

BAB – 5 E N E R G I

5.1 Kerja

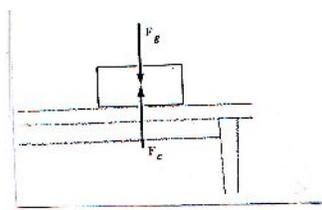
Kata kerja memiliki arti pada bahasa sehari-hari. Tetapi dalam fisika, kerja diberi arti yang spesifik untuk mendeskripsikan apa yang dihasilkan oleh gaya ketika ia bekerja pada benda sementara benda tersebut bergerak dalam jarak tertentu. Lebih spesifik lagi, kerja yang dilakukan pada sebuah benda oleh gaya konstan (konstan dalam hal besar atau arah) didefinisikan sebagai hasil kali perpindahan dengan komponen gaya yang sejajar dengan perpindahan. Dalam bentuk persamaan, dapat kita tuliskan

$$W = F_{//} d \dots\dots\dots(5.1)$$

Dimana $F_{//}$ adalah komponen gaya yang konstan F yang sejajar dengan perpindahan d . Kita juga dapat menuliskan

$$W = Fd \cos \theta \dots\dots\dots(5.2)$$

Dimana F adalah besar gaya konstan, d adalah besar perpindahan benda, dan θ sudut arah gaya dan perpindahan. Faktor $\cos \theta$ muncul dari persamaan 5.2 karena $F \cos \theta (=F_{//})$ adalah komponen F yang sejajar dengan d (gambar 5.3). Kerja merupakan besaran skalar yang hanya mempunyai besar saja. Nilai W akan bernilai positif jika gerak suatu sistem searah dengan arah gaya yang diberikan (F) akan tetapi W akan bernilai negatif apabila gerak suatu benda berlawanan dengan arah gaya yang diberikan pada suatu sistem. Tidak dapat dikatakan suatu gaya melakukan usaha pada suatu sistem apabila gaya tersebut tidak merubah keadaan semula suatu sistem, seperti gaya kontak meja pada balok (F_c) serta gaya gravitasi pada balok (F_g) yang tidak merubah keadaan balok lihat pada gambar (5.1)



(Gamabar 5.1)

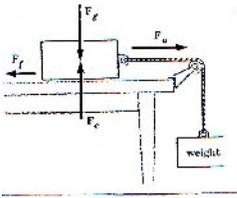
Sebagai contoh F_a searah dengan dengan gerak balok pada gambar 5.2 maka kerja yang dilakukan oleh F_a dengan perpindahan balok sejauh 3m ke kanan nilainya positif .

$F_a = 5N$. Dan perpindahan balok (d) = 3m maka kerjanya adalah

$$W_a = F_a d = 5N \times 3m = 15N.m$$

$$W_f = -F_f d = -3N \times 3m = -9N.m$$

$$W = W_a + W_c + W_g + W_f = 15N.m + 0 + 0 - 9N.m = 6N.m$$



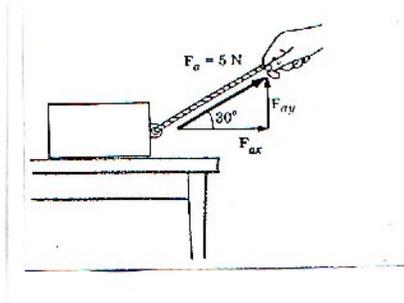
Gambar (5.2)

Pada gambar 5.3 gaya yang dikerjkan pada balok mempunyai sudut 30° terhadap horizontal, maka besarnya gaya horizontal adalah:

$$F_{ax} = F_a \cos 30^\circ = 5 \cos 30^\circ = 4.4N$$

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan balok bermassa 3kg adalah

$$W_a = F_{ax} d = 4.4N \times 3m = 13.2N.m$$



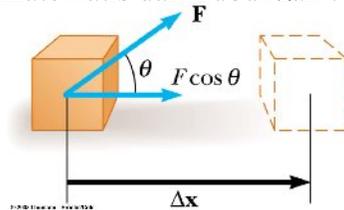
(Gambar 5.3)

Usaha yang kita didefinisikan di atas akan sangat bermanfaat dalam ilmu fisika. Kata "usaha" yang didefinisikan secara khusus ini tidak ada hubungan dengan istilah yang digunakan sehari-hari, dan agak membingungkan. Contoh orang yang menahan beban berat di udara dapat dikatakan sedang berusaha dengan keras dan secara ilmu fisiologi

pun ia sedang melakukan usaha yang berat. tetapi dalam ilmu fisika ia tidak melakukan usaha apa-apa, karena gaya tersebut tidak menimbulkan perpindahan/perubahan

5.2 Energi Kinetik

Ada beberapa bentuk energi, diantaranya energi yang mendeskripsikan kapasitas untuk melakukan kerja. Bentuk energi yang sudah terkenal diantaranya energi untuk bergerak yang disebut energi kinetik. Hal yang paling mendasar hubungan diantara energi kinetik dan kerja adalah masa yang dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada masa tersebut. Bentuk matematis dari hubungan tersebut sebagai berikut:



$$W = Fd \dots \dots \dots (5.2)$$

$$a = \frac{F}{m} \dots \dots \dots (5.3)$$

Dengan meninjau benda yang diam terlebih dahulu $v_o = 0$

$$d = \frac{1}{2} at^2 \dots \dots \dots (5.4)$$

$$v_t = at \dots \dots \dots (5.5)$$

$$t = \frac{v_t}{a}$$

Kemudian persamaan di atas disubsitusikan ke persamaan (5.4)

$$d = \frac{1}{2} a \left(\frac{v}{a} \right)^2 = \frac{1}{2} a \frac{v^2}{a^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{a}$$

Kemudian kedua persamaan dikalikan dengan a

$$da = \frac{1}{2} v^2$$

Persamaan di atas disubsitusikan ke persamaan 5.3

$$\frac{dF}{m} = \frac{1}{2}v^2$$

Kedua ruas persamaan di atas dikalikan dengan dengan m sehingga menghasilkan persamaan :

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

Bentuk kuantitatif $\frac{1}{2}mv^2$ adalah bentuk energi kinetik dari sebuah benda.

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

Untuk mendapatkan definisi kuantitatif dari energi kinetik, kita tinjau pada gambar 5.4 sebuah benda dengan massa m yang sedang bergerak pada garis lurus dengan laju awal v_o . Untuk mempercepat laju benda tersebut secara beraturan sampai laju v, gaya total konstan diberikan padanya dengan arah yang sejajar dengan gerakannya sejauh d. Kemudian setelah beberapa saat balok tersebut berhenti, maka energi kinetiknya adalah :

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_o^2$$

$$W = 0 - \frac{1}{2}mv_o^2$$

$$W = -\frac{1}{2}mv_o^2$$

Tanda minus berarti balok melakukan kerja pada lingkungan yang bergerak melawan gaya kontak pada meja yang arahnya berlawanan dengan arah gerak balok

Petunjuk

Satuan energi kinetik harus sama dengan satuan dari kerja. Di dalam sistem, energi kinetik mempunyai satuan

$$\text{Kg} \times (\text{m/s})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

Dimana kerja mempunyai satuan Newton-meter.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Di dalam teorema kerja-energi adalah kerja total yang dilakukan pada sebuah benda sama dengan perubahan energi kinetiknya. Dengan demikian prinsip kerja-energi hanya berlaku jika w adalah kerja total yang dilakukan pada benda yaitu kerja yang dilakukan oleh semua gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Prinsip kerja-energi memberi tahu kita bahwa jika kerja total nilainya positif maka energi kinetiknya bertambah sejumlah w . Prinsip ini juga berlaku berkebalikan sebaliknya jika kerja negatif pada sebuah benda, maka energi kinetik berkurang sebesar w . Yaitu gaya total yang diberikan pada benda dengan arah yang berlawanan dengan arah gerak benda mengurangi lajunya dan energi kinetiknya.

Hubungan kerja dan energi kinetik bekerja dua arah. Jika kerja total yang dilakukan pada benda adalah positif maka energi kinetik bertambah. Jika kerja total w yang dilakukan adalah negatif maka energi kinetik berkurang. Jika kerja total yang dilakukan pada benda sebesar nol maka energi kinetiknya konstan.

Kecepatan dari bintang

Aplikasi yang menarik dari teorema energi kinetik adalah pada analisa kecepatan berlari pada binatang. Dengan kecepatan berlari binatang yang konstan (v), dengan mengabaikan resistansi udara Suatu binatang dengan mengangkat kakinya maka akan mengalami percepatan atau kecepatan berlarnya bertambah dibandingkan binatang tersebut kedua kakinya menginjak tanah.

Hal serupa ada sebuah penelitian, ada dua binatang yang salah satu lebih kecil dengan perbandingan :

$$d' = Ld, F'_m = L^2 F_m, m'_1 = L^3 m_1$$

$$v'^2 = \frac{2F'_m d'}{m'_1}$$

$$= \frac{2F_m d}{m_1} = v^2$$

Dari perumusan tersebut bahwa kecepatan binatang yang lebih besar sama dengan binatang yang ukurannya lebih kecil Penelitian tersebut tentu saja mengejutkan bagi kita hanya saja hewan yang bentuknya mirip

5.3 Energi Potensial

Sebuah objek yang bermassa m pada gambar 5.5 diluncurkan secara vertikal dari titik A ke titik C, maka kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi sebesar

$$W_{AC} = F_g h = mgh$$

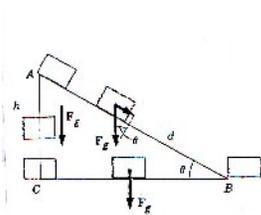
Tangan positif pada F_g karena arahnya langsung dari A ke C. Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi dari pergerakan balok dari C ke B adalah nol karena arahnya horizontal.

$$W_{CB} = 0$$

Kerja total yang dilakukan balok oleh gaya gravitasi dari arah A ke C, kemudian dari C ke B sebesar :

$$W_{ACB} = W_{AC} + W_{CB} = mgh + 0 = mgh$$

Balok juga dapat langsung bergerak dari A ke B secara diagonal. Dari gambar 5.5 maka



Gambar (5.5)

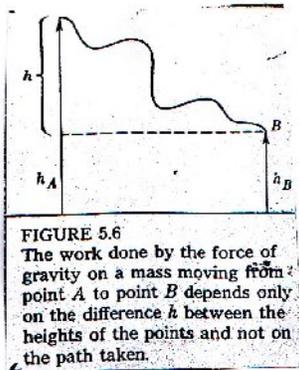
$$W_{AB} = mg \sin \theta d$$

Dari segitiga ABC pada gambar 5.5 sehingga diperoleh:

$$\sin \theta = \frac{h}{d}$$

$$W_{AB} = mg \frac{h}{d} d = mgh = W_{ACB}$$

Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi dari sebuah balok dari A ke B hasilnya sama dengan pergerakan balok dari A ke C kemudian ke B



Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi pada sebuah massa yang dipindahkan dari titik A ke titik B bergantung pada ketinggian dinatara kedua titik tersebut .Ketika benda berada pada titik A serta pada ketinggian B pada gambar 5.6 maka energi benda tersebut pada kedua titik tersebut adalah:

$$U_A = mgh_A$$

$$U = mgh_B$$

Kemudian kerja yang dilakukan untuk memindahkan dari A ke B adalah :

$$W_{AB} = mgh_A - mgh_B = mg(h_A - h_B) = mgh$$

Sehingga energi potensial yang dimiliki suatu objek bergantung pada ketinggian dari titik acuan

5.4 Energi Mekanik dan Kekekalannya

Jika hanya gaya-gaya konservatif yang bekerja pada sebuah sistem, kita sampai pada hubungan yang sangat sederhana dan indah yang melibatkan energi.

Jika tidak ada gaya-gaya nonkonservatif, maka $W_{NC} = 0$ pada Persamaan 6-10, prinsip umum kerja-energi. Sehingga kita dapatkan

$$\Delta EK + \Delta EP = 0$$

$\left(\begin{array}{c} \text{hanya gaya-gaya} \\ \text{Konservatif} \end{array} \right)$

atau

$$(EK_2 - EK_1) + (EP_2 + EP_1) = 0 \quad \left(\begin{array}{l} \text{hanya gaya-gaya} \\ \text{Konservatif} \end{array} \right)$$

Sekarang kita definisikan suatu besaran E, yang disebut energi mekanik total dari sistem, sebagai jumlah energi kinetik dan potensial pada setiap saat

$$E = EK + EP$$

Sekarang kita dapat menuliskan kembali Persamaan 6-11b sebagai

$$EK_2 + EP_2 = EK_1 + EP_1 \quad \left(\begin{array}{l} \text{hanya gaya-gaya} \\ \text{Konservatif} \end{array} \right)$$

atau

$$E_2 = E_1 = \text{konstan} \quad \left(\begin{array}{l} \text{hanya gaya-gaya} \\ \text{Konservatif} \end{array} \right)$$

Persamaan di atas menyatakan prinsip yang berguna dan penting mengenai energi mekanik total—yaitu, bahwa energi tersebut merupakan besaran yang kekal. Energi mekanik total E tetap konstan selama tidak ada gaya nonkonservatif yang bekerja: $(EK + EP)$ pada titik 1 awal sama dengan $(EK + EP)$ pada titik 2 berikutnya. Dengan perkataan lain, ingat Persamaan 6-11a yang menyatakan $\Delta EP = -\Delta EK$; dengan demikian, jika energi kinetik EK bertambah, maka energi potensial EP harus berkurang dengan besar

yang sama untuk mengimbangnya. Dengan demikian, total, $E_K + E_P$, tetap konstan. Ini disebut prinsip kekekalan energi mekanik untuk gaya-gaya konservatif:

I

Jika hanya gaya-gaya konservatif yang bekerja, energi mekanik total dari sebuah sistem tidak bertambah maupun berkurang pada proses apa pun.

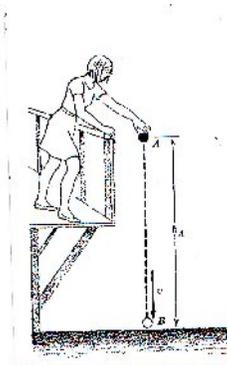
Energi tersebut tetap konstan—kekal.

Sekarang kita bisa melihat alasan untuk istilah "gaya konservatif"-karena untuk gaya-gaya semacam itu, energi mekanik adalah kekal.

Pada Subbab berikutnya, kita akan melihat besarnya kegunaan prinsip kekekalan energi mekanik pada berbagai situasi, dan bagaimana seringkali lebih mudah digunakan dibandingkan dengan persamaan-persamaan kinematika atau hukum-hukum Newton. Setelah itu kita akan membahas bagaimana bentuk lain dari energi dapat dimasukkan dalam hukum kekekalan energi yang lebih hebat yang mencakup energi yang berhubungan dengan gaya-gaya nonkonservatif.

Penjumlahan energi kinetik dengan energi potensial disebut energi mekanik yang besarnya konstan apabila dengan mengabaikan gaya eksternal. Dari gambar 5.6 energi mekanik dari dua titik acuan tersebut sama dengan perumusan sebagai berikut :

$$E_m = K_A + U_A = K_B + U_B = \text{konstan}$$



Gambar (5.7)

Contoh pada gambar (5.7) Anak perempuan melempar bola yang bermassa 0.3 kg dari jembatan yang mempunyai ketinggian 12 meter di atas sungai . Berapakah kecepatan bola ketika sampai ke sungai (catatan hambatan udara diabaikan)

Jawab

Energi potensial bola ketika di A adalah :

$$U_A = mgh_A = 0.3kg \times 9.8m/s^2 \times 12m = 35.3 \text{ joule}$$

Energi kinetik ketika bola mulai dijatuhkan :

$$K_A = \frac{1}{2}mv^2 = 0$$

$$\text{Energi mekanik ketika di titik A} = U_A + K_A = 35.3j + 0j = 35.3j$$

Energi potensial bola ketika di sungai adalah:

$$U_B = mgh_B = mg \times 0 = 0$$

Energi mekanik ketika bola sampai dipermukaan sungai sama dengan energi mekanik di titik A

$$35.3j = K_B + U_B = \frac{1}{2}mV^2$$

$$\text{Sehingga kecepatan bola ketika di permukaan sungai (v)} = \sqrt{\frac{2(35.3J)}{0.3m}} = 15.3m/s$$

Kemudian Seorang anak laki-laki yang berada di bawah jembatan mengambil bola tersebut kemudian melempar bola tersebut ke atas, jika bola yang dilemparkan itu dengan kecepatan 14 m/s² , Berapakah ketinggian maksimum yang mungkin tercapai bola tersebut :

Jawab:

$$K_B = \frac{1}{2} \times 0.3kg \times (14m/s)^2 = 29.4J$$

$$U_B = 0$$

Pada titik C dimana bola mencapai ketinggian maksimum hc di atas permukaan air, maka energi kinetik dan energi potensial pada titik C adalah:

$$U_C = mgh_c, K_C = 0$$

$$K_B + U_B = K_C + U_C$$

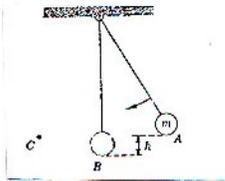
$$29.4j + 0 = 0 + mgh_c$$

$$h_c = \frac{29.4}{0.3 \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 10 \text{ m}$$

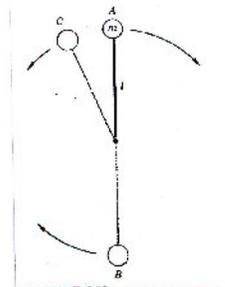
Sehingga anak laki-laki tersebut tidak bisa memberi bola tersebut kepada anak perempuan

Perubahan energi potensial dari suatu obyek bergantung pada perubahan posisi dari pusat gravitasi. Ini sangat penting bagi atlet lompat tinggi, yang mana kaki atlet tersebut mula-mula harus memberikan energi kinetik awal. Selama pelompatan energi kinetik diubah menjadi potensial sehingga atlet tersebut dapat melewati rintangan tersebut. Untuk meningkatkan pusat gravitasi dengan ketinggian h , atlet harus meninggalkan permukaan tanah dengan energi kurang lebih mgh

Sebuah pendulum secara terus menerus perubahan energi kinetik dan energi potensial. Ketika bandul tersebut berada pada titik B atau berada pada pusat gravitasinya maka bandul tersebut mempunyai energi potensial yang maksimum akan tetapi energi kinetiknya nol karena tidak mempunyai kecepatan pada pusat gravitasinya. Akan tetapi pada titik A atau pada titik amplitudonya energi kinetiknya maksimum akan tetapi energi potensialnya nol (pada gambar 5.9)



Gambar (5.9)



Gambar 5.10

Bahwa gaya hambat udara pada pivot memang nyata, gaya ini nilainya negatif karena arahnya berlawanan dengan arah gerak pivot. Apabila gaya hambat udara tidak diabaikan

maka energi mekanik yang terdiri dari penjumlahan energi kinetik dan energi potensial akan berkurang nilainya. Ketika pivot berada pada titik A energi potensialnya akan berkurang. Pivot kemudian diayunkan dan kembali ke titik A dan pada titik A pivot berhenti sementara karena energi mekaniknya berkurang. Pada titik B pivot memiliki kecepatan maksimumnya karena tepat pada titik acuan sehingga energi potensialnya dikonversikan ke energi potensialnya (pada gambar 5.10)

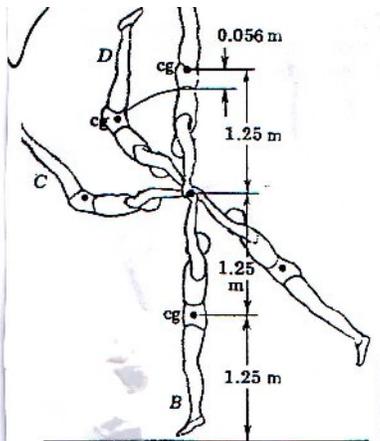


FIGURE 5.11
A gymnast starting from rest at A is able to swing completely around the bar because at C he pulls himself in toward the bar. As he returns to A, his center of gravity is lower than when he started, but by straightening his body at this point he lifts his center of gravity back to its original height.

Seseorang akrobat mulai pertunjukkan pada titik A, mempunyai pusat gravitasinya 1.25m di atas rintangan dan tinggi rintangan 2.5 di atas tanah, maka energi potensial awal pertunjukannya :

$$U_A = mg \times 3.75 \text{ m}$$

$$Ek_A = 0$$

$$Em_A = U_A = mg \times 3.75 \text{ m} = 90 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 3.75 = 3308 \text{ J}$$

Ketika di B si akrobat telah kehilangan energi sebesar 50J dan di D akrobat telah kehilangan energi 50J, maka akrobat mempunyai energi mekanik yang tersisa di titik D sebesar $E_m(D) = 3308 \text{ J} - 50 \text{ J} = 3258 \text{ J}$ Maka pusat gravitasi di D si akrobat adalah:

$$mgh_d = 3258 \text{ J}$$

$$h_d = \frac{3258 \text{ J}}{90 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 3.694 \text{ m}$$

Berarti pada titik D pusat gravitasinya telah berkurang sebesar = 3.75-3.694 = 0.0556m

5.5 Energi Potensial lain

Fakta penjumlahan energi kinetik dan energi potensial konstan dengan mengabaikan gaya hambat udara karena untuk memudahkan suatu persoalan Gaya hambat ini umum pada kehidupan, gaya ini memegang peranan penting contohnya pada astronomi (gerak bulan mengelilingi bumi atau bumi mengelilingi matahari), pergerakan atom-atom dengan molekul.

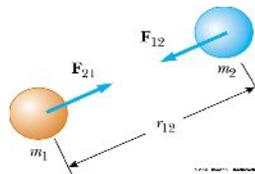
Perumusan mgh hanya berlaku apabila suatu objek di permukaan bumi yang dimana gaya gravitasinya masih konstan, apabila suatu objek tersebut pada ketinggian dari permukaan bumi maka perumusan mgh itu tidak berlaku karena gaya gravitasi pada ketinggian tertentu tidak konstan oleh karena gaya gravitasi tidak konstan pada ketinggian tertentu dari permukaan bumi, Pada tabel di bawah ini gaya gravitasi tidak konstan pada ketinggian (altitude) tertentu:

TABLE 7.1
Free-Fall Acceleration g at Various Altitudes

Altitude (km) ^a	g (m/s ²)
1 000	7.533
2 000	5.668
3 000	4.823
4 000	3.970
5 000	3.108
6 000	2.240
7 000	1.375
8 000	0.515
9 000	0.160
10 000	0.149
50 000	0.13

^a All calculations done at altitude 0 km (100 ft) sea level.
Source: Thomson - Brooks/Cole

Kemudian Newton merumuskan gaya gravitasi yang berlaku jika suatu objek berada pada ketinggian tertentu dari permukaan bumi, hal tersebut dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Gaya gravitasi sebuah objek yang bermassa m di atas permukaan bumi adalah:

$$F = G \frac{m_1 m_e}{(R_{e^c} + h)^2}$$

Apabila ingin menentukan massa bumi (m_e) dengan menggunakan perumusan gaya gravitasi :

$$F_g = mg$$

$$G \frac{m_1 m_e}{R_e^2} = mg$$

$$g = \frac{G m_e}{R_e^2}$$

$$m_e = \frac{G m_e}{R_e^2} = \frac{(9.8 \text{ m/s}^2)(6.37 \cdot 10^6 \text{ m})^2}{6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2 / \text{kg}^2} = 6.0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Persamaan gravitasi di atas khusus untuk objek yang berada pada ketinggian h dari pusat bumi. Apabila suatu objek bila ditempatkan di permukaan bumi maka energi potensial gravitasinya :

$$U_B = \frac{-G m_e m}{R_e}$$

Kemudian objek tersebut dipindahkan ke titik A yang mempunyai ketinggian h di atas permukaan bumi maka besar energi potensial gravitasinya (gambar 5.14) :

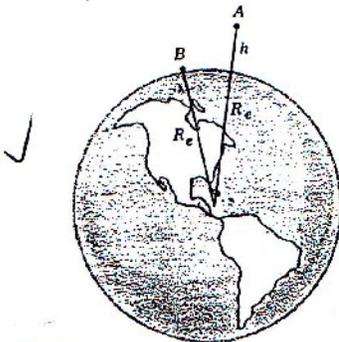


FIGURE 5.14
The potential energy of a mass at point A is greater than at point B.

(Gambar 5.14)

$$U_A = \frac{-G m_e m}{R_e + h}$$

Maka perbedaan energi potensial di antara kedua titik tersebut adalah :

$$\begin{aligned}
U_A - U_B &= gR_e^2 m \left(\frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_e + h} \right) \\
&= gR_e m \frac{(R_e + h) - R_e}{R_e(R_e + h)} \\
&= mgR_e^2 \frac{h}{R_e(R_e + h)} \\
&= mgh \frac{R_e}{R_e + h}
\end{aligned}$$

Jika ketinggian h kecil dibandingkan jari-jari bumi maka nilai $\frac{R_e}{R_e + h}$ dianggap

satu, sehingga $U_A - U_B = mgh$

Sebuah contoh: Sebuah objek bermassa m ingin dilemparkan ke ruang angkasa bebas, Berapakah kecepatan minimum yang diperlukan agar objek tersebut ke luar angkasa ?

Jawab : $U = -\frac{Gm_e m}{R_e}, K = \frac{1}{2}mv^2$

$$E_m = U + K$$

$$0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{Gm_e m}{R_e}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Gm_e}{R_e}} = \sqrt{2gR_e} = 11.2 \text{ km/s}$$

Jadi cepat landas minimum yang dibutuhkan suatu objek agar terlepas dari permukaan bumi sebesar 11.2km/s

Atau dengan menggunakan cara lain :

$$U_e + K_e = U_\infty + K_\infty = 0$$

$$K_e = -U_e = \frac{Gm_e m}{R_e}$$

$$v^2 = \frac{2Gm_e}{R_e} = 2gR_e$$

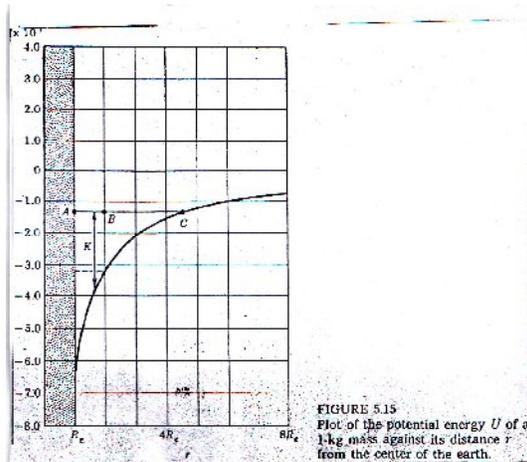
$$v = 11.2 \text{ km/s}$$

Energi potensial sebuah objek 1kg di dekat permukaan bumi adalah:

$$U = \frac{-Gm_e}{R_e} \times 1\text{kg} = -6.3 \times 10^7 \text{ J}$$

Energi potensial akan bertambah dan energi kinetika akan berkurang apabila suatu objek dipindahkan pada ketinggian yang lebih tinggi dari pusat permukaan bumi, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 5.15 yang mendeskripsikan hubungan antara jarak dari pusat bumi dengan energi mekanik.

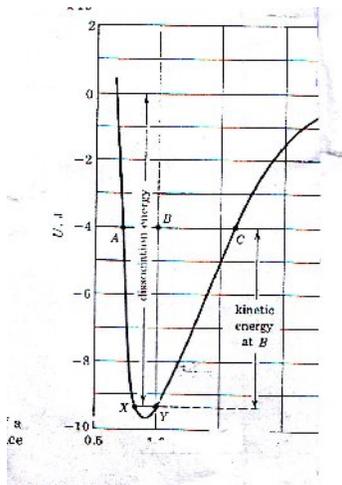
Dari gambar 5.15 terlihat di titik A atau objek berada pada permukaan bumi energi kinetiknya $5.0 \times 10^7 \text{ J}$ sedangkan energi potensianya sebesar $-6.3 \times 10^7 \text{ J}$ maka energi mekaniknya 1.10^7 J . pada titik B objek dipindahkan sebesar $2R_e$ dari pusat bumi maka energi kinetiknya $1.85 \times 10^7 \text{ J}$ serta energi potensialnya $-3.15 \times 10^7 \text{ J}$. Pada titik C objek dipindahkan sebesar $4.5R_e$ energi potensial sama dengan energi mekaniknya karena energi kinetik sama dengan nol karena pada ketinggian tersebut objek diam sementara kemudian jatuh kembali ke bumi. Selama proses jatuh kembali ke bumi objek tersebut energi potensialnya berkurang dan nilainya positif karena arahnya searah dengan gaya gravitasi



Gambar (5.15).

Hal tersebut dapat dianalogikan ke dalam dunia atom karena energi potensial yang sebesar $6.3 \times 10^7 \text{ J}$ sama dengan energi ikat antar atom penyusun materi, apabila diberi energi yang lebih dari $6.3 \times 10^7 \text{ J}$ maka atom-atom penyusun materi tersebut akan terlepas dari ikatannya.

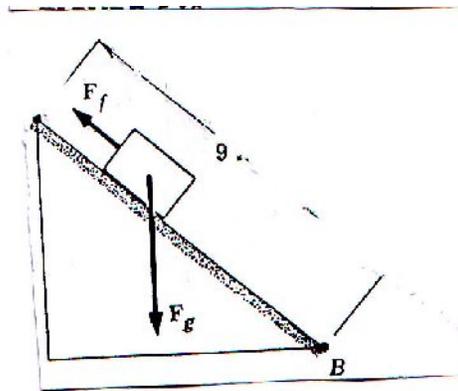
Pada gambar 5.16 merupakan plot energi potensial dari atom hidrogen dengan atom Fluor pada jarak r . Kedua atom tersebut saling bervibrasi, apabila atom hidrogen dekat dengan atom Fluor maka energi potensialnya nol sedangkan energi kinetiknya maksimum dan apabila pada simpangan terjauhnya maka akan berlaku sebaliknya (pada gambar 5.16)



Gambar (5.16)

5.6 Panas dan Energi Konservasi

Tanpa mengabaikan gaya gesek energi mekanik tidak akan konstan tetapi akan menurun. Supaya lebih jelas lihat gambar 5.17, sebuah balok 3 kg meluncur maka kerja yang dilakukan gaya gravitasi pada balok adalah :



(Gambar 5.17)

$$W_g = U_A - U_B = mgh = 3\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 6\text{m} = 176\text{J}$$

Kerja yang dilakukan oleh gaya gesek adalah $(W_f) = -12\text{N} \times 9\text{m} = -108\text{J}$

Kemudian gaya total pada balok

$$W = W_g + W_f + W_c = 176J - 108J + 0 = 68J$$

Dari teorema kerja-usaha total kerja yang dilakuakn sama dengan perubahan enenrgi kinetik balok di titi A dan di titik B :

$$W = W_g - W_f = U_A - U_B + W_f = K_B - K_A = 68J$$

Dengan menyusun kembali persamaan di atas maka didapatkan :

$$K_B + U_B = K_A + U_A + w_f$$

$$E_m(B) - E_m(A) = W_f = -108J$$

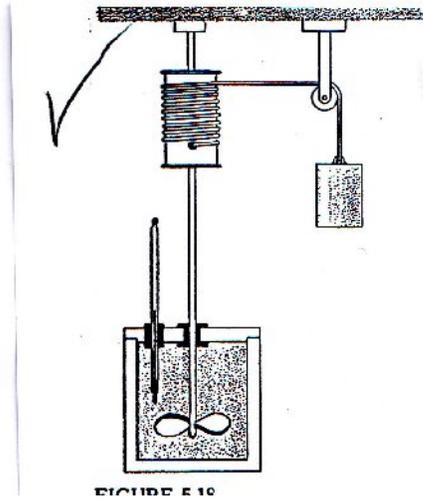
Dari bentuk persamaan di atas dapat dikatakan energi mekanik di B lebih kecil dibandingkan dengan balok sewaktu di titik A karena gaya gesek tidak diabaikan. Kemudian dikembangkan pertanyaan kemanakah energi yang hilang itu? Apakah energi yang hilang itu dikonversikan ke bentuk energi lain? pertanyaan tersebut sudah ada sekita 150 tahun yang lalu. Pada tahun 1840 James Prescott Joule meneliti energi mekanik yang hilang itu dikonversi dalam bentuk panas. Menurut Joule penurunan energi mekanik balok dari titik A ke titik B dikonversi menjadi pana karena gaya gesek. Sudah kita ketahui bahwa dengan menggosok tangan kita mak akan tersasa panas.

Panas merupakan suatu ukuran untuk meningkatkan temperatur. Satuan dari panas adalah kaloari. Yang didefinisikan sebagai panas yang diperlukan untuk meningkatkan temperatur 1 garm air sebesar 1 derajat celcius. Dari kesepakatan bersama bahawa 15° kalori sekarang adalah bentuk panas yang diperlukan untuk meningkatkan tempertur air dari temperatur 14.5 sampai 15.5 °C Bagian dari kalori tersebut dibutuhkan 1.004 kalori untuk meningkatkan temperatur dari 30 sampai 31. Ini sangat kecil variasi dengan temperatur

Di dalam penelitian yang sangat cermat. Joule mencermati enwergi mekanik yang hilang ini hasil dari peningkatan temperatur. Percobaannya memiliki konsep sederhana akann tetspi sangat sulit untuk percobannya. Dari gambar baling-baling akan memutar apabila balok dijatuhkan secara perlahan-lahan. Akibat baling-baling memutar tempertur air akan meningkat walaupun tidak secara signifikan. Untuk meningkatkan temperatur air 0.3 °C yang bemassa 6kg, Joule mengginakan balok 25 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 1.5 m Eneri potensial sebelumbalok dijatuhkan adalah:

$$25\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 1.5\text{m} = 367\text{J}$$

Setiap waktu balok dijatuhkan secara perlahan kemudian dikonversikan ke dalam bentuk energi kinetik sehingga kincir memutar serta temperatur air meningkat. Peningkatan temperatur 0.3°C dari air yang bermassa 6 kg maka kalor yang dihasilkan sebesar $0.3 \times 6000\text{kg} = 1800\text{cal}$



Terdapat bentuk energi lain seperti energi cahaya, listrik, kimia maupun nuklir. Tiap energi memiliki karakteristik masing-masing kemampuan untuk mentransfernya. Sebagai contoh PLTA mengkonversi dari tenaga air menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin. Begitu banyak energi yang tersedia di alam ini, yang menjadi pertanyaan sekarang bagaimanakah manusia cara memanfaatkan energi yang diberi oleh Allah swt? Hukum konversi energi yaitu energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan.

Aplikasi

1) Baterai Bakteri

Baterai yang digunakan oleh bakteri dengan desain baru telah ditemukan. Ini akan membuka peluang untuk menghasilkan energi dari limbah yang mengandung gula. Siapa tahu kelak handphone kita akan mendapat suplai listrik dengan hanya memasukkan balok kecil gula batu! Desain yang dimaksud adalah baterai bakteri tanpa mediator difusi elektron yang mengubah gula menjadi energi listrik, yang telah dibuat dengan mencapai efisiensi lebih dari 80%. Tiga terobosan penting telah dicapai. Pertama, efisiensi 80% dalam oksida gula oleh mikroba. Kedua, tidak diperlukan mediator difusi elektron oleh

anoda. Ketiga, dapat menghasilkan arus yang konstan untuk periode waktu yang cukup lama.

Masalah energi yang kini kita hadapi oleh kita, oleh manusia pada dasarnya ada dua yakni menghasilkan energi dengan kuantitas yang cukup dan kelestarian lingkungan dalam upaya menghasilkan dan menggunakan energi. Baterai bakteri ialah suatu sel bahan bakar yang memanfaatkan metabolisme yang dilakukan oleh bakteri untuk menghasilkan elektron yang kemudian dialirkan melalui rangkaian luar untuk menghasilkan energi listrik

Selama ini telah ada tiga tipe bakteri yang dikembangkan. Baterai bakteri A yaitu baterai yang menggunakan bahan atau mediator redoks yang dapat menembus sel bakteri. Bahan redoks adalah bahan yang dapat menerima atau menyerahkan elektron dengan mudah. Bahan redoks ini ditambahkan ke dalam larutan tempat hidup bakteri sehingga elektron yang dihasilkan selama proses fermentasi atau proses metabolisme lain dapat diangkut ke anoda. Baterai bakteri tipe B ialah baterai yang mengandung bakteri yang mereduksi logam (misalnya bakteri golongan *Geobactraceae*). Terakhir baterai bakteri tipe C yang menghasilkan fermentasi di elektroda, biasanya dengan katalis logam mulia. Ketiganya memiliki kelebihan masing-masing. Tipe A memiliki rapat arus yang cukup besar tetapi namun memerlukan mediator toksik. Baterai tipe B baterai yang mengandung bakteri yang dapat hidup di lingkungan alami namun pertumbuhannya lambat dan akibatnya rapat arusnya sangat rendah. Baterai bakteri tipe C didapat dengan mudah ditemukan namun memerlukan elektroda dari logam mulia

2) Energi di dalam sel

Salah satu tujuan dari ilmu biologi adalah untuk mengintegrasikan informasi mengenai DNA, RNA, protein dan mengenai interaksi ketiganya tersebut. Ini membutuhkan jutaan manipulasi untuk mendeskripsikan hal tersebut walaupun dengan menggunakan superkomputer tidak juga mampu mendeskripsikan ketiga sel tersebut. Salah satu cabang fisika adalah mekanik statistik yang mempelajari energi rata-rata sebuah atom atau molekul dan probabilitas dari nilai peluang untuk menentukan suatu keadaan. Hubungan antara energi dan peluang adalah jantung dari biofisika modern. Pertama akan

diperkenalkan konsep dasar mengenai peluang dan energi melalui contoh sederhana ini sehingga dapat memahami potensial membran.

1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1

The probability P that a given atom has 1 quantum of energy is $P(1) = 1/5 = 0.2$.
 The probability P that a given atom has 0 quanta of energy is $P(0) = 4/5 = 0.8$.

$$\frac{P(E_2)}{P(E_1)} = \frac{e^{-E_2/kT}}{e^{-E_1/kT}} = e^{(E_1-E_2)/kT}$$

$$P(E) \propto e^{-E/kT}$$

Salah satu aplikasi mengenai mekanika Boltzman dalam bidang biologi adalah untuk memahami hubungan potensial muatan yang dapat menyebrangi suatu sel membran dengan konsentrasi dari ion dari kedua sisi membran sebagai ilustrasi ada pada gambar dibawah ini

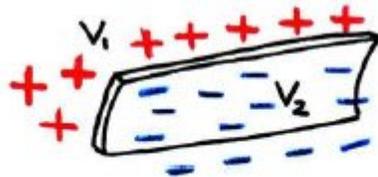


Figure 1. A membrane with outside potential V1 and inside potential V2.

Energi potensial ion dirumuskan sebagai berikut:

$$E = qV.$$

$$\frac{P(E_1)}{P(E_2)} = \frac{e^{-qV_1/kT}}{e^{-qV_2/kT}} = e^{-q(V_1-V_2)/kT}$$

$$\frac{C_1}{C_2} = e^{-q(V_1-V_2)/kT}$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{P(E_1)}{P(E_2)}$$

$$V_1 - V_2 = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right).$$

Ket: q (muatan elektron) = $-1.6 \cdot 10^{-16} C$

T (suhu tertentu) = 310K

$$V_1 - V_2 = - (61 \text{ mV}) \log\left(\frac{C_1}{C_2}\right) \text{ (positive ion)}$$

Ion	C_1 (outside)	C_2 (inside)
K^+	4	155
Cl^-	120	4
Na^+	145	12
TOTAL	29	163

Table 1. Ion concentrations outside and inside nerve cells.

Maka untuk mengetahui beda potensial antar kedua membran akibat muatan adalah :

Misalkan untuk menentukan beda potensial muatan kalsium (K) di kedua membran berdasarkan tabel di atas adalah :

$$V_1 - V_2 = - (61 \text{ mV}) \log\left(\frac{4}{155}\right) = 96.9 \text{ mV}.$$

Misalkan untuk menentukan beda potensial muatan klorida (Cl^-) di kedua membran adalah:

$$V_1 - V_2 = (61 \text{ mV}) \log\left(\frac{120}{4}\right) = 90.1 \text{ mV}.$$

Hasil di atas pada bab ini dapat disimpulkan :

- ❖ Teorema energi-usaha : Total kerja yang dilakukan suatu objek sama dengan perubahan energi kinetiknya.
- ❖ Dengan mengabaikan gaya gesek penjumlahan energi kinetik dengan energi potensialnya atau energi mekaniknya akan konstan