

4

B a b 4

Usaha, Energi, dan Daya



Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menganalisis gejala alam dan keteraturannya dalam cakupan mekanika benda titik dengan cara menganalisis hubungan antara usaha, perubahan energi, dan hukum kekekalan energi mekanik, serta menerapkan hukum kekekalan energi mekanik untuk menganalisis gerak dalam kehidupan sehari-hari.

Kehidupan manusia tidak pernah lepas dari usaha dan energi. Manusia membutuhkan energi agar dapat melakukan usaha. Tahukah Anda definisi usaha dalam Fisika? Benarkah suatu hari nanti energi yang digunakan untuk melakukan usaha tersebut akan habis?

Dalam Fisika, dikenal adanya Hukum Kekekalan Energi. Menurut hukum tersebut, energi yang digunakan oleh seorang atlet papan seluncur (*skateboard*) ketika melakukan peluncuran dari titik tertinggi hingga titik lain pada bidang luncur, jumlah energinya selalu sama atau konstan. Hanya saja, energi tersebut berubah dari energi potensial menjadi energi kinetik atau sebaliknya. Bagaimanakah cara menentukan besar energi potensial dan energi kinetik tersebut? Bagaimanakah hubungannya dengan usaha yang dilakukan oleh atlet *skateboard* untuk meluncur? Bagaimana juga hubungan usaha dan energi tersebut dengan kecepatan atlet *skateboard* untuk meluncur?

Agar Anda dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, pelajarilah pembahasan materi dalam Bab 4 ini yang akan menjelaskan tentang usaha, energi, dan daya dalam Fisika.

- A. Usaha**
- B. Energi**
- C. Daya**

Soal Pramateri

1. Menurut Anda, apakah yang dimaksud dengan usaha?
2. Sebutkan contoh-contoh energi yang Anda ketahui.
3. Cobalah Anda jelaskan tentang cara suatu energi berpindah.

A Usaha

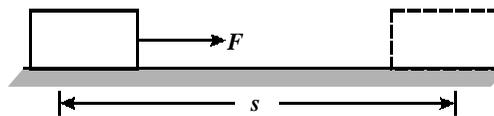
Kata usaha dalam kehidupan sehari-hari adalah berbagai aktivitas yang dilakukan manusia. Contohnya, Valentino Rossi berusaha meningkatkan kelajuan motornya untuk menjadi juara dunia *Moto GP* yang ke delapan kalinya, Ronaldinho berusaha mengecoh penjaga gawang agar dapat mencetak gol, dan Firdaus berusaha mempelajari Fisika untuk persiapan ulangan harian.

Anda pun dikatakan melakukan usaha saat mendorong sebuah kotak yang terletak di atas lantai. Besar usaha yang Anda lakukan bergantung pada besar gaya yang Anda berikan untuk mendorong kotak dan besar perpindahan kotak.

Dalam Fisika, usaha memiliki definisi yang lebih khusus. Jika Anda memberikan gaya konstan F pada suatu benda sehingga menyebabkan benda berpindah sejauh s , usaha W yang dilakukan gaya tersebut dinyatakan dengan

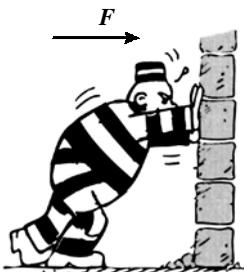
$$W = F \cdot s \quad (4-1)$$

dengan: F = gaya (N),
 s = perpindahan (m), dan
 W = usaha (Nm = joule).



Gambar 4.1

Sebuah balok yang berpindah sejauh karena gaya memiliki usaha = . . .



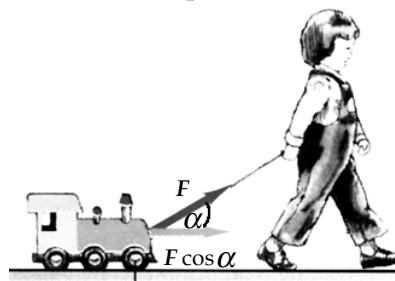
Sumber: conceptual physics, 1998

Gambar 4.2

Contoh gaya yang tidak menimbulkan perpindahan benda sehingga = 0.

Gambar 4.3

Gaya tarik yang dilakukan Juwita membentuk sudut α terhadap arah perpindahannya.



Sumber: contemporary college physics, 1993

Dengan demikian, gaya yang bekerja pada kereta api mainan membentuk sudut α terhadap arah perpindahannya. Oleh karena itu, besar usaha yang dilakukan gaya tersebut dinyatakan dengan persamaan

$$W = F \cos \alpha s \quad (4-2)$$

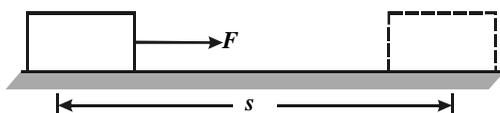
dengan α = sudut antara gaya dan perpindahan benda (derajat).

Kerjakanlah

Seekor anjing membawa sepotong kayu dimulutnya untuk dipindahkan ke suatu tempat, kemudian anjing tersebut memindahkan tulang yang dibawanya ke tempat semula. Menurut Anda, apakah anjing tersebut dikatakan melakukan usaha? Jelaskanlah pendapat Anda dan diskusikan pendapat Anda bersama teman-teman dan guru Fisika Anda.

Contoh 4.1

Sebuah benda yang beratnya 10 N berada pada bidang datar. Pada benda tersebut bekerja sebuah gaya mendatar sebesar 20 N sehingga benda berpindah sejauh 50 cm. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut?



Jawab

Diketahui: $W = 10 \text{ N}$, $F = 20 \text{ N}$, dan $s = 50 \text{ cm}$.

$$W = Fs$$

$$W = (20 \text{ N})(0,5 \text{ m}) = 10 \text{ joule}$$

Contoh 4.2

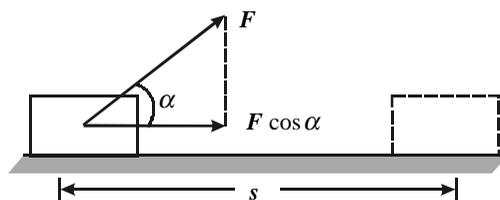
Sebuah gaya $F = (3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}) \text{ N}$ melakukan usaha dengan titik tangkapnya berpindah menurut $\mathbf{r} = (5\mathbf{i} + 5\mathbf{j}) \text{ m}$ dan vektor \mathbf{i} dan \mathbf{j} berturut-turut adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu- x dan sumbu- y pada koordinat Cartesian. Berapakah usaha yang dilakukan gaya tersebut?

Jawab

Diketahui: $F = (3\mathbf{i} + 4\mathbf{j})\text{N}$ dan $r = (5\mathbf{i} + 5\mathbf{j})\text{m}$.

$$W = F \cdot s \text{ atau } W = F \cdot r = (3\mathbf{i} + 4\mathbf{j})\text{N} \cdot (5\mathbf{i} + 5\mathbf{j})\text{m} = 15 + 20 = 35 \text{ joule}$$

Contoh 4.3



Sebuah balok bermassa 10 kg ditarik dengan gaya 50 N sehingga berpindah sejauh 8 m. Jika $\alpha = 60^\circ$ dan gesekan antara balok dan lantai diabaikan, berapakah usaha yang dilakukan gaya itu?

Jawab

Diketahui: $F = 50 \text{ N}$, $s = 8 \text{ m}$, dan $\alpha = 60^\circ$.

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

$$= (50 \text{ N})(\cos 60^\circ)(8 \text{ m})$$

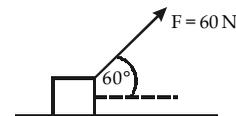
$$= (50 \text{ N})\left(\frac{1}{2}\right)(8 \text{ m})$$

$$= 200 \text{ joule.}$$

Solusi Cerdas

Sebuah benda $m = 4 \text{ kg}$ ditarik dengan gaya 60 N (lihat gambar). Usaha yang dilakukan gaya tersebut untuk memindahkan benda sejauh 5 m adalah ...

- 40 joule
- 75 joule
- 150 joule
- 200 joule
- 300 joule



Penyelesaian

$$= Fs$$

$$= 60 \cos (60^\circ) \cdot 5$$

$$= (60) \left(\frac{1}{2}\right) (5)$$

$$= 150 \text{ joule}$$

Jawab: c

Soal UNAS Fisika SMA
2003/2004

Jangan Lupa

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = 1 \text{ dan}$$

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{i} = 0$$

Kata Kunci

- Usaha

Soal Penguasaan Materi 4.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

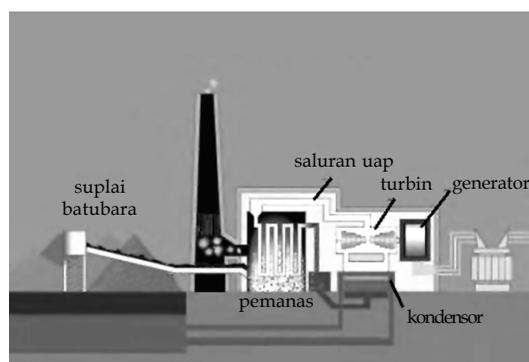
1. Sebuah batu besar berada pada jarak 30 m di depan kendaraan bermassa 600 kg yang sedang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Tentukanlah gaya pengereman yang harus diberikan pada kendaraan agar tepat berhenti sebelum mengenai batu.
2. Sebuah benda beratnya 60 N berada pada bidang datar. Pada benda tersebut bekerja sebuah gaya mendatar sebesar 40 N sehingga benda berpindah sejauh 2,5 m. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut?
3. Sebuah gaya $F = (2\mathbf{i} + 5\mathbf{j})$ N melakukan usaha dengan titik tangkapnya berpindah menurut $\mathbf{r} = (4\mathbf{i} + 3\mathbf{j})$ m. Vektor \mathbf{i} dan \mathbf{j} berturut-turut adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu- x dan sumbu- y pada koordinat Kartesian. Berapa usaha yang dilakukan gaya tersebut?

B Energi

1. Pengertian Energi

Energi memegang peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan kemajuan suatu negara. Seluruh aktivitas kehidupan manusia bisa dilakukan dengan melibatkan penggunaan energi. Pada zaman prasejarah sampai awal zaman sejarah, hanya kayu yang digunakan sebagai sumber energi untuk keperluan memasak dan pemanasan. Sekitar awal abad ke-13 mulai digunakan batubara. Penemuan mesin uap yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya pada abad ke-18 membawa perkembangan baru dalam kehidupan manusia. Mesin uap ini mampu menghasilkan energi yang cukup besar untuk menggerakkan mesin-mesin industri sehingga memacu api revolusi industri di Eropa, di mana energi mulai digunakan secara besar-besaran.

Pada awal abad ke-19, muncullah minyak bumi yang berperan sebagai sumber energi untuk pemanasan dan penerangan sehingga mulai menggantikan peran batubara. Kemudian, peran minyak bumi pun mulai digantikan oleh energi listrik pada akhir abad ke-19.

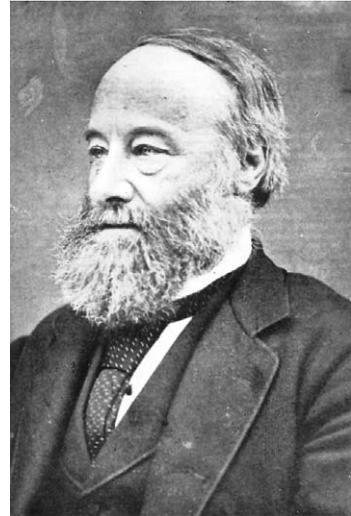


Gambar 4.4

Skema pembangkit listrik tenaga batubara.

Sumber: www.sceo.k.ca.us

Energi listrik dihasilkan dari proses pengubahan energi gerak putaran generator. Pada umumnya, sumber energi yang digunakan untuk memutar generator berasal dari minyak bumi, batubara, dan gas alam. Oleh karena energi listrik ini dihasilkan dari proses pengubahan energi lain yang tersedia di alam, energi listrik disebut juga energi sekunder. Energi listrik terus



Joule dilahirkan di Salford, Inggris. Ia mempelajari pengaruh pemanasan menggunakan aliran listrik dan menyadari bahwa panas adalah suatu bentuk energi. Namanya kemudian digunakan sebagai ukuran satuan energi.

Sumber: Jendela Iptek,

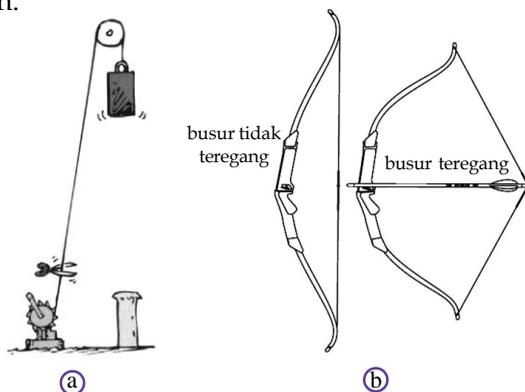
memegang peranan penting dalam kehidupan manusia sampai saat ini. Pada abad ke-20 ditemukan lagi alternatif sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, di antaranya energi panas bumi, nuklir, dan surya.

Apakah energi itu? Secara umum, dapat dikatakan bahwa energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Anda membutuhkan energi agar dapat berjalan, berlari, bekerja, dan melakukan berbagai aktivitas lainnya. Dari manakah energi yang Anda butuhkan untuk beraktivitas tersebut? Makanan dan minuman memberikan Anda energi kimia yang siap dibakar dalam tubuh sehingga akan dihasilkan energi yang Anda perlukan untuk melakukan usaha atau aktivitas sehari-hari. Mobil dan sepeda motor dapat bergerak karena adanya sumber energi kimia yang terkandung dalam bensin. Dapatkah Anda menyebutkan bentuk-bentuk energi lainnya yang Anda ketahui?

Energi baru dapat dirasakan manfaatnya apabila energi tersebut telah berubah bentuk. Contohnya, energi kimia dalam bahan bakar berubah menjadi energi gerak untuk memutar roda. Energi listrik berubah menjadi energi cahaya lampu, menjadi energi kalor pada setrika, *rice cooker*, *magic jar*, dan *dispenser*, serta menjadi energi gerak pada bor, mesin cuci, *mixer*, dan kipas angin.

2. Energi Potensial

Suatu benda dapat menyimpan energi karena kedudukan atau posisi benda tersebut. Contohnya, suatu beban yang diangkat setinggi h akan memiliki energi potensial, sementara busur panah yang berada pada posisi normal (saat busur itu tidak diregangkan) tidak memiliki energi potensial. Dengan demikian, energi potensial adalah energi yang tersimpan dalam suatu benda akibat kedudukan atau posisi benda tersebut dan suatu saat dapat dimunculkan.



Sumber: conceptual physics, 1998

Sumber: .photo ucket.com

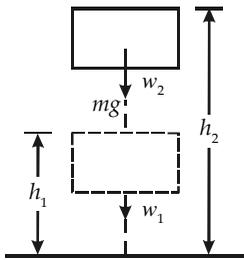
Energi potensial terbagi atas dua, yaitu energi potensial gravitasi dan energi potensial elastis. Energi potensial gravitasi ini timbul akibat tarikan gaya gravitasi Bumi yang bekerja pada benda. Contoh energi potensial gravitasi ini adalah seperti pada Gambar 4.5a. Jika massa beban diperbesar, energi potensial gravitasinya juga akan membesar. Demikian juga, apabila ketinggian benda dari tanah diperbesar, energi potensial gravitasi beban tersebut akan semakin besar. Hubungan ini dinyatakan dengan persamaan

$$EP = mgh \quad (4-3)$$

dengan: EP = energi potensial (joule),
 w = berat benda (newton) = mg ,
 m = massa benda (kg),
 g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2), dan
 h = tinggi benda (m).

Gambar 4.5

- (a) Beban yang digantung pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial gravitasi.
- (b) Busur yang teregang memiliki energi potensial elastis, sedangkan yang tidak teregang tidak memiliki energi potensial.



Gambar 4.6

Usaha yang ditimbulkan oleh gaya berat sebesar .

Sebuah benda yang berada pada suatu ketinggian tertentu apabila dilepaskan, akan bergerak jatuh bebas sebab benda tersebut memiliki energi potensial gravitasi. Energi potensial gravitasi benda yang mengalami jatuh bebas akan berubah karena usaha yang dilakukan oleh gaya berat.

Perhatikanlah **Gambar 4.6**. Apabila tinggi benda mula-mula h_1 , usaha yang dilakukan oleh gaya berat untuk mencapai tempat setinggi h_2 adalah sebesar:

$$W_w = mgh_1 - mgh_2$$

$$W_w = mg(h_1 - h_2)$$

$$W_w = -mg(h_2 - h_1) \quad (4-4)$$

dengan: W_w = usaha oleh gaya berat.

Oleh karena $mgh = EP$, perubahan energi potensial gravitasinya dapat dinyatakan sebagai ΔEP sehingga **Persamaan (4-4)** dapat dituliskan

$$W_w = \Delta EP \quad (4-5)$$

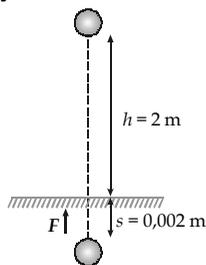
Solusi

Cerdas

Sebuah benda bermassa 0,10 kg jatuh bebas vertikal dari ketinggian 2 m ke hamparan pasir. Jika benda itu masuk sedalam 2 cm ke dalam pasir sebelum berhenti, besar gaya rata-rata yang dilakukan pasir untuk menghambat benda adalah sekitar

- 30 N
- 50 N
- 60 N
- 90 N
- 100 N

Penyelesaian



$$= mg \Delta h$$

$$F_s = mg \Delta h$$

$$(F)(2 \text{ cm}) = (0,10 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(2,02 \text{ m})$$

$$F = 100,1 \text{ N} \sim 100 \text{ N}$$

Jawab: e

Soal UMPN 2001

Contoh 4.4

Mula-mula, sebuah benda dengan massa 2 kg berada di permukaan tanah. Kemudian, benda itu dipindahkan ke atas meja yang memiliki ketinggian 1,25 m dari tanah. Berapakah perubahan energi potensial benda tersebut? ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Jawab

Diketahui: $m = 2 \text{ kg}$, $h_2 = 1,25 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Perubahan energi potensial benda:

$$\Delta EP = mg(h_2 - h_1)$$

$$= (2 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(1,25 \text{ m} - 0 \text{ m}) = 25 \text{ joule}$$

Jadi, perubahan energi potensialnya 25 joule.

Contoh 4.5

Sebuah benda berada pada ketinggian 40 m dari tanah. Kemudian, benda itu jatuh bebas. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya berat hingga benda sampai ke tanah? Diketahui massa benda adalah 1,5 kg dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 .

Jawab

Diketahui: $h_1 = 40 \text{ m}$, $h_2 = 0$, $m = 1,5 \text{ kg}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$W_w = mgh_1 - mgh_2$$

$$W_w = mg(h_1 - h_2)$$

$$W_w = (1,5 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(40 \text{ m} - 0 \text{ m})$$

$$W_w = 600 \text{ joule}$$

Bentuk energi potensial yang kedua adalah energi potensial elastis. Energi potensial adalah energi yang tersimpan di dalam benda elastis karena adanya gaya tekan dan gaya regang yang bekerja pada benda. Contoh energi potensial ini ditunjukkan pada **Gambar 4.5b**. Besarnya energi potensial elastis bergantung pada besarnya gaya tekan atau gaya regang yang diberikan pada benda tersebut.

Anda telah mempelajari sifat elastis pada pegas dan telah mengetahui bahwa gaya pemulih pada pegas berbanding lurus dengan pertambahan panjangnya. Pegas yang berada dalam keadaan tertekan atau teregang dikatakan memiliki energi potensial elastis karena pegas tidak berada dalam keadaan posisi setimbang. Perhatikanlah **Gambar 4.7**. Grafik tersebut menunjukkan kurva hubungan antara gaya dan pertambahan panjang pegas yang memenuhi Hukum Hooke. Jika pada saat Anda menarik pegas dengan

gaya sebesar F_1 , pegas itu bertambah panjang sebesar Δx_1 . Demikian pula, jika Anda menarik pegas dengan gaya sebesar F_2 , pegas akan bertambah panjang sebesar Δx_2 . Begitu seterusnya. Dengan demikian, usaha total yang Anda berikan untuk meregangkan pegas adalah

$$W = F_1 \Delta x_1 + F_2 \Delta x_2 + \dots$$

Besarnya usaha total ini sama dengan luas segitiga di bawah kurva F terhadap Δx sehingga dapat dituliskan

$$W = \frac{1}{2} F \Delta x$$

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

$$W = \frac{1}{2} k \Delta x^2 \quad (4-6)$$

Oleh karena usaha yang diberikan pada pegas ini akan tersimpan sebagai energi potensial, dapat dituliskan persamaan energi potensial pegas adalah sebagai berikut.

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

Energi potensial pegas ini juga dapat berubah karena usaha yang dilakukan oleh gaya pegas. Besar usaha yang dilakukan oleh gaya pegas itu dituliskan dengan persamaan

$$W = -\Delta EP \quad (4-7)$$

Contoh 4.6

Sebuah pegas yang tergantung tanpa beban panjangnya 15 cm. Kemudian, ujung bawah pegas diberi beban 5 kg sehingga pegas bertambah panjang menjadi 20 cm. Tentukanlah:

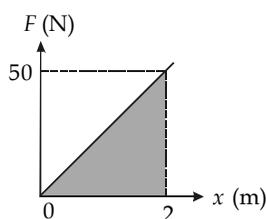
- tetapan pegas, dan
- energi potensial elastis pegas.

Jawab

Diketahui: $\ell_0 = 15$ cm, $\ell_1 = 20$ cm = 0,2 m, dan $m = 5$ kg.

- $k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{(5 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)}{(20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \times 10^{-2}} = 1.000 \text{ N/m}$
- $W = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2 = \frac{1}{2} (1.000 \text{ N/m})(5 \times 10^{-2} \text{ m})^2 = 1,25 \text{ joule}$
atau
 $W = \frac{1}{2} F (\Delta x) = \frac{1}{2} (50 \text{ N})(5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 1,25 \text{ joule}$

Contoh 4.7



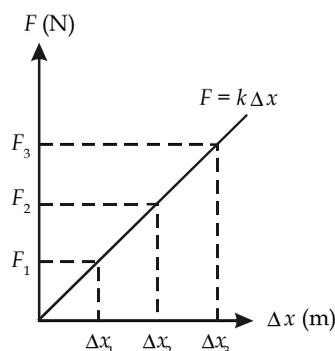
Perhatikan grafik hubungan gaya (F) dan pertambahan panjang pegas (Δx) berikut.

Tentukan energi potensial elastis pegas pada saat pegas ditarik dengan gaya 50 N.

Jawab

Diketahui $F = 50$ N.

$$W = \frac{1}{2} (F) (\Delta x) = \frac{1}{2} (50 \text{ N}) (2 \text{ m}) = 50 \text{ joule}$$



Gambar 4.7

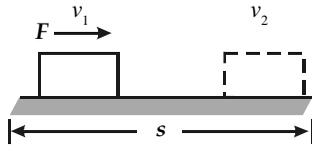
Grafik hubungan terhadap Δx pada kurva $F = k \Delta x$.



3. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki suatu benda karena gerakannya. Jadi, setiap benda yang bergerak memiliki energi kinetik. Contohnya, energi kinetik dimiliki oleh mobil yang sedang melaju, pesawat yang sedang terbang, dan anak yang sedang berlari.

Perhatikanlah **Gambar 4.8**. Benda bermassa m_1 bergerak dengan kecepatan v_1 . Benda tersebut bergerak lurus berubah beraturan sehingga setelah menempuh jarak sebesar s , kecepatan benda berubah menjadi v_2 . Oleh karena itu, pada benda berlaku persamaan $v_2 = v_1 + at$ dan $s = v_1 t + \frac{1}{2} at^2$. Anda telah mengetahui bahwa percepatan yang timbul pada gerak lurus berubah beraturan berhubungan dengan gaya F yang bekerja padanya sehingga benda bergerak dengan percepatan a .



Gambar 4.8

Gaya F menyebabkan benda bergerak sejauh s sehingga kecepatan benda berubah dari v_1 menjadi v_2 .

Besar usaha yang dilakukan gaya sebesar F pada benda dapat dihitung dengan persamaan

$$W = Fs = mas \quad (4-8)$$

Oleh karena gerak benda adalah gerak lurus berubah beraturan, nilai a dan s pada **Persamaan (4-8)** dapat disubstitusikan dengan persamaan a dan s dari gerak lurus berubah beraturan, yaitu

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad \text{dan} \quad s = \frac{1}{2} (v_2 + v_1)t$$

sehingga diperoleh

$$W = m \left(\frac{v_2 - v_1}{t} \right) \frac{1}{2} (v_2 + v_1)t$$

$$Fs = m (v_2 - v_1) (v_2 + v_1)$$

$$Fs = \frac{1}{2} (mv_2^2 - mv_1^2) \quad (4-9)$$

Besaran $\frac{1}{2} mv^2$ merupakan energi kinetik benda karena menyatakan kemampuan benda untuk melakukan usaha. Secara umum, persamaan energi kinetik dituliskan sebagai

$$EK = \frac{1}{2} mv^2 \quad (4-10)$$

dengan: EK = energi kinetik (joule),

m = massa benda (kg), dan

v = kecepatan benda (m/s).

Dari **Persamaan (4-10)**, Anda dapat memahami bahwa energi kinetik benda berbanding lurus dengan kuadrat kecepatannya. Apabila kecepatan benda meningkat dua kali lipat kecepatan semula, energi kinetik benda akan naik menjadi empat kali lipat. Dengan demikian, semakin besar kecepatan suatu benda, energi kinetiknya akan semakin besar pula.

Perubahan energi kinetik benda dari $EK = \frac{1}{2} mv_1^2$ menjadi $EK = \frac{1}{2} mv_2^2$ merupakan besar usaha yang dilakukan oleh resultan gaya yang bekerja pada benda. Secara matematis, persamaannya dapat dituliskan sebagai

$$W = \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2$$

$$W = EK_2 - EK_1 = \Delta EK \quad (4-11)$$

Perlu Anda

Ketahui

Dalam meninjau persamaan gerak benda satu dimensi, semua besaran vektor dituliskan sebagai besaran skalar.

Contoh 4.8

Sebuah peluru yang massanya 10 gram, bergerak dengan kecepatan 80 m/s. Tentukanlah energi kinetik peluru pada saat itu.

Jawab

Diketahui: $m = 10 \text{ gram} = 1 \times 10^{-2} \text{ kg}$ dan $v = 80 \text{ m/s}$.

Energi kinetik peluru adalah

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1 \times 10^{-2} \text{ kg})(80 \text{ m/s})^2 = 32 \text{ joule.}$$

Contoh 4.9

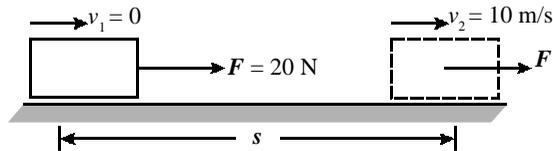
Sebuah benda bermassa 2 kg berada dalam keadaan diam pada sebuah bidang datar yang licin. Kemudian, pada benda tersebut bekerja sebuah gaya $F = 20 \text{ N}$ sehingga kecepatannya menjadi 10 m/s.

Tentukanlah:

- usaha yang dilakukan oleh gaya F , dan
- jarak yang telah ditempuh.

Jawab

Diketahui: mula-mula benda dalam keadaan diam, berarti $v_1 = 0$, v_2 sebesar 10 m/s, dan massa benda $m = 2 \text{ kg}$.



Dengan mempergunakan **Persamaan (4-10)**, diperoleh:

- Usaha yang dilakukan oleh gaya F :

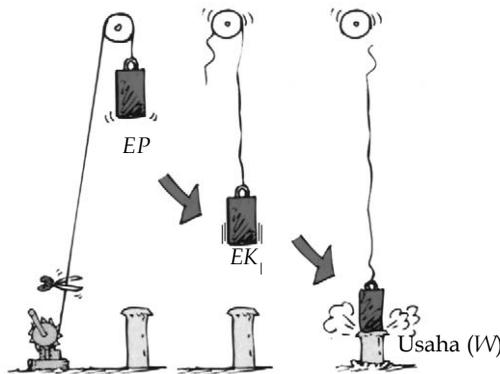
$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(2 \text{ kg})(10 \text{ m/s})^2 - 0 \\ &= 100 \text{ joule.} \end{aligned}$$

- jarak yang ditempuh:

$$\begin{aligned} W &= Fs \rightarrow 100 \text{ J} = (20 \text{ N})(s) \\ s &= \frac{100 \text{ J}}{20 \text{ N}} = 5 \text{ meter} \end{aligned}$$

4. Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Dalam proses melakukan usaha, benda yang melakukan usaha itu memindahkan energi yang dimilikinya ke benda lain. Energi yang dimiliki benda agar benda itu dapat melakukan usaha dinamakan energi mekanik.



Sumber: conceptual physics, 1998

Loncatan Kuantum

Ketiga mesin utama pesawat luar angkasa dapat menghasilkan daya sebesar 33.000 MW. Daya sebesar ini dihasilkan ketiga mesin tersebut dengan membakar 3.400 kg bahan bakar setiap sekon. Hal ini, seperti mengosongkan kolam renang berukuran sedang dalam waktu 20 sekon.

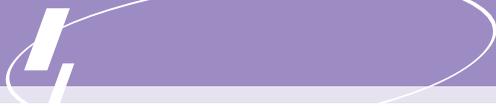
Quantum Leap

The three main engines of a space shuttle can develop power when fuel is burned at the enormous rate of kg/s. This is like emptying an average size swimming pool in s.

Sumber: conceptual physics, 1998

Gambar 4.9

Energi mekanik benda dalam bentuk energi potensial dan energi kinetik dapat diubah menjadi usaha.



Perhatikanlah **Gambar 4.9**. Beban yang ditarik sampai di ketinggian h memiliki energi mekanik dalam bentuk energi potensial. Saat tali yang menahan berat beban digunting, energi berubah menjadi energi kinetik. Selanjutnya, saat beban menumbuk pasak yang terletak di bawahnya, beban tersebut memberikan gaya yang menyebabkan pasak terbenam ke dalam tanah. Beban itu dikatakan melakukan usaha pada pasak.

Dengan demikian, energi mekanik dapat didefinisikan sebagai jumlah energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki oleh suatu benda, atau disebut juga energi total. Besarnya energi mekanik suatu benda selalu tetap, sedangkan energi kinetik dan energi potensialnya dapat berubah-ubah. Penulisan secara matematis adalah sebagai berikut.

$$EM = EP + EK \quad (4-12)$$

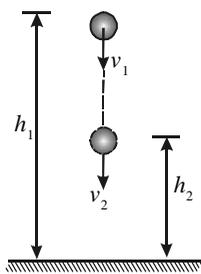
Benda yang jatuh bebas akan mengalami perubahan energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Perhatikanlah **Gambar 4.10**. Suatu bola dilepaskan dari suatu ketinggian sehingga saat bola berada pada ketinggian h_1 dari permukaan tanah, bola itu memiliki v_1 . Setelah mencapai ketinggian h_2 dari permukaan tanah, kecepatan benda berubah menjadi v_2 .

Saat bola benda berada di ketinggian h_1 , energi potensial gravitasinya adalah EP_1 dan energi kinetiknya EK_1 . Saat benda mencapai ketinggian h_2 , energi potensialnya dinyatakan sebagai EP_2 dan energi kinetiknya EK_2 . Anda telah mempelajari bahwa perubahan energi kinetik dan energi potensial benda adalah usaha yang dilakukan gaya pada benda. Dengan demikian, dapat dituliskan

$$\begin{aligned} W &= \Delta EK = \Delta EP \\ EK_2 - EK_1 &= EP_1 - EP_2 \\ EP_1 + EK_1 &= EP_2 + EK_2 \end{aligned}$$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (4-13)$$

Persamaan (4-13) ini disebut Hukum Kekekalan Energi Mekanik.



Gambar 4.10

Hukum Kekekalan Energi Mekanik suatu bola yang jatuh bebas dari ketinggian h_1 dengan kecepatan awal v_1 ke ketinggian h_2 dengan kecepatan v_2 .

Contoh 4.10

Sebuah benda berada dalam keadaan diam pada ketinggian 80 cm dari permukaan tanah. Massa benda 5 kg dan percepatan gravitasi bumi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukan energi mekanik benda tersebut.

Jawab

Diketahui: $v = 0 \text{ m/s}$, $h = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$EM = EP + EK$$

$$= mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= (5 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(0,8 \text{ m}) + 0 = 40 \text{ joule}$$

Jadi, energi mekanik benda yang diam akan sama dengan energi potensialnya karena energi kinetiknya nol.

Kata Kunci

- Energi potensial elastis
- Energi potensial gravitasi
- Energi kinetik
- Energi mekanik
- Hukum Kekekalan Energi Mekanik

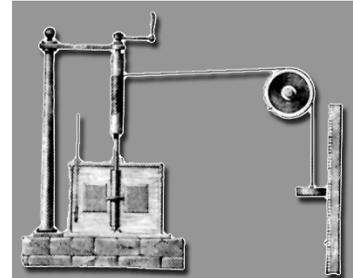
Contoh 4.11

Sebuah bola yang massanya 2 kg jatuh bebas dari ketinggian 30 meter. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, pada saat bola tersebut mencapai ketinggian 10 meter dari permukaan tanah, tentukanlah:

- kecepatannya,
- energi kinetiknya, dan
- energi potensialnya.

Jelajah Fisika

Alat Percobaan Joule



Alat tersebut digunakan oleh James Joule untuk mengukur padanan mekanis dengan panas. Dengan membandingkan usaha yang dilakukan pemberat yang jatuh dengan panas yang dihasilkan, Joule berkesimpulan bahwa jumlah usaha yang sama selalu menghasilkan jumlah panas yang sama.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Jawab

Diketahui: $m = 2 \text{ kg}$, $h_1 = 30 \text{ m}$, $h_2 = 10 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a. Kecepatan pada kedudukan (2):

$$v_2^2 = v_1^2 + 2g(h_1 - h_2) = 0 + (2 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(20 \text{ m})$$

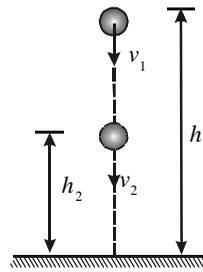
$$= \sqrt{400} = 20 \text{ m/s}$$

b. Energi kinetik pada kedudukan (2):

$$EK_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} (2 \text{ kg})(20 \text{ m/s})^2 = 400 \text{ joule}$$

c. Energi potensial pada kedudukan (2):

$$EP_2 = mgh_2 = (2 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(10 \text{ m}) = 400 \text{ joule}$$



Contoh 4.12

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

Jawab

Diketahui: $h_1 = 6 \text{ m}$, $h_2 = 1 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$EP_1 + EK_1 = EP_2 + EK_2$$

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

$$gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

Benda jatuh bebas, berarti $v_1 = 0$ maka

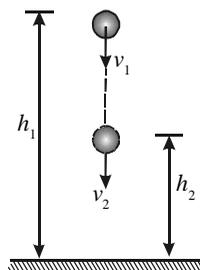
$$gh_1 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$(10 \text{ m/s}^2)(6 \text{ m}) = (10 \text{ m/s}^2)(1 \text{ m}) + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$60 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$50 \text{ m}^2/\text{s}^2 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

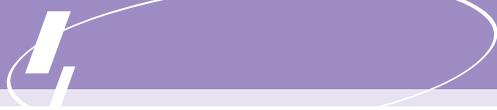
$$v = 10 \text{ m/s}$$



Soal Penguasaan Materi 4.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

- Sebuah peluru dengan massa 100 gram ditembakkan vertikal ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan 80 m/s. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapakah:
 - tinggi maksimum yang dicapai peluru;
 - energi peluru di titik tertinggi;
 - energi kinetik peluru pada ketinggian 40 m dari tanah;
- Sebuah benda ditembakkan miring ke atas dengan sudut elevasi 53° dan dengan energi kinetik 1.000 J. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah:
 - energi kinetik benda pada saat mencapai titik tertinggi, dan
 - energi potensial benda saat mencapai titik tertinggi.
- Sebuah benda digantung bebas dengan tali yang panjangnya 75 cm, massa benda 100 gram, dan percepatan gravitasi bumi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Kemudian, benda tersebut diayun sehingga tali dapat membentuk simpangan maksimum 37° terhadap sumbu vertikal. Berapakah:
 - energi potensialnya di titik tertinggi,
 - energi kinetiknya di titik terendah, dan
 - kecepatan maksimum benda.



C Daya

1. Pengertian Daya

Besaran usaha menyatakan gaya yang menyebabkan perpindahan benda. Namun, besaran ini tidak memperhitungkan lama waktu gaya itu bekerja pada benda sehingga menyebabkan benda berpindah. Kadang-kadang usaha dilakukan sangat cepat dan di saat lain usaha dilakukan sangat lambat. Misalnya, Ani mendorong lemari untuk memindahkannya dari pojok kamar ke sisi lain kamar yang berjarak 3 m. Dalam melakukan usahanya itu, Ani membutuhkan waktu 5 menit. Apabila lemari yang sama dipindahkan oleh Arif, ia membutuhkan waktu 3 menit. Ani dan Arif melakukan usaha yang sama, namun keduanya membutuhkan waktu yang berbeda. Besaran yang menyatakan besar usaha yang dilakukan per satuan waktu dinamakan daya. Dengan demikian, Anda dapat mengatakan bahwa Arif memiliki daya yang lebih besar daripada Ani.

Daya didefinisikan sebagai kelajuan usaha atau usaha per satuan waktu. Daya dituliskan secara matematis sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t} \quad (4-14)$$

dengan: W = usaha (joule),
 t = waktu (sekon), dan
 P = daya (J/s atau watt).

Mobil, motor, atau mesin-mesin lainnya sering dinyatakan memiliki daya sekian hp (*horse power*) yang diterjemahkan dalam Bahasa Indonesia sebagai daya kuda dengan 1 hp = 746 watt.

Dalam perhitungan teknik, besarnya 1 hp kadang-kadang dibulatkan, yaitu 1 hp = 750 watt. Hubungan antara daya dan kecepatan diturunkan sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \frac{s}{t} = F \cdot v \quad (4-15)$$

dengan: F = gaya (N), dan
 v = kecepatan (m/s).

Mahir Meneliti

Menghitung Daya Saat Menaiki Tangga

Alat dan Bahan

1. Dua orang (Anda dan salah seorang teman Anda)
2. Tangga
3. *Stopwatch*
4. Timbangan
5. Meteran

Prosedur

1. Timbanglah berat badan Anda, kemudian konversikan satuannya dalam Newton.
2. Ukurlah tinggi tangga (h).
3. Jalankan *stopwatch* dan larilah ke atas tangga secepat yang Anda mampu. Hitunglah jumlah anak tangga yang Anda lalui sambil berlari.
4. Hentikan *stopwatch* saat Anda mencapai puncak tangga.



5. Hitunglah daya yang telah Anda keluarkan saat berlari menaiki tangga menurut persamaan berikut.

$$\text{daya} = \frac{\text{usaha yang dilakukan}}{\text{waktu yang dibutuhkan}} = \frac{\text{berat badan} \times \text{jarak vertikal}}{\text{waktu yang dibutuhkan}}$$

6. Ulangilah langkah 1 sampai dengan 5, tetapi kegiatannya dilakukan oleh teman Anda. Samakah daya yang Anda keluarkan dengan teman Anda? Diskusikan.
7. Apakah kesimpulan yang Anda dapatkan dari kegiatan ini?

Contoh 4.13

Seorang petugas PLN yang massanya 50 kg menaiki tangga sebuah tower yang tingginya 30 m dalam waktu 2 menit. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapakah daya yang dikeluarkan petugas PLN tersebut?

Jawab

Diketahui: $m = 50 \text{ kg}$, $h = 30 \text{ m}$, $t = 2 \text{ menit}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{(50 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(30 \text{ m})}{(2)(60) \text{ s}} = 125 \text{ watt}$$

Contoh 4.14

Sebuah mesin pesawat terbang mampu memberikan gaya dorong sebesar 20.000 N. Berapakah daya yang dihasilkan mesin ketika pesawat mengangkasa dengan kecepatan 250 m/s?

Jawab

Diketahui: $F = 20.000 \text{ N}$ dan $v = 250 \text{ m/s}$

$$P = Fv = (20.000 \text{ N})(250 \text{ m/s}) = 5.000.000 \text{ watt}$$

2. Efisiensi atau Daya Guna Pengubah Energi

Anda telah mempelajari bahwa energi akan terasa manfaatnya ketika energi tersebut berubah bentuk menjadi energi lain, seperti energi listrik akan terasa manfaatnya jika berubah menjadi cahaya, gerak, panas, atau bentuk energi yang lainnya. Akan tetapi, alat atau mesin pengubah energi tidak mungkin mengubah seluruh energi yang diterimanya menjadi energi yang bermanfaat. Sebagian energi akan berubah menjadi energi yang tidak bermanfaat atau terbuang yang biasanya dalam bentuk energi kalor atau panas.

Perbandingan antara energi yang bermanfaat (keluaran) dan energi yang diterima oleh alat pengubah energi (masukan) disebut efisiensi. Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi: } \eta = \frac{\text{energi keluaran}}{\text{energi masukan}} \times 100\%$$

Contoh 4.15

Sebuah motor yang memiliki daya 1.800 watt mampu mengangkat beban sebesar 1.200 N sampai ketinggian 50 m dalam waktu 20 sek. Berapakah efisiensi motor itu?

Kata Kunci

- Daya
- Efisiensi



Jawab

Diketahui: $P = 1.800$ watt, $F = 1.200$ N, $s = 50$ m, dan $t = 20$ s.

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi: } \eta &= \frac{\text{Energi keluaran}}{\text{Energi masukan}} \times 100\% \\ &= \frac{Pt}{Fs} \times 100\% = \frac{(1.800 \text{ watt})(20 \text{ s})}{(1.200 \text{ N})(50 \text{ m})} \times 100\% = 60\% . \end{aligned}$$

Soal Penguasaan Materi 4.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

- Sebuah lift mampu mengangkut 10 penumpang (massa tiap penumpang = 50 kg) setinggi 10 m dalam waktu 15 sekon. Jika massa lift 1.000 kg dan $g = 10$ m/s², berapakah daya lift itu?
- Air terjun yang ketinggiannya 60 m mengalirkan air sebanyak 10 m³ setiap sekon sehingga turbin berputar dan generator menghasilkan daya sebesar 300 MW. Hitunglah efisiensi generator tersebut.
- Aliran air setinggi 8 m digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Setiap sekon air mengalir sebanyak 10 m³. Jika efisiensi generator 60% dan percepatan gravitasi $g = 10$ m/s², berapakah daya rata-rata yang dihasilkan (dalam kW)?

Pembahasan Soal SPMB

Besarnya usaha yang diperlukan untuk menggerakkan mobil (massa mobil dan isinya adalah 1.000 kg) dari keadaan diam hingga mencapai kecepatan 72 km/jam adalah (gesekan diabaikan):

- $1,25 \times 10^4$ J
- $2,50 \times 10^4$ J
- $2,00 \times 10^4$ J
- $6,25 \times 10^4$ J
- $4,00 \times 10^4$ J

Jawab:

Usaha = Perubahan energi kinetik

$$W = \Delta EK$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(10^3 \text{ kg})(20^2 \text{ m/s})$$

karena: $v = 72$ km/jam = 20 m/s

$$W = 2 \times 10^5 \text{ joule}$$

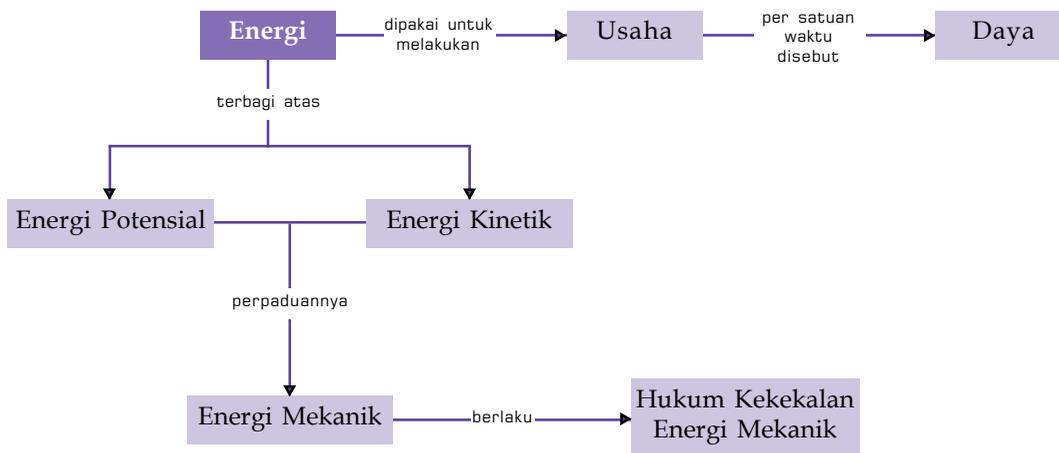
Jawab: c

Soal Fisika UMPTN'94 Rayon A

Rangkuman

- Usaha** adalah perkalian antara gaya dan perpindahan benda. Satuannya dalam joule, $W = F \cdot s$
- Energi** adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Energi tidak dapat dimusnahkan. Energi hanya dapat berubah bentuk.
- Energi potensial** adalah energi yang dimiliki benda karena kedudukannya (posisinya), yaitu $EP = mgh$
- Energi kinetik** adalah energi yang dimiliki oleh benda yang bergerak, yaitu $EK = \frac{1}{2}mv^2$
- Energi mekanik** adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik yang terdapat pada benda, yaitu $EM = EP + EK$
- Hukum Kekekalan Energi Mekanik** menyatakan bahwa energi mekanik benda tetap. Hukum ini berlaku apabila tidak terdapat gaya luar yang bekerja pada benda. $EM_1 = EM_2$
 $EK_1 + EK_1 = EP_2 + EK_2$
- Daya** dinyatakan sebagai usaha per satuan waktu. Satuannya dalam joule/sekon atau watt. $P = \frac{W}{t}$
- Efisiensi** adalah perbandingan antara energi atau daya keluaran dan masukan
Efisiensi (η) = $\frac{\text{energi keluaran}}{\text{energi masukan}} \times 100\%$

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Energi, Usaha, dan Daya, Anda dapat menganalisis hubungan antara usaha, perubahan energi dengan hukum kekekalan energi mekanik untuk menganalisis gerak dalam kehidupan sehari-hari. Jika Anda belum mampu menganalisis hubungan antara usaha, perubahan energi dengan hukum kekekalan energi mekanik untuk menganalisis gerak dalam kehidupan sehari-hari, Anda belum menguasai

materi bab Energi, Usaha, dan Daya dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.