

FISIKA

USAHA DAN ENERGI

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami konsep usaha dan energi.
2. Menjelaskan hubungan antara usaha dan energi.
3. Memahami konsep daya.

A. USAHA

Usaha merupakan hasil perkalian skalar antara gaya F dan perpindahan s yang terjadi. Secara matematis, usaha dirumuskan sebagai berikut.

$$W = F \cdot s$$

Keterangan:

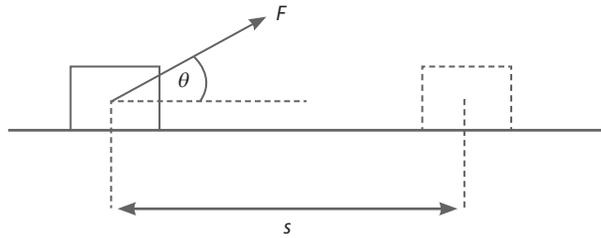
W = usaha (J);

F = gaya (N); dan

s = perpindahan benda (m).

Usaha dibedakan menjadi dua, yaitu usaha positif dan usaha negatif. Usaha positif terjadi jika gaya yang bekerja searah dengan perpindahan benda, sedangkan usaha negatif terjadi jika gaya yang bekerja berlawanan arah dengan perpindahan benda.

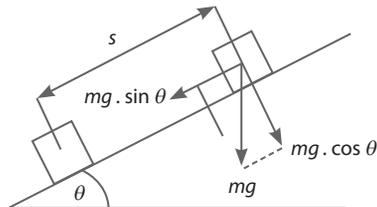
a. Usaha pada Bidang Datar



Jika sudut yang dibentuk oleh gaya F dan perpindahan benda s adalah θ , maka usaha yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$W = (F \cos \theta) s$$
$$W = F s \cos \theta$$

b. Usaha pada Bidang Miring



Jika benda terletak pada bidang miring licin seperti gambar di atas, maka usaha yang dilakukan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$W = (mg \sin \theta) s$$
$$W = mgs \sin \theta$$

Contoh Soal

1. Gaya sebesar 80 N bekerja pada sebuah benda. Jika arah gaya membentuk sudut 30° terhadap bidang horizontal dan benda berpindah sejauh 50 m, maka besarnya usaha yang dilakukan oleh benda tersebut adalah ($\sqrt{3} = 1,7$)

Pembahasan:

Diketahui:

$$F = 80 \text{ N}$$

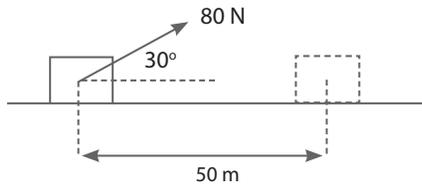
$$s = 50 \text{ m}$$

$$\theta = 30^\circ$$

Ditanya: $W = \dots?$

Jawab:

Permasalahan pada soal dapat digambarkan sebagai berikut.



Dengan demikian, diperoleh:

$$W = F \cdot \cos 30^\circ \cdot s$$

$$= 80 \cdot \left(\frac{1}{2}\sqrt{3}\right) \cdot 50$$

$$= 2.000 \sqrt{3} \approx 3.400 \text{ J}$$

Jadi, besarnya usaha yang dilakukan oleh benda adalah 3.400 J.

2. Sebuah benda meluncur di atas papan kasar sejauh 7 m. Jika benda mendapat perlawanan gesekan dengan papan sebesar 120 N, maka besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya gesek tersebut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$f_g = 120 \text{ N}$$

$$s = 7 \text{ m}$$

Ditanya: $W = \dots?$

Jawab:

Oleh karena arah gaya gesek berlawanan dengan perpindahan benda, maka usaha yang dilakukan merupakan usaha negatif. Besarnya usaha negatif tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$$W = -f_g \cdot s$$

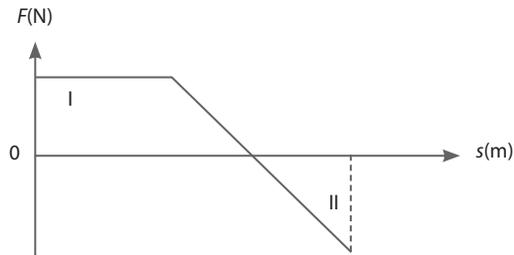
$$= (-120) (7)$$

$$= -840 \text{ J}$$

Jadi, besarnya usaha oleh gaya gesek tersebut adalah 840 J.

c. Menghitung Usaha dari Grafik

Selain menggunakan persamaan, usaha juga dapat dihitung melalui grafik, yaitu grafik antara gaya dan perpindahan (F-s). Perhatikan gambar berikut.



Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa usaha yang dilakukan sama dengan luas daerah yang dibatasi oleh grafik dan sumbu s .

1. Usaha bernilai positif jika luas daerah berada di atas sumbu s (luas daerah I)
2. Usaha bernilai negatif jika luas daerah berada di bawah sumbu s (luas daerah II)

Dengan demikian, besarnya usaha yang dilakukan berdasarkan grafik tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W &= \text{Luas I} - \text{Luas II} \\ &= \text{Luas trapesium} - \text{Luas segitiga} \end{aligned}$$

B. ENERGI

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan usaha. Energi bersifat kekal dan dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Berikut ini merupakan beberapa jenis energi.

a. Energi Kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki benda karena gerakan atau kecepatannya. Secara matematis, energi kinetik dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

EK = energi kinetik (J);

m = massa benda (kg); dan

v = kecepatan benda (m/s^2).

b. Energi Potensial

Energi potensial merupakan energi yang dimiliki benda karena keadaan atau kedudukannya. Secara matematis, energi potensial dirumuskan sebagai berikut.

$$EP = m \cdot g \cdot h$$

Keterangan:

EP = energi potensial (J);

m = massa benda (kg);

g = percepatan gravitasi (m/s^2); dan

h = ketinggian benda dari acuan (m).

c. Energi Potensial Pegas

Energi potensial pegas merupakan energi yang tersimpan dalam pegas saat diregangkan atau dimampatkan. Secara matematis, energi potensial pegas dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

EP = energi potensial pegas (J);

k = konstanta pegas (N/m); dan

Δx = perubahan panjang pegas (m).

d. Energi Mekanik

Energi mekanik merupakan jumlah energi potensial dan energi kinetik. Energi mekanik suatu benda akan bernilai tetap jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda tersebut. Inilah yang disebut dengan hukum kekekalan energi mekanik. Secara matematis, energi mekanik dirumuskan sebagai berikut.

$$EM = EP + EK$$

Keterangan:

EM = energi mekanik (J);

EP = energi potensial (J); dan

EK = energi kinetik (J).

Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 0,5 kg dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Hitunglah energi potensial benda saat benda mencapai titik tertinggi!

Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$v_o = 40 \text{ m/s}$$

Ditanya: $EP = \dots?$

Jawab:

Dengan menggunakan kekekalan energi mekanik, maka dapat ditentukan dua kondisi yaitu:

- Benda saat dilempar dengan kecepatan awal 40 m/s dan ketinggian nol, $EP_1 = 0$. Energi mekanik pada kondisi ini = EM_1 .
- Benda saat berada di ketinggian maksimum. Syarat benda mencapai ketinggian maksimum adalah $v = 0$, $EK_1 = 0$. Energi mekanik pada kondisi ini = EM_2 .

Dengan demikian, diperoleh:

$$EM_1 = EM_2$$

$$EK_1 + EP_1 = EK_2 + EP_2$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + 0 = 0 + EP_2$$

$$\frac{1}{2}0,5 \cdot (40)^2 = EP_2$$

$$EP_2 = 400 \text{ J}$$

Jadi energi potensial saat mencapai ketinggian maksimum adalah 400 J.

C. HUBUNGAN USAHA DAN ENERGI

a. Usaha dan Energi Kinetik

Usaha dapat diartikan sebagai perubahan energi kinetik pada suatu benda. Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.

$$W = \Delta EK = EK_2 - EK_1 = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$$

b. Usaha dan Energi Potensial

Usaha dapat pula diartikan sebagai perubahan energi potensial. Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.

$$W = \Delta EP = EP_2 - EP_1 = mg(h_2 - h_1)$$

Contoh Soal

1. Sebuah benda bermassa 5 kg jatuh bebas dari ketinggian 2 meter di hamparan pasir. Jika benda masuk sedalam 2 cm ke dalam pasir sebelum berhenti, maka besar gaya gesek yang dilakukan pasir terhadap benda adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 5 \text{ kg}$$

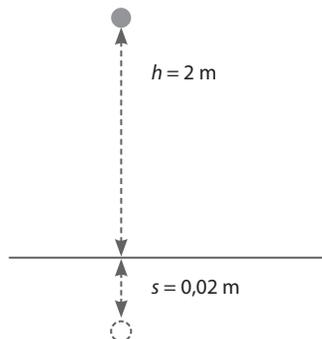
$$h = 2 \text{ m}$$

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

Ditanya: $f_g = \dots?$

Jawab:

Permasalahan pada soal dapat digambarkan sebagai berikut.



Usaha oleh gaya gesek sama dengan perubahan energi potensial benda sehingga:

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

Ingat, arah gaya gesek berlawanan dengan arah perpindahan benda sehingga usaha bernilai negatif!

Oleh karena ketinggian akhir benda sama dengan 0 ($EP_2 = 0$), maka:

$$\begin{aligned} -W_g &= -EP_1 \\ -f_g \cdot s &= -m \cdot g \cdot h \\ f_g &= \frac{m \cdot g \cdot h}{s} \\ &= \frac{5 \cdot 10 \cdot 2}{0,02} \\ &= 5.000\text{N} \end{aligned}$$

Jadi, besar gaya gesek yang dilakukan pasir terhadap benda adalah 5.000 N.

2. Benda bermassa 50 kg bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Besar gaya yang diperlukan agar benda tersebut berhenti 10 m dari tempat semula adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 50 \text{ kg}$$

$$v_o = 4 \text{ m/s}$$

$$v_t = 0 \text{ (benda berhenti)}$$

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

Ditanya: $F = \dots?$

Jawab:

Oleh karena usaha merupakan perubahan energi kinetik benda, maka:

$$W = \Delta EK$$

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

$$F \cdot 10 = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot (0^2 - 4^2)$$

$$F = -40\text{N}$$

Tanda negatif (-) menunjukkan bahwa arah gaya dan perpindahan benda berlawanan.

Jadi, besarnya gaya yang diperlukan agar benda berhenti 10 m dari tempat semula adalah 40 N.

3. Sebuah peluru bermassa 20 gram ditembakkan dengan kecepatan awal 40 m/s dan sudut elevasi 30° . Jika gesekan udara diabaikan, maka perbandingan energi potensial dan energi kinetik peluru pada titik tertinggi adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$v_0 = 40 \text{ m/s}$$

Ditanya: $EP : EK = \dots?$

Jawab:

Pada bab gerak parabola, kamu telah belajar bahwa pada titik tertinggi, peluru hanya memiliki kecepatan dalam arah mendatar (kecepatan dalam arah vertikal sama dengan nol) sehingga:

$$v_{0x} = v_{tx} = v_0 \cos \theta$$

$$\frac{EP}{EK} = \frac{mgh_{\text{maks}}}{\frac{1}{2}mv_{tx}^2} \quad \text{dengan } h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

$$\frac{EP}{EK} = \frac{mg \left(\frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \right)}{\frac{1}{2}m(v_0 \cos \theta)^2}$$

$$\frac{EP}{EK} = \frac{\sin^2 \theta}{\cos^2 \theta}$$

$$\frac{EP}{EK} = \tan^2 \theta$$

$$\frac{EP}{EK} = \tan^2 (30^\circ)$$

$$\frac{EP}{EK} = \frac{1}{3}$$

Jadi, perbandingan energi potensial dan energi kinetik peluru pada titik tertinggi adalah 1 : 3.

4. Sebuah benda bermassa 0,8 kg meluncur pada bidang datar licin dan mengenai sebuah pegas seperti pada gambar. Jika konstanta pegas $k = 2.000 \text{ N/m}$ dan kecepatan benda 4 m/s, maka besarnya perubahan panjang pegas setelah benda berhenti adalah



Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 0,8 \text{ kg}$$

$$k = 2.000 \text{ N/m}$$

$$v_o = 4 \text{ m/s}$$

$$v_t = 0$$

$$v = v_t - v_o = -4 \text{ m/s}$$

Ditanya: $\Delta x = \dots?$

Jawab:

Oleh karena usaha merupakan perubahan energi kinetik dan energi potensial, maka:

$$W = \Delta EP_{\text{pegas}}$$

$$\Delta EK = \Delta EP_{\text{pegas}}$$

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

$$\Delta x^2 = \frac{m \Delta v^2}{k}$$

$$\Delta x^2 = \frac{0,8(-4)^2}{2000}$$

$$\Delta x = 0,08 \text{ m}$$

Jadi, besarnya perubahan panjang pegas setelah benda berhenti adalah 0,08 m.

D. **DAYA**

Daya merupakan usaha per satuan waktu. Secara sistematis, daya dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

P = daya (watt);

W = usaha (J);

t = waktu (s);

F = gaya (N);

s = perpindahan (m); dan

v = kecepatan (m/s).

Contoh Soal

1. Sebuah motor penggerak pesawat dengan daya 7,5 MW mampu memberikan gaya dorong maksimum sebesar 30.000 N. Berapakah kecepatan maksimum pesawat tersebut?

Pembahasan:

Diketahui:

$$P = 7,5 \text{ MW} = 7,5 \times 10^6 \text{ W}$$

$$F = 30.000 \text{ N}$$

Ditanya: $v = \dots?$

Jawab:

Oleh karena $P = F \cdot v$, maka:

$$v = \frac{P}{F} = \frac{7,5 \times 10^6}{30.000} = 250 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan maksimum pesawat tersebut adalah 250 m/s.

2. Air terjun setinggi 20 m dengan debit 50 m³/s dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin PLTA. Jika 25% energi air dapat diubah menjadi energi listrik ($g = 10 \text{ m/s}^2$) dan massa jenis air 1000 kg/m³, maka daya keluaran generator adalah

Diketahui:

$$\Delta h = 20 \text{ m}$$

$$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya: $P = \dots?$

Dijawab:

Oleh karena usaha merupakan perubahan energi potensial (dengan efisiensi), maka:

$$W = 25\% \cdot \Delta EP$$

$$P \cdot t = 25\% \cdot m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$P = \frac{25\% \cdot m \cdot g \cdot \Delta h}{t}$$

$$= \frac{25\% \cdot \rho \cdot V \cdot g \cdot \Delta h}{t}$$

$$= 25\% \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$= 25\% \cdot 1000 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 20$$

$$= 2.500.000 \text{ W}$$

$$= 2.500 \text{ kW}$$

Jadi, daya keluaran generator (dalam kilowatt) adalah 2500 kW.