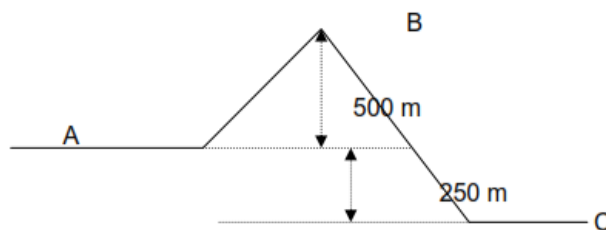
Percepatan gravitasi $g = 9.8 \text{ m/s}$

Ditanya: E_p ?

ΔE_p ?

Jawab :

Misalkan pada awal tanjakan titik A, puncak gunung titik B dan tempat berhenti titik C lihat gambar :



Gambar 4.16 Posisi pembalap

- a. Titik A kita ambil sebagai acuan, artinya pada kedudukan A tingginya $h_A = 0$, ketinggian B dan C terhadap A adalah :
 $h_B = \pm 500 \text{ m}$ dan $h_C = -250 \text{ m}$

Maka energi potensial B dan C adalah:

$$\begin{aligned} E_{PB} &= m \cdot g \cdot h_B \\ &= 100 \times 9.8 \times 500 \\ &= 490\,000 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{PC} &= m \cdot g \cdot h_C \\ &= 100 \times 9.8 \times (-250) \end{aligned}$$

$$= - 245000 \text{ J}$$

b. Perubahan energi potensial dari B ke C

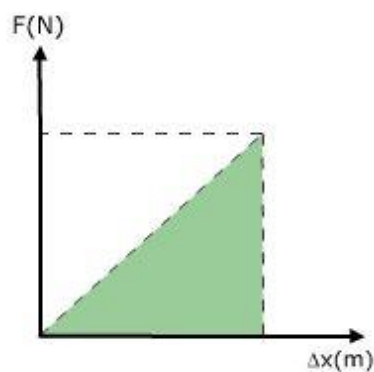
$$\begin{aligned}\Delta E_p &= E_{PC} - E_{PB} \\ &= -245000 - 490000 \\ &= - 735\,000 \text{ J}\end{aligned}$$

Tanda minus menyatakan bahwa energi potensial berkurang sebesar 735000 J ketika pembalam menuruni lereng dari puncak gunung sampai dia berhenti.

b. Energi potensial pegas

Energi potensial pegas adalah energi potensial karena adanya tarikan atau penekanan pegas atau kemampuan suatu benda yang dihubungkan dengan pegas untuk berada pada suatu tempat karena panjang pegas berubah sepanjang x . Sebuah pegas yang ditarik dengan gaya F , akan menyebabkan pegas meregang (bertambah panjang). Besarnya energi yang dibutuhkan untuk meregangkan pegas sama dengan energi yang tersimpan pada pegas, inilah yang disebut Energi Potensial Pegas

Hubungan antar pertambahan panjang pegas (x) terhadap besarnya gaya (F) dilukiskan dalam grafik:



Gambar 4. 17 Hubungan pertambahan panjang pegas (x) dengan gaya (F)

Besar Energi Potensial Pegas (E_p) sama dengan Luasan segitiga yang diarsir, dapat dinyatakan dengan rumus:

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

$$E_p = \frac{1}{2} k \cdot \Delta x^2 \quad \text{atau} \quad E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad \dots\dots\dots(4.13)$$

Di mana:

- E_p = energi potensial pegas (joule)
- F = gaya yang bekerja pada pegas (Newton)
- k = konstanta pegas (N/m)
- Δx atau x = perubahan panjang pegas (m)

Contoh soal:

1. Sebuah pegas memiliki konstanta pegas 200 Nm^{-1} . Pegas diregangkan sehingga bertambah panjang 10 cm. Tentukanlah energi potensial elastis pegas.

Diketahui :

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

$$\Delta x = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Ditanyakan : E_p ?

Jawab :

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

$$= \frac{1}{2} 200 \cdot (0,1)^2$$

$$= 1 \text{ Joule}$$

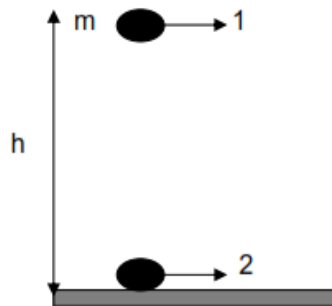
4.3. KEKALKAN ENERGI MEKANIK

Usaha yang dilakukan gaya gravitasi dari suatu titik ke titik lain tidak bergantung pada jalan yang ditempuh. Jumlah energi kinetik dan energi potensial di dalam medan gravitasi konstan. Jumlah energi kinetik dan energi potensial ini disebut energi mekanik.

Sebagai contoh, benda dengan massa m dijatuhkan bebas dari titik A, dengan ketinggian h , benda mempunyai energi potensial E_p terhadap permukaan

bumi. Energi potensial ini berkurang selama perjalanan menuju bumi dan energi kinetiknya bertambah. Tetapi jumlah energi kinetik dan energi potensialnya di setiap titik pada lintasannya selalu tetap.

Jumlah energi kinetik dan energi potensial dititik 1 sama dengan jumlah energi kinetik dan potensial dititik 2.



Gambar 4.18 Benda bermassa m jatuh dari ketinggian h

$$\begin{aligned} E_m &= E_k + E_p \\ &= \text{konstan} \\ &= C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{k1} + E_{p1} &= E_{k2} + E_{p2} \\ \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 &= \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \end{aligned} \quad \text{.....(4.15)}$$

Jumlah energi kinetik dan energi potensial ini yang disebut energi mekanik. Hal ini dikenal sebagai **Hukum kekekalan energi mekanik** yang berbunyi : Jika pada suatu sistem hanya bekerja gaya-gaya yang bersifat konservatif, maka energi mekanik sistem pada posisi apa saja selalu tetap dengan kata lain energi mekanik pada posisi akhir sama dengan energi mekanik pada posisi awal.

Contoh Soal :

1. Sebuah benda dengan 2 kg dilemparkan vertikal ke atas dari permukaan bumi dengan kecepatan awal 40 m/s. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan gesekan udara diabaikan, hitunglah ketinggian maksimum yang dapat dicapai benda dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik.

Jawab :

Ambil titik awal berangkat sebagai titik 1 dan titik ketinggian maksimum disebut titik 2, maka menurut hukum kekekalan energi mekanik.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

Ambil titik awal berangkat sebagai bidang potensial nol dan arah ke atas sebagai arah positif

$$h_1 = 0$$

$$v_2 = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (40)^2 + 2 \cdot 10 \cdot 0 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0^2 + 2 \cdot 10 \cdot h_2$$

$$1600 = 20h_2$$

$$h_2 = 80 \text{ meter}$$

Jadi ketinggian maksimum yang dicapai adalah 80 meter

2. Sebuah benda jatuh dari ketinggian 6 meter dari atas tanah. Berapa kecepatan benda tersebut pada saat mencapai ketinggian 1 meter dari tanah, bila percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 ?

Diketahui:

$$h_1 = 6 \text{ m}$$

$$h_2 = 1 \text{ m}$$

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

Ditanya: v ?

Jawab:

$$\begin{aligned}
E_{p1} + E_{k1} &= E_{p2} + E_{k2} \\
mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 &= mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \\
gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 &= gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2 \\
v_1 = 0 &\rightarrow gh_1 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2 \\
10\text{ m/s}^2 = 10\text{ m/s} \cdot 1\text{ m} + \frac{1}{2}v_2^2 \\
60\text{ m}^2/\text{s}^2 &= 10\text{ m}^2/\text{s}^2 + \frac{1}{2}v_2^2 \\
50\text{ m}^2/\text{s}^2 &= \frac{1}{2}v_2^2 \\
v_2^2 &= 100\text{ m}^2/\text{s}^2 \\
v_2 &= 10\text{ m/s}
\end{aligned}$$

Jadi kecepatan benda pada saat mencapai ketinggian 1m dari tanah adalah 10 m/s

4.4. MOMENTUM

Setiap benda yang bergerak mempunyai momentum, yaitu kecenderungan benda untuk terus bergerak. Momentum linear atau momentum dari sebuah benda tergantung pada masa dan kecepatan benda. Sehingga momentum dapat didefinisikan sebagai hasil kali massa dan kecepatannya. Jika ditentukan m menyatakan masa sebuah benda dan v kecepatan benda tersebut, maka besarnya momentum p dari sebuah benda tersebut adalah:

$$p = m v \quad \text{..... (4.16)}$$

dengan

p = momentum (kg.m/s)

m = massa (kg)

v = kecepatan (m/s)

Dari persamaan (4.16) dapat disimpulkan momentum suatu benda akan semakin besar jika massa dan kecepatannya semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil massa atau kecepatan suatu benda maka akan semakin kecil pula momentumnya.

Dalam kehidupan sehari-hari, momentum terjadi pada peristiwa tabrakan beruntun. Misalkan sebuah mobil tronton yang melaju dengan kecepatan tinggi (v) tiba-tiba menabrak mobil di depannya. Ternyata setelah tabrakan mobil sulit sekali untuk dihentikan dan terus bergerak sehingga mobil terseret beberapa meter dari lokasi tabrakan. Jika mobil memiliki kecepatan tinggi dan massa semakin besar, mobil akan terus bergerak dan sulit dihentikan.



Gambar 4.19 Momentum terjadi pada tabrakan kendaraan bermotor

Contoh soal:

1. Sebuah benda bermassa 1 ton, bergerak dengan kecepatan 90 km/jam. Berapa momentum yang dimiliki benda tersebut?

Jawab:

Diketahui: $m = 1 \text{ ton} \rightarrow 1000 \text{ kg}$

$V = 90 \text{ km/jam} \rightarrow 25 \text{ m/s}$

Ditanya: $P = \dots?$

Jawab:

$$P = m \cdot v$$

$$= 1000 \cdot 25$$

$$= 25.000 \text{ kg.m/s}$$

2. Ada sebuah benda yaitu benda A bermassa 2 kg, bergerak kekanan dengan kelajuan 10 m/s. Benda B yang bermassa 7 kg bergerak ke kiri dengan kelajuan 4 m/s. Tentukan:

a. Momentum benda A

b. Momentum benda B

c. Momentum total benda A dan B

Diketahui: Benda A $\rightarrow m = 2 \text{ kg}; V = 10 \text{ m/s}$

Benda B $\rightarrow m = 7 \text{ kg}; V = 4 \text{ m/s}$

Ditanya: momentum A, momentum B, momentum C?

Jawab:

a. Momentum benda A

$$\begin{aligned} P &= m \cdot v \\ &= 2 \cdot 10 \\ &= 20 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

b. Momentum benda B

$$\begin{aligned} P &= m \cdot v \\ &= 7 \cdot 4 \\ &= 28 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

c. Momentum total benda A dan B

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_A + P_B \\ &= 20 + 28 \\ &= 48 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

Impuls adalah peristiwa gaya yang bekerja pada benda dalam waktu hanya sesaat. Atau Impuls adalah peristiwa bekerjanya gaya dalam waktu yang sangat singkat. Contoh dari kejadian impuls adalah: peristiwa seperti bola ditendang, bola tenis dipukul. Pada saat tendangan dan pukulan, gaya yang bekerja sangat singkat.

Impuls didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan waktu yang dibutuhkan gaya tersebut bekerja. Dari definisi ini dapat dirumuskan seperti berikut:

$$I = F \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

Dengan:

- I = impuls (kg.m/s)
- F = gaya (N atau kg.m/s²)
- Δt = selang waktu (s)

Impuls merupakan besaran vektor. Pengertian impuls biasanya dipakai dalam peristiwa besar di mana $F \gg$ dan $t \ll$. Jika gaya F tidak tetap (F fungsi dari waktu), maka rumus $I = F \cdot t$ tidak berlaku. Impuls dapat dihitung juga dengan cara menghitung luas kurva dari grafik F vs waktu t.

Contoh:

Sebuah bola ditendang dengan gaya sebesar 48N dalam waktu 0,8 sekon. berapakah besar impuls pada saat kaki menyentuh bola.

Jawab:

Diketahui: $F = 48\text{N}$

$$\Delta t = 0,8 \text{ s}$$

$$I = \dots\dots?$$

$$I = F \cdot \Delta t$$

$$= 48 \times 0,8$$

$$= 38,4 \text{ kg.m/s}$$

Impuls itu sama dengan perubahan momentum. Suatu partikel dengan massa m bekerja gaya F konstan, maka setelah waktu Δt massa partikel tersebut bergerak dengan kecepatan $v_v = v_o + at$ seperti halnya materi yang bergerak lurus beraturan. Menurut hokum newton ke-2 $F = m.a$ dengan substitusi kedua persamaan tersebut ke dalam persamaan impuls, diperoleh:

$$I = F.\Delta t = m.v_2 - m.v_1 \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

Dengan:

m = massa (kg)

v_1 = kecepatan awal (m/s)

v_2 = kecepatan akhir (m/s)

Contoh soal:

Sebuah benda diam memiliki massa 500 g, setelah mendapat gaya, kecepatannya 25 m/s. berapa besar impuls tersebut?

Diketahui: $m = 500 \text{ gr} \rightarrow 0,5 \text{ kg}$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 25 \text{ m/s}$$

$$I = m.v_2 - m.v_1$$

$$= 0,5.25 - 0,5.0$$

$$= 12,5 \text{ kg.m/s}$$

Besarnya impuls sangat sulit untuk diukur secara langsung. Namun, ada cara yang lebih mudah untuk mengukur impuls yaitu dengan bantuan momentum.

Berdasarkan hukum Newton II, apabila suatu benda dikenai suatu gaya, benda akan dipercepat. Besarnya percepatan rata-rata adalah:

$$a = \frac{F}{m} \quad \dots\dots\dots (4.19)$$

Dengan:

a = percepatan (m/s

F = gaya (N)

m = massa benda (kg)

Sehingga terdapat hubungan antara impuls dan momentum:

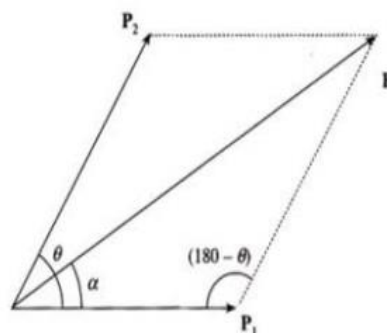
$$\begin{aligned} \frac{F}{m} &= \frac{v_t - v_o}{\Delta t} \\ F \cdot \Delta t &= m \cdot (v_t - v_o) \\ I &= m \cdot v_t - m \cdot v_o \\ I &= p - p_o \\ I &= \Delta p \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.20)$$

Dengan:

I = impuls

Δp = perubahan momentum

Dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentumnya. Penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor, secara matematis: $p = p_1 + p_2$. Jika ada dua vektor momentum p_1 dan p_2 (Gambar 4.20), maka penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor.



Gambar 4. Aturan penjumlahan 2 vektor momentum

Besar vektor resultan momentum (aturan cosinus):

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 \cdot p_2 \cdot \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (4.20)$$

Arah vector resultan momentum (aturan sinus):

$$\frac{p}{\sin(180-\theta)} = \frac{p_2}{\sin \alpha}$$

$$\sin \alpha = \frac{p_2}{p} \sin \theta \quad \text{.....(4.21)}$$

Contoh soal:

Dalam sebuah permainan sepak bola, seorang pemain melakukan tendangan pinalti. Tepat setelah ditendang bola melambung dengan kecepatan 60 m/s. Bila gaya bendanya 300 N dan sepatu pemain menyentuh bola selama 0,3 s maka tentukan:

- Impuls yang bekerja pada bola
- Perubahan momentumnya,
- Massa bola

Diketahui: $v_t = 60 \text{ m/s}$

$$F = 300 \text{ N}$$

$$\Delta t = 0,3 \text{ s}$$

- Impuls yang bekerja pada bola sebesar:

$$\begin{aligned} I &= F \cdot \Delta t \\ &= 300 \cdot 0,3 \\ &= 90 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

- Perubahan momentum bola sama dengan besarnya impuls yang diterima:

$$\Delta p = 90 \text{ kg m/s}$$

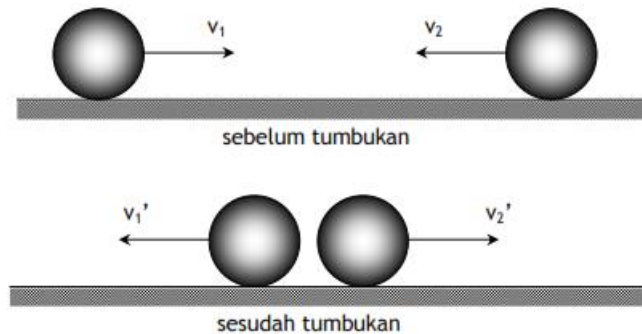
- Massa bola dapat ditentukan dengan hubungan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta p &= I \\ m \cdot \Delta v &= 90 \\ m \cdot (60-0) &= 90 \\ m &= 1,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.5. KEKEKALAN MOMENTUM

Dua benda bergerak saling mendekat dengan kecepatan v_1 dan v_2 seperti tampak pada gambar 4.21. Kedua bola akan bertumbukan sehingga setelah

tumbukan benda (1) akan berbalik arah ke kiri dengan kecepatan v_1' dan benda (2) akan berbalik arah ke kanan dengan kecepatan v_2' .



Gambar 4.22 Hukum kekekalan momentum pada peristiwa tumbukan partikel.

Pada semua peristiwa tumbukan akan berlaku hukum kekekalan momentum, sehingga pada proses tumbukan tersebut berlaku: *"momentum kedua benda sebelum tumbukan sama dengan momentum kedua benda setelah tumbukan"*.

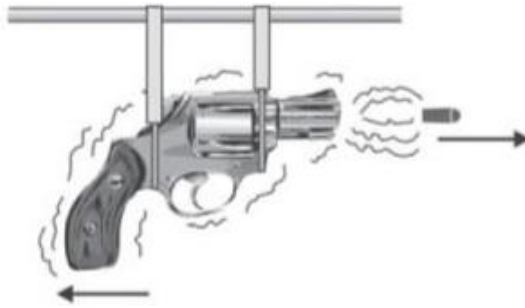
Sehingga berlaku persamaan:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad \dots\dots\dots(4.22)$$

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \quad \dots\dots\dots(4.23)$$

Persamaan di atas dinamakan hukum **Kekekalan Momentum**. Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa ***"jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem, maka momentum total sesaat sebelum sama dengan momentum total sesudah tumbukan"***. Ketika menggunakan persamaan ini, harus diperhatikan arah kecepatan tiap benda.

Contoh aplikasi dari hukum kekekalan momentum adalah pistol. Pada Gambar 4.23 tampak sebuah pistol yang digantung pada seutas tali. Saat peluru ditembakkan ke kanan dengan alat jarak jauh seperti remote, senapan akan tertolak ke kiri. Percepatan yang diterima oleh pistol ini berasal dari gaya reaksi peluru pada pistol (hukum Newton III).



Gambar 4.23 Hukum kekekalan momentum pada pistol

4.6. KEKEKALAN ENERGI DAN MOMENTUM PADA TUMBUKAN

Tumbukan atau lentingan bisa dikatakan juga sebagai pantulan, karna terjadi pada dua buah benda yang saling berpadu dan memantul akibat dari paduan tersebut. Pada pembahasan kali ini kita akan mempelajari tumbukan yang paling sederhana, yaitu Tumbukan Sentral. Tumbukan sentral adalah tumbukan yang terjadi bila titik pusat benda yang satu menuju ke titik pusat benda yang lain.

Peristiwa tumbukan antara dua buah benda dapat keduanya bergerak saling menjahui. Ketika benda tersebut mempunyai kecepatan dan massa, maka benda itu pasti memiliki momentum ($p = m \cdot v$) dan juga Energi kinetik ($EK = \frac{1}{2} m \cdot v^2$). Tumbukan dibedakan menjadi beberapa jenis:

1. Tumbukan lenting sempurna
2. Tumbukan lenting sebagian
3. Tumbukan tidak lenting sama sekali

Perbedaan tumbukan-tumbukan tersebut dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien tumbukan (koefisien restitusi) dari dua benda yang bertumbukan yang dinyatakan dengan persamaan:

$$e = -\left(\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}\right) \quad \dots\dots\dots (4.24)$$

Dengan :

e = koefisien restitusi ($0 \leq e \leq 1$)

Nilai koefisien restitusi mulai dari 0 hingga 1, dengan ketentuan:

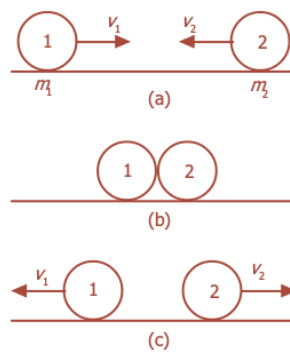
- Lenting Sempurna $e = 1$
- Lenting Sebagian $0 < e < 1$
- Tidak Lenting Sama Sekali $e = 0$

Ada beberapa macam tumbukan, yaitu

1. Tumbukan lenting sempurna

Tumbukan antara dua buah benda dikatakan lenting sempurna apabila jumlah energi kinetik benda sebelum dan sesudah tumbukan tetap, sehingga nilai koefisien restitusi sama dengan 1 ($e = 1$). Sehingga pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik, persamaan yang digunakan adalah :

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad \text{dan} \quad 1 = - \left(\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} \right) \quad \dots\dots\dots (4.25)$$



Gambar 4.24 Tumbukan lenting sempurna

Contoh soal:

Sebuah mobil mainan bermassa 1 kg mula-mula bergerak ke kanan dengan laju 10 m/s. Mobil mainan tersebut menabrak mobil kedua yang bermassa 1,5 kg yang bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Berapakah kecepatan mobil ,ainan ini jika tumbukan dianggap lenting sempurna?

Diketahui: $m_1 = 1 \text{ kg}$ $m_2 = 1,5 \text{ kg}$
 $v_1 = 10 \text{ m/s}$ $v_2 = 5 \text{ m/s}$

Ditanya: $v_1' = \dots?$
 $v_2' = \dots?$

Jawab:

$$1 = - \left(\frac{v_1' - v_2'}{10 - 5} \right) \quad \rightarrow \quad 5 = -v_1' + v_2' \quad \dots\dots(i)$$

$$\begin{aligned} 1 \cdot 10 + 1,5 \cdot 5 &= 1 \cdot v_1' + 1,5 \cdot v_2' \\ 10 + 7,5 &= v_1' + 1,5 \cdot v_2' \\ 17,5 &= v_1' + 1,5 \cdot v_2' \quad \dots\dots(ii) \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan (i) dan (ii):

$$\begin{array}{rcl}
 5 = -v_1' + v_2' & & 5 = -v_1' + v_2' \\
 \frac{17,5 = v_1' + 1,5.v_2'}{22,5 = 0 + 2,5.v_2'} + & \Rightarrow & 5 = -v_1' + 9 \\
 22,5 = 2,5.v_2' & & v_1' = 9 - 5 \\
 v_2' = 9 \text{ m/s} & & v_1' = 4 \text{ m/s}
 \end{array}$$

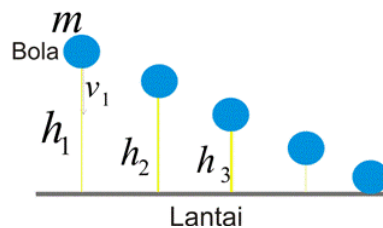
2. Tumbukan lenting sebagian

Ketika kita menjatuhkan sebuah bola karet dari ketinggian tertentu di atas lantai, maka bola akan memantul. Setelah mencapai titik tertinggi, bola akan jatuh lagi dan memantul lagi setelah mengenai lantai. Begitu seterusnya hingga bola akhirnya berhenti. Hal yang perlu kita perhatikan adalah ketinggian maksimal yang dicapai pada setiap tahap pemantulan selalu berbeda. Pada pemantulan pertama, bola mencapai titik tertinggi yang lebih rendah dari pantulan pertama begitu seterusnya.

Kenyataan ini memberikan arti bahwa kecepatan bola sebelum menumbuk lantai lebih besar dari kecepatan bola setelah tumbukan. Sehingga koefisien restitusi pada kejadian ini berkisar antara nol sampai satu ($0 < e < 1$). Tumbukan seperti ini disebut tumbukan lenting sebagian atau tumbukan elastis sebagian.

Pada jenis tumbukan ini berlaku Hukum Kekekalan momentum dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik karena terjadi perubahan nilai E_k . Nilai koefisien restitusi adalah pecahan ($0 < e < 1$).

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \right) \quad \dots\dots\dots (4.26)$$



Gambar 4.25 Tumbukan lenting sebagian

Pada tumbukan yang terjadi pada benda yang jatuh dari ketinggian h meter: $v_A = \sqrt{2gh}$, v_B sebagai v_B lantai, yaitu 0 (baik v_B maupun v_B'), sehingga:

$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B} \rightarrow e = -\frac{v_A'}{v_A} \rightarrow e = \sqrt{\frac{2gh'}{-2gh}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h'}{h}} \quad \dots\dots\dots (4.27)$$

Contoh soal:

Sebuah bola tenis dilepas dari ketinggian 200 m. Jatuh mengenai lantai hingga elastis sebagian. Hitunglah tinggi pemantulan pertama yang dapat oleh bola tenis! ($e=0,2$)

Diketahui: $h_1 = 200$ m

$$e = 0,2$$

Ditanya: $h_2 = \dots\dots?$

Jawab:

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$0,2 = \sqrt{\frac{h_2}{200}}$$

$$0,04 = \frac{h_2}{200}$$

$$h_2 = 0,04 \cdot 200 = 8m$$

Jadi tinggi bola setelah memantul adalah 8 m.

3. Tumbukan tidak lenting sama sekali

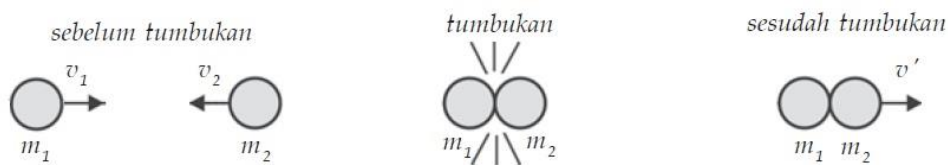
Tumbukan tidak elastis sama sekali terjadi apabila dua benda setelah tumbukan menjadi satu dan bergerak bersama-sama. Contoh sederhana dari tumbukan tidak elastis sama sekali adalah tumbukan dua bola yang akhirnya bergabung menjadi satu yang akhirnya bergerak bersama dengan kecepatan yang sama pula. Kejadian ini dapat dijelaskan dengan hukum kekekalan momentum.

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, berlaku persamaan:

$$0 = -\left(\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}\right)$$

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2}m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2'^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2\right)$$

Dimana: $v_1' = v_2'$



Gambar 4.26 Tumbukan tidak lenting sama sekali

Contoh soal:

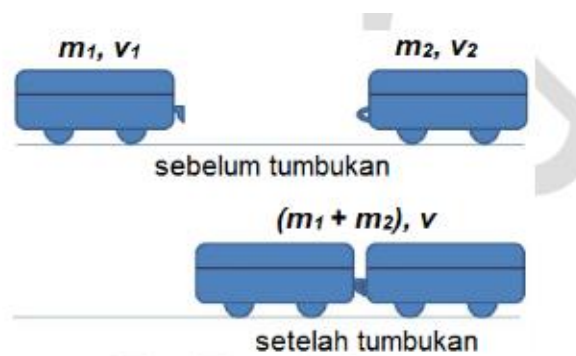
Sebuah gerbong kereta api 15.000 kg yang berjalan dengan kecepatan 16 m/s menumbuk gerbong serupa lain yang sedang berhenti. Jika kedua gerbong tersebut tersambung akibat dari tumbukan, tentukan:

- Kecepatan sambungan kereta tersebut?
- Berapa energi kinetik awal yang hilang?

Diketahui: $m_1 = 15.000 \text{ kg}$,
 $m_2 = 15.000 \text{ kg}$,
 $v_1 = 16 \text{ m/s}$
 $v_2 = 0 \text{ m/s}$.

- Ditanyakan: a. v ?
 b. E_K yang hilang (energi kinetik yang berubah menjadi energi lain)?

Jawab:



Gambar 4.27 Skema gambar tumbukan kereta

Jawab:

a. Hk Kekekalan momentum: $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$

Karena tumbukan tidak lenting sama sekali maka:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 &= (m_1 + m_2) \cdot v \\ 15000 \cdot 16 + 0 &= (15000 + 15000) v \\ v &= \frac{15000 \cdot 16}{30000} = 8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. Energi kinetik sebelum tumbukan:

$$\begin{aligned} E_{k \text{ sebelum}} &= \frac{1}{2} \cdot 15000 \cdot (16)^2 + 0 \\ E_{k \text{ sebelum}} &= 1,92 \cdot 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

Energi setelah tumbukan

$$\begin{aligned} E_{k \text{ setelah}} &= \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2'^2 \\ &= \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 \\ &= \frac{1}{2} (15000 + 15000) \cdot 8^2 \\ &= 0,96 \cdot 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

Energi yang dirubah menjadi bentuk lain adalah:

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= E_{k \text{ setelah}} - E_{k \text{ sebelum}} \\ &= (1,92 \cdot 10^6 - 0,96 \cdot 10^6) \text{ J} \\ &= 0,96 \text{ J} \end{aligned}$$

4.7. SOAL DAN LATIHAN

1. Benda dengan massa 3 kg berada di dalam lantai elevator. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan usaha oleh gaya normal dan gaya gravitasi jika :
 - a. Elevator bergerak ke atas dengan kecepatan konstan 4 m/s sejauh 10 meter ?
 - b. Elevator bergerak ke atas dengan percepatan konstan 4 m/s² sejauh 10 meter?

- c. Elevator bergerak ke bawah dengan percepatan konstan 4 m/s^2 sejauh 10 meter?
2. Sebuah balok terletak pada lantai yang licin diberi gaya 10 N, sehingga menghasilkan usaha sebesar 36 J dan balok berpindah tempat, jika gaya yang diberikan membentuk sudut 30° dengan bidang datar. Hitunglah berapa jauh balok berpindah tempat ?
3. Barapakah tinggi yang dapat dicapai oleh sebuah benda yang bermassa 60 kg, jika diberi energi sebesar 36 000 J ?
4. Sebuah peluru ($m = 0,4 \text{ kg}$) ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Tentukan energi kinetik peluru tersebut pada saat :
- Ditembakkan ?
 - Peluru menempuh jarak 40 m ?
 - Peluru mencapai titik tertinggi ?
 - Peluru melewati kembali titik pada saat ditembakkan ?
5. Bola seberat 5 newton bergerak dengan kelajuan 3 m/s dan menumbuk sentral bola lain yang beratnya 10 N dan bergerak berlawanan arah dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah kelajuan masing-masing bola sesudah tumbukan, bila:
- koefisien restitusinya $1/3$
 - tumbukan tidak lenting sama sekali
 - tumbukan lenting sempurna.
6. Seorang pemain bisbol akan memukul bola yang datang padanya dengan massa 4 kg dengan kecepatan 20 m/s, bola bersentuhan dengan pemukul dalam waktu 0,02 detik sehingga bola berbalik arah dengan kecepatan 30 m/s.
- Carilah besar momentum awal
 - Carilah besar momentum akhir
 - Carilah besar perubahan momentumnya.
 - Carilah besar impulsnya.