

Fisika Umum (MA301)

Topik hari ini:

- Hukum Gerak
- Energi
- Momentum

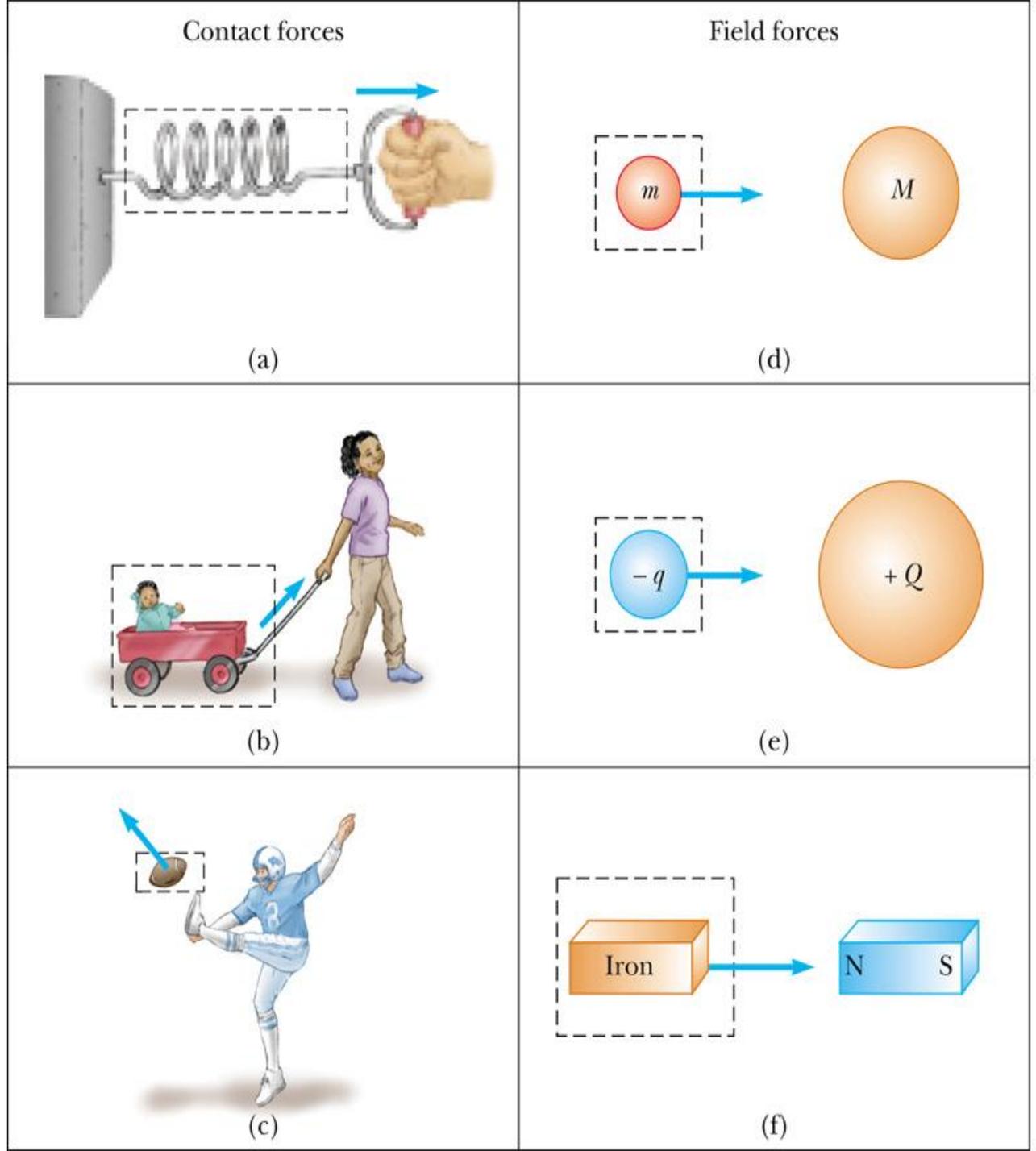
Hukum Gerak

Mekanika Klasik

- Menjelaskan hubungan antara gerak benda dan gaya yang bekerja padanya
- Kondisi ketika Mekanika Klasik tidak dapat diterapkan
 - benda yang sangat **kecil** ($<$ ukuran atom)
 - benda bergerak **mendekati** kecepatan cahaya

Gaya

- Biasanya dibayangkan sebagai dorongan atau tarikan
- Besaran Vektor
- Bisa bersentuhan (contact forces) atau tak bersentuhan (medan gaya/field forces)



Gaya Fundamental

- Tipe

- Gaya inti kuat
- Gaya elektromagnetik
- Gaya inti lemah
- Gravitasi

- Karakteristik

- Semuanya termasuk gaya tak sentuh (medan gaya/field forces)
- Berurut dengan kekuatannya yang menurun
- Hanya gravitasi dan elektromagnetik dalam mekanika

Hukum I Newton

- Jika tidak ada gaya yang bekerja pada sebuah benda, maka keadaan gerak benda akan sama seperti semula, kecuali jika ada gaya eksternal yang bekerja padanya; dengan kata lain, sebuah benda akan selamanya diam atau terus menerus bergerak dengan kecepatan tetap jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja padanya

Hukum I Newton (lanjutan)

- Gaya eksternal
 - Gaya yang berasal dari interaksi antara benda dengan lingkungannya
- Pernyataan lain dari **Hukum I Newton**
 - Ketika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada benda, percepatan benda akan sama dengan nol.

Inersia dan Massa

- **Inersia** adalah kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan geraknya semula
- **Massa** adalah sebuah **ukuran dari inersia**, yaitu ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan geraknya karena pengaruh gaya
- Ingat: massa adalah sebuah **kuantitas skalar**

Satuan Massa	
SI	kilogram (kg)
CGS	gram (g)
USA & UK	slug (slug)

Inersia and Massa: Contoh

Kereta nyasar

- **Inersia** adalah kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan geraknya semula
- **Massa** adalah sebuah ukuran dari inersia, yaitu ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan geraknya karena pengaruh gaya



Hukum II Newton

- Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya netto yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m} \quad \text{atau} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

- \vec{F} dan \vec{a} keduanya adalah vektor
- Dapat juga diterapkan dalam tiga dimensi
 - Percepatan dapat juga disebabkan oleh perubahan arah kecepatan

Hukum II Newton (lanjutan)

- **Ingat:** $\sum \vec{F}$ merepresentasikan penjumlahan vektor dari semua gaya eksternal yang bekerja pada benda
- Karena persamaan di atas adalah persamaan vektor, kita dapat menuliskannya **dalam bentuk komponen:**

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} : \begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \\ F_z = ma_z \end{cases}$$

Satuan Gaya

- Satuan gaya (SI) adalah Newton (N)

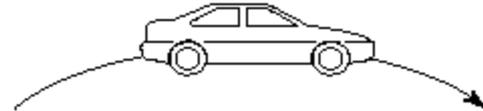
$$1 \text{ N} \equiv 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$$

Satuan Gaya	
SI	Newton (N=kg m/ s ²)
CGS	Dyne (dyne=g cm/s ²)
USA & UK	Pound (lb=slug ft/s ²)

- $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne} = 0.225 \text{ lb}$

Tes Konsep 1

Sebuah mobil melewati belokan dengan tidak mengubah laju. Apakah terdapat gaya netto pada mobil tersebut ketika sedang melewati belokan?



- a. Tidak—lajunya tetap
- b. Ya
- c. Bergantung ketajaman belokan dan laju mobil
- d. Bergantung pengalaman pengemudi mobil

Jawab b

Cat : Percepatan muncul karena adanya perubahan laju dan atau arah dari sebuah benda. Jadi, karena arahnya telah berubah, percepatan muncul dan sebuah gaya pasti telah diberikan pada mobil tersebut.

Gaya Gravitasi

- Gaya saling tarik menarik antara dua benda
- Diungkapkan oleh **Hukum Newton tentang Gravitasi Umum**:

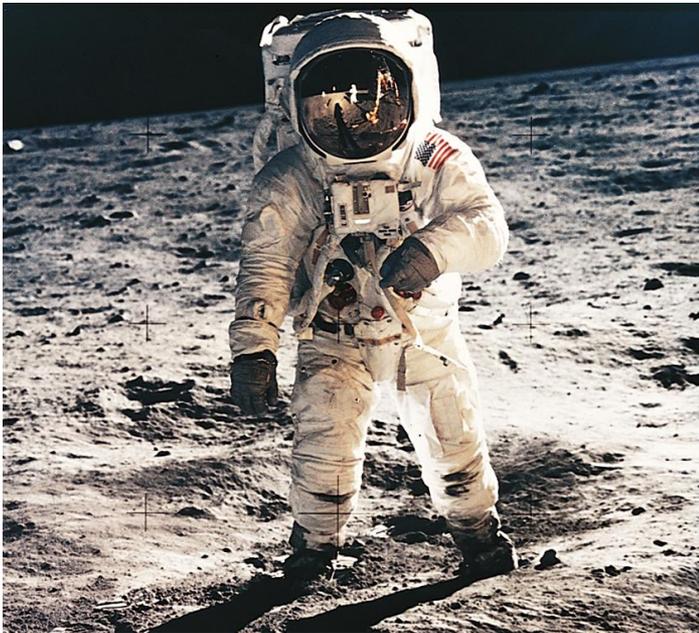
$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Berat

- Besarnya gaya gravitasi yang bekerja pada benda bermassa m di dekat permukaan bumi dinamakan berat w dari benda
 - $w = m g$ adalah kasus khusus dari Hukum II Newton
- g dapat ditemukan juga pada Hukum Gravitasi Umum

Berat (lanjutan)

- Berat **bukan** sifat khas yang dimiliki sebuah benda
 - massa adalah sifat khas benda
- Berat bergantung pada lokasi



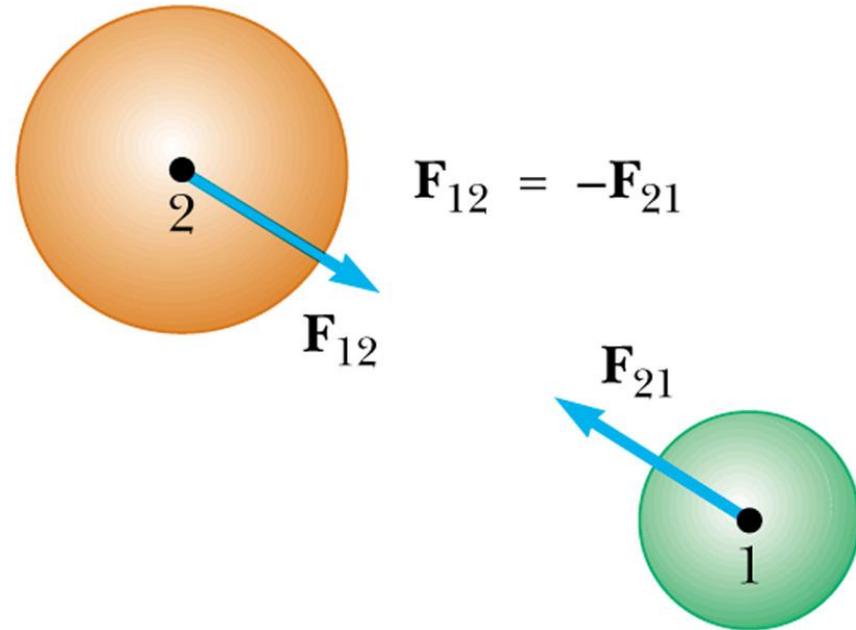
Hukum III Newton

- Jika dua benda berinteraksi, gaya F_{12} yang dikerjakan oleh benda 1 pada benda 2 adalah sama besar tetapi berlawanan arah dengan gaya F_{21} yang dikerjakan oleh benda 2 pada benda 1.

Contoh: Hukum III Newton

- Tinjau tumbukan antara dua bola
- F_{12} dapat dinamakan gaya aksi dan F_{21} gaya reaksi
 - Sebenarnya, salah satu gaya dapat sebagai aksi ataupun reaksi
- Gaya aksi dan reaksi bekerja pada benda yang berbeda

© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

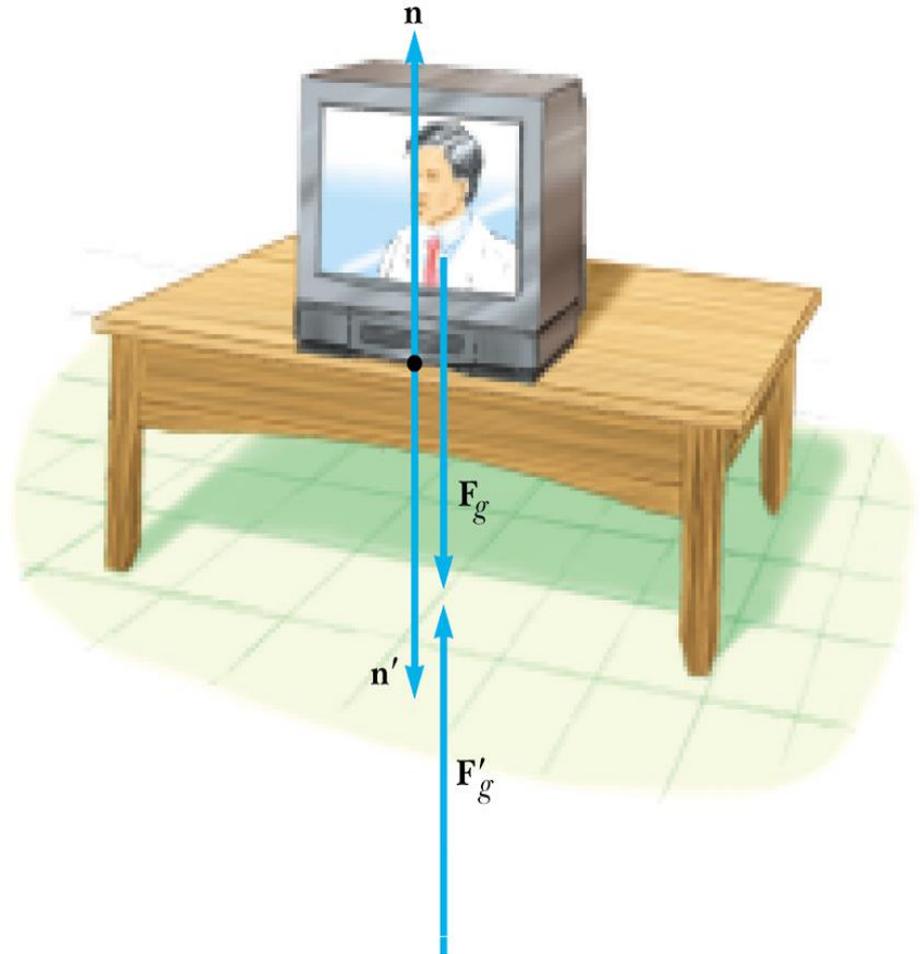


(b)

Contoh 1: Pasangan Aksi-Reaksi

- n dan n'
 - n adalah gaya **normal**, gaya dari meja yang dikerjakan pada TV
 - n selalu tegak lurus permukaan
 - n' adalah reaksi – gaya dari TV pada meja
 - $n = -n'$

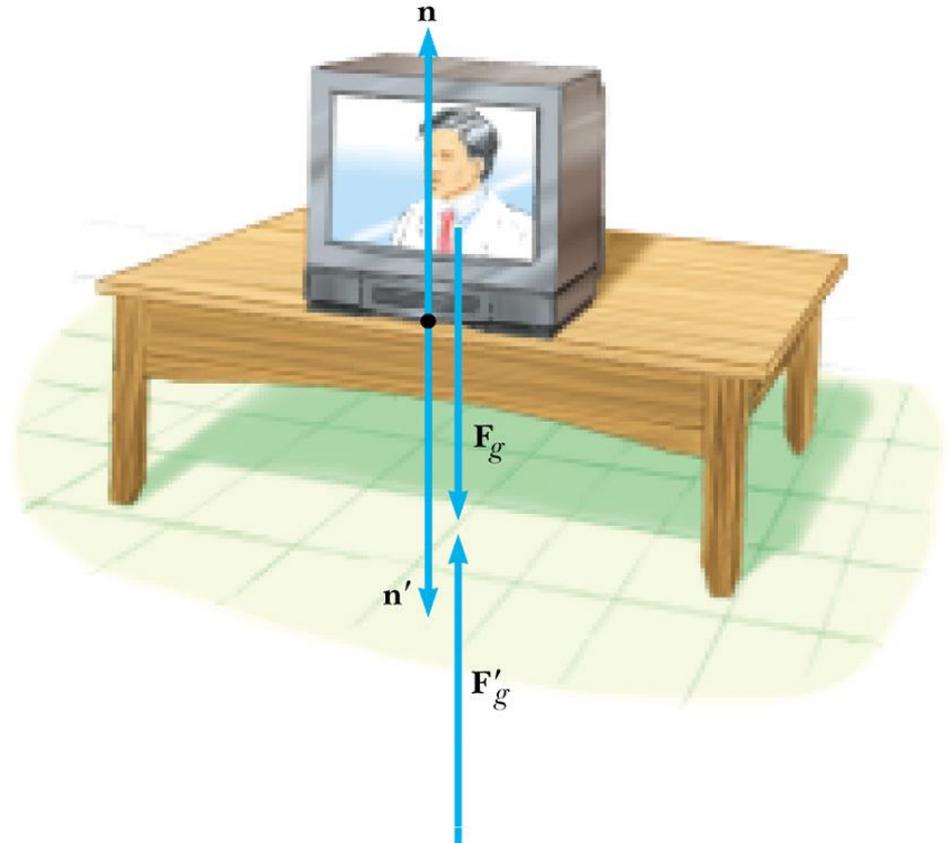
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning



Contoh 2: Pasangan Aksi-Reaksi

- F_g dan F_g'
 - F_g adalah gaya yang dikarjakan bumi pada benda
 - F_g' adalah gaya yang dikarjakan benda pada bumi
 - $F_g = -F_g'$

© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning



Bagaimana antara n dengan F_g dan n' dengan F_g' ?
Apakah pasangan aksi reaksi?

Tes Konsep 2

Tinjauilah seseorang yang berdiri pada sebuah elevator yang sedang dipercepat ke atas. Gaya normal ke atas N yang dikerjakan oleh rantai elevator pada orang tersebut adalah

- a. lebih besar
- b. sama dengan
- c. lebih kecil
- d. nol, yaitu tidak berkaitan dengan

berat W orang tersebut.

Jawab a

Keseimbangan

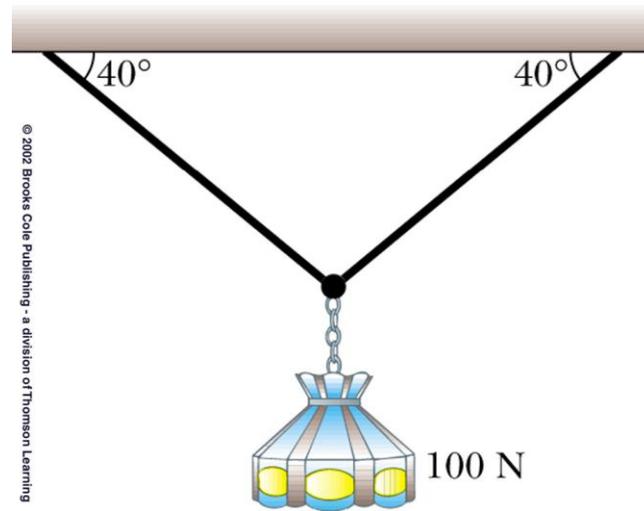
- Sebuah benda yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan dikatakan berada dalam **keseimbangan**
- Gaya netto yang bekerja pada benda sama dengan nol

$$\sum \vec{F} = 0 \begin{cases} \rightarrow \sum F_x = 0 \\ \rightarrow \sum F_y = 0 \end{cases}$$

- Memudahkan bekerja dengan persamaan di atas dalam komponennya

Contoh 1. Soal Kesetimbangan

Carilah tegangan pada kedua tali bila keduanya diberikan beban 100 N seperti pada gambar?



Gaya Gesek

- Ketika sebuah benda bergerak di atas permukaan atau melewati medium yang kental, maka benda akan mengalami **hambatan** dalam gerakanya
 - Hal ini disebabkan akibat adanya interaksi antara benda dengan lingkungannya
- Hambatan ini disebut **gaya gesek**

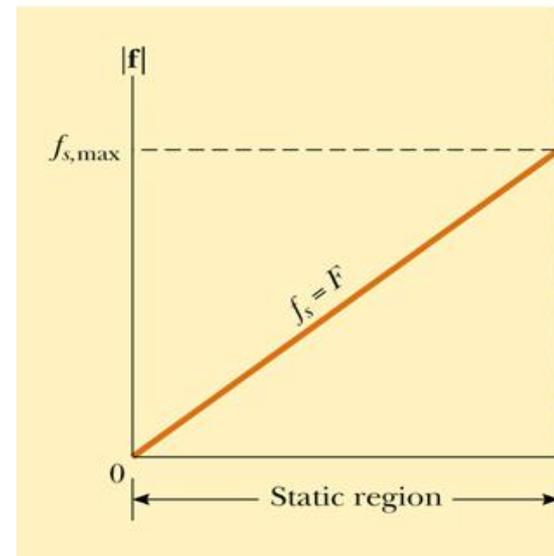
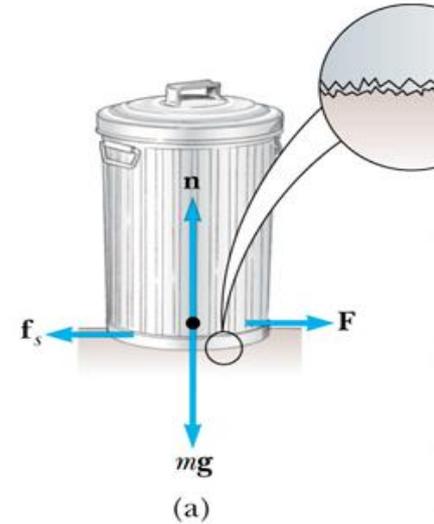
Gaya Gesek (Lanjutan)

- Gaya gesek sebanding dengan gaya normal
- Gaya gesek statis biasanya lebih besar daripada gaya gesek kinetis
- Koefisien gesekan (μ) bergantung pada permukaan kontak
- Arah gaya gesek berlawanan dengan arah gerak benda
- Koefisien gesekan tidak bergantung pada luas permukaan kontak

Gesekan Statis, f_s

- Gesekan statis bekerja untuk menjaga benda dari bergerak
- Jika F bertambah, begitu juga f_s
- Jika F berkurang, begitu juga f_s

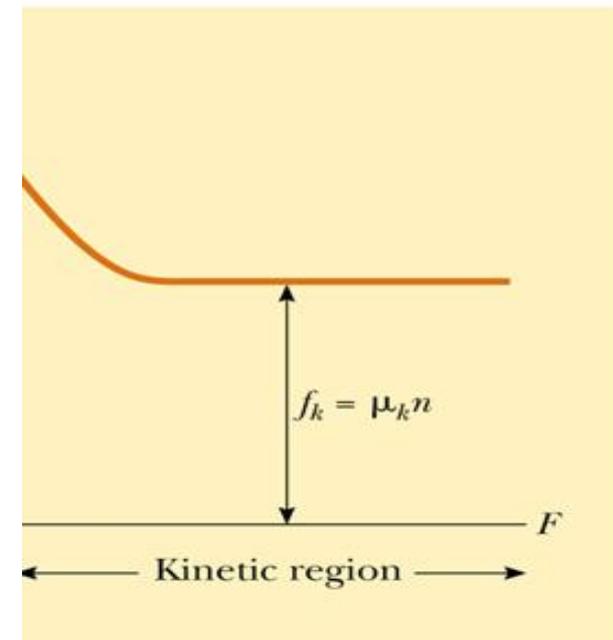
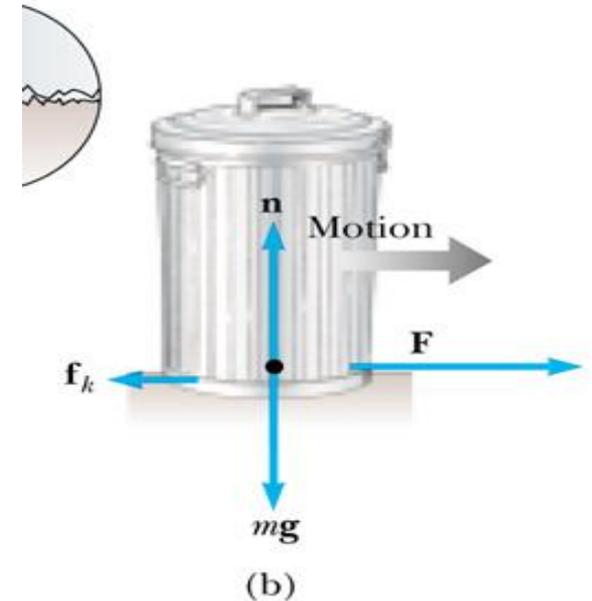
$$f_s \leq \mu n$$



Gaya Gesek Kinetik

- Gaya gesek kinetik muncul ketika sebuah benda sedang bergerak

$$f_k = \mu n$$



Tes Konsep 3

Anda mendorong peti kayu di atas lantai dengan laju konstan. Kemudian anda memutuskan untuk membalikkan ujungnya, sehingga luas permukaan yang bersentuhan dengan lantai menjadi setengah dari semula. Dalam posisi yang baru ini, bila anda mendorong peti kayu tersebut dengan laju yang sama dengan laju semula, maka gaya yang anda kerjakan pada peti kayu tersebut haruslah

- a. empat kali lebih besar
- b. dua kali lebih besar
- c. sama besar
- d. setengah kali lebih besar
- e. seperempat kali lebih besar

dengan gaya yang anda berikan sebelum merubah posisi peti kayu.

Jawab c

Pendahuluan

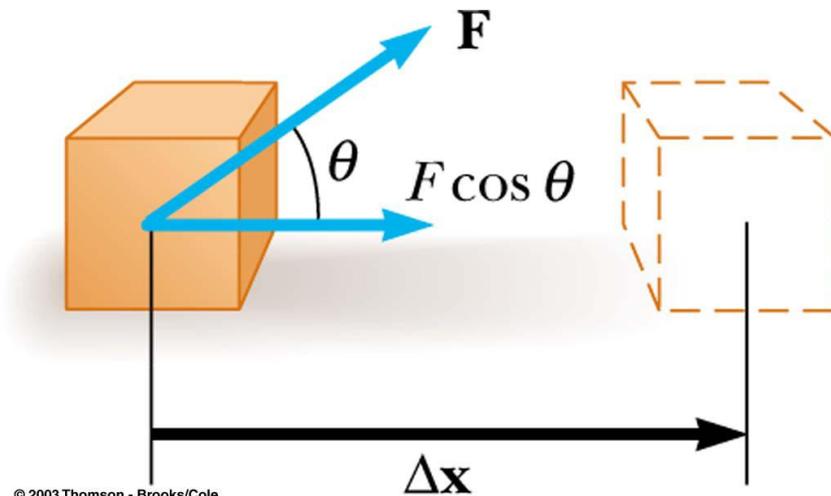
- Bentuk dari energi:
 - mekanik
 - Fokus saat ini ✓
 - kimia
 - elektromagnet
 - Inti
- Energi bisa ditransformasi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain
- Dapat digunakan Hukum Newton untuk menyelesaikan permasalahan yang sederhana

Usaha

- Menyatakan hubungan antara **gaya** dan **energi**
- Usaha, W , yang dilakukan oleh gaya konstan pada sebuah benda didefinisikan sebagai **perkalian** antara **komponen gaya sepanjang arah perpindahan** dengan **besarnya perpindahan**

$$W \equiv (F \cos \theta) \Delta x$$

- $(F \cos \theta)$ komponen dari gaya sepanjang arah perpindahan
- Δx adalah besar perpindahan



Usaha (lanjutan)

- Tidak memberikan informasi tentang:
 - waktu yang diperlukan untuk terjadinya perpindahan
 - Kecepatan atau percepatan benda
- **Catatan:** usaha adalah nol ketika:
 - Tidak ada **perpindahan**
 - Gaya dan perpindahan saling **tegak lurus**, sehingga $\cos 90^\circ = 0$ (jika kita membawa ember secara horisontal, gaya gravitasi tidak melakukan kerja)

$$W \equiv (F \cos \theta) \Delta x$$



Usaha (lanjutan)

- Besaran **Skalar**

Satuan Usaha	
SI	joule ($J=N \text{ m}$)
CGS	erg ($\text{erg}=\text{dyne cm}$)
USA & UK	foot-pound ($\text{foot-pound}=\text{ft lb}$)

- Jika terdapat banyak gaya yang bekerja pada benda, usaha total yang dilakukan adalah penjumlahan aljabar dari sejumlah usaha yang dilakukan tiap gaya

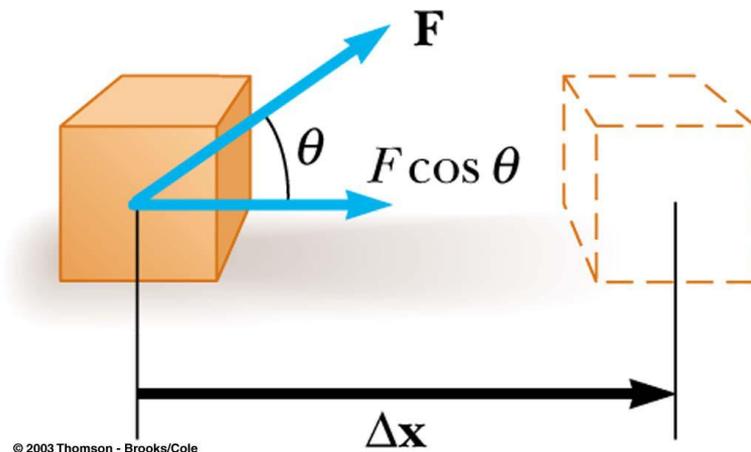
Energi Kinetik

- Energi diasosiasikan dengan gerak sebuah benda
- Besaran skalar, satuannya sama dengan usaha
- Kerja berhubungan dengan energi kinetik
- Misalkan F adalah sebuah gaya konstan:

$W_{\text{net}} = Fs = (ma)s$, sedangkan:

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot s, \text{ atau } a \cdot s = \frac{v^2 - v_0^2}{2}.$$

$$\text{Sehingga: } W_{\text{net}} = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right) = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2} - \underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2}.$$



Besaran ini disebut energi kinetik:

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

Teorema Usaha-Energi Kinetik

- Ketika usaha dilakukan oleh gaya neto pada sebuah benda dan benda hanya mengalami perubahan laju, usaha yang dilakukan sama dengan perubahan energi kinetik benda

- $$W_{net} = KE_f - KE_i = \Delta KE$$

- Laju akan bertambah jika kerja positif
- Laju akan berkurang jika kerja negatif

Usaha dan Energi Kinetik (lanjutan)

Palu yang bergerak mempunyai energi kinetik dan dapat melakukan usaha pada paku (palu mengalami perubahan kecepatan)



Tes Konsep 4

Dua buah kelereng, salah satu lebih berat dua kali dari yang lain, dijatuhkan ke tanah dari atap sebuah bangunan. Sesaat sebelum menumbuk tanah, kelereng yang lebih berat memiliki energi kinetik

- a. sama dengan kelereng yang lebih ringan
- b. dua kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- c. setengah kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- d. seperempat kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- e. tidak dapat ditentukan

Jawab b

Energi Potensial

- **Energi Potensial** diasosiasikan dengan **posisi** sebuah benda dalam sebuah sistem
 - Energi potensial adalah sifat dari sistem, bukan benda
 - Sebuah sistem adalah kumpulan dari benda atau partikel yang saling berinteraksi melalui gaya
- **Satuan** dari **Energi Potensial** adalah sama dengan Usaha dan **Energi kinetik**

Energi Potensial Gravitasi

- Energi potensial Gravitasi adalah energi yang berkaitan dengan posisi relatif sebuah benda dalam ruang di **dekat permukaan bumi**
 - Benda berinteraksi dengan bumi melalui gaya gravitasi
 - Sebenarnya energi potensial dari sistem bumi-benda

Usaha dan Energi Potensial Gravitasi

- Tinjau sebuah buku bermassa m pada ketinggian awal y_i
- Usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi:

$$W_{\text{grav}} = \langle \mathbf{F} \cos \theta \rangle s = (mg \cos \theta)s, \text{ dengan :}$$

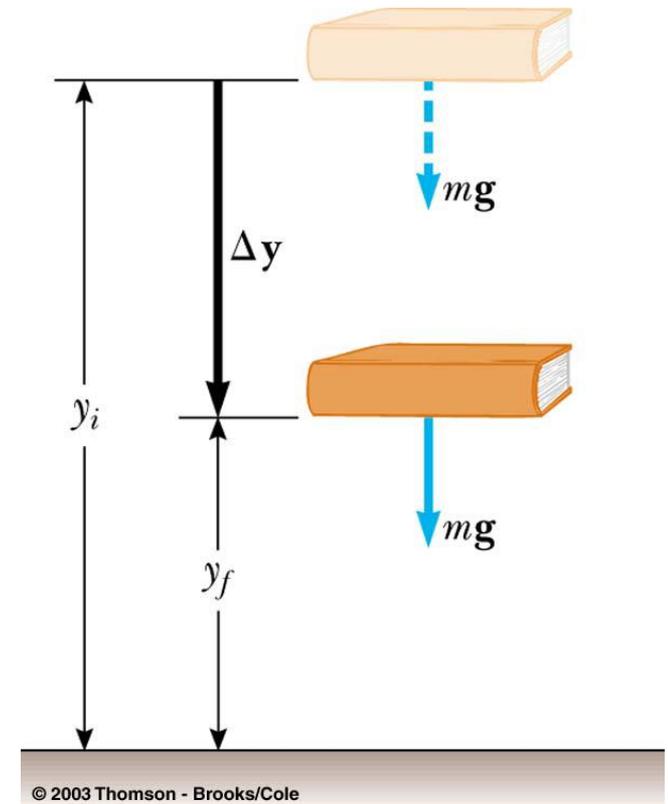
$$s = y_i - y_f, \cos \theta = 1,$$

$$\text{Sehingga : } W_{\text{grav}} = mg \langle y_i - y_f \rangle = \underbrace{mgy_i} - \underbrace{mgy_f}.$$

Besaran ini disebut **energi potensial**:

$$EP = mgy$$

■ **Catatan:** $W_{\text{gravity}} = EP_i - EP_f$



Titik Acuan untuk Energi Potensial Gravitasi

- Tempat dimana energi potensial gravitasi bernilai nol harus dipilih untuk setiap problem
 - Pemilihannya bebas karena **perubahan** energi potensial yang merupakan kuantitas penting
 - Pilih tempat yang tepat untuk ketinggian acuan nol
 - Biasanya permukaan bumi
 - Dapat tempat lain yang disarankan oleh problem

Gaya Konservatif

- Sebuah gaya dinamakan konservatif jika usaha yang dilakukannya pada benda yang bergerak diantara dua titik tidak bergantung pada lintasan yang dilalui benda
 - Usaha hanya bergantung pada posisi akhir dan awal dari benda
 - Gaya konservatif dapat mempunyai fungsi energi potensial yang berkaitan

Catatan: Sebuah gaya dikatakan konservatif jika usaha yang dilakukan pada benda yang bergerak melalui lintasan tertutup adalah nol.

Contoh Gaya Konservatif:

- Contoh gaya konservatif:
 - Gaya Gravitasi
 - Gaya Pegas
 - Gaya Elektromagnetik
- Karena kerjanya tidak bergantung lintasan:
 - $W_c = EP_i - EP_f$: hanya bergantung titik awal dan akhir

Gaya Non-Konservatif

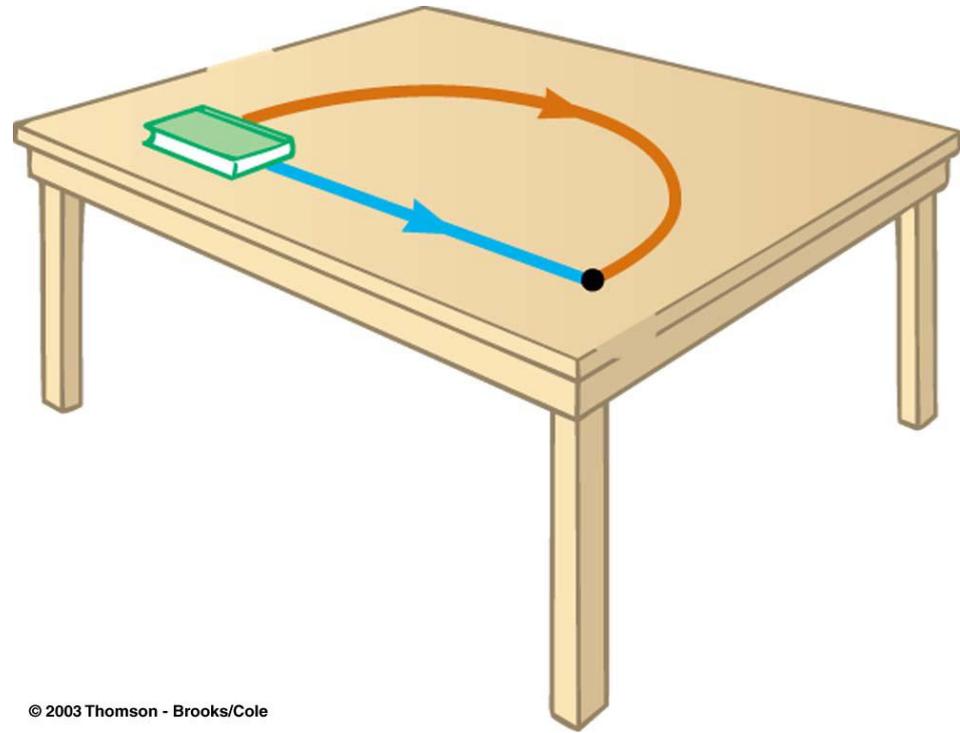
- Sebuah gaya dikatakan nonkonservatif jika kerja yang dilakukannya pada sebuah benda bergantung pada lintasan yang dilalui oleh benda antara titik akhir dan titik awal
- Contoh gaya non-konservatif
 - Gaya gesek

Contoh: Gaya Gesekan sebagai Gaya Non-konservatif

- Gaya gesek mentransformasikan energi kinetik benda menjadi energi yang berkaitan dengan temperatur
 - Benda menjadi lebih panas dibandingkan sebelum bergerak
 - *Energi Internal* adalah bentuk energi yang digunakan yang berkaitan dengan temperatur benda

Gaya Gesek Bergantung Lintasan

- Lintasan **biru lebih pendek** dari lintasan **merah**
- Kerja yang dibutuhkan lebih kecil pada lintasan **biru** daripada lintasan **merah**
- Gesekan **bergantung** pada lintasan dan merupakan **gaya non-konservatif**



Kekekalan Energi Mekanik

- Kekekalan secara umum
 - Untuk mengatakan besaran fisika *kekal* adalah dengan mengatakan nilai numerik besaran tersebut konstan
- Dalam kekekalan energi, energi mekanik total tidak berubah (konstan)
 - Dalam sebuah sistem yang terisolasi yang terdiri dari benda-benda yang saling berinteraksi melalui gaya konservatif, energi mekanik total sistem tidak berubah

Kekekalan Energi

- Energi mekanik total adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial sistem

$$E_i = E_f$$

$$EK_i + EP_i = EK_f + EP_f$$

- Energi bentuk lain dapat ditambahkan guna memodifikasi persamaan di atas

Tes Konsep 5

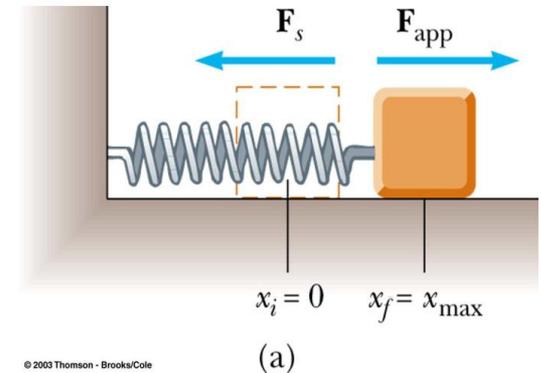
Sebuah balok dari keadaan diam diluncurkan pada sebuah bidang miring tanpa gesekan dan mencapai batas bawah bidang miring dengan laju v . Untuk mencapai laju $2v$ pada batas bawah bidang miring, berapa kali ketinggian semula balok harus dilepaskan?

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5
- f. 6

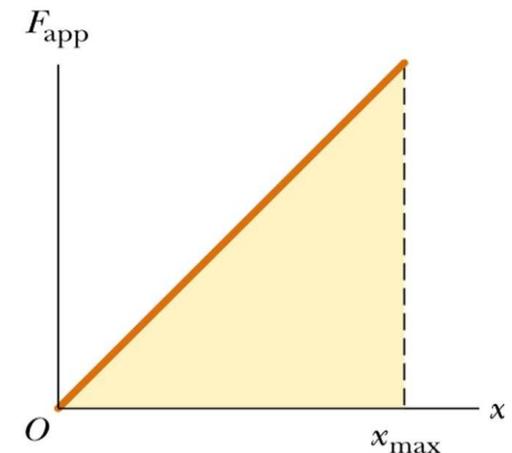
Jawab d

Energi Potensial Disimpan dalam Sebuah Pegas

- menyangkut *konstanta pegas*, k
- Hukum Hooke memberikan gaya:
 - $F = -kx$
 - F adalah gaya pemulih
 - F berlawanan dengan arah x
 - k bergantung pada pembuatan pegas, material penyusunnya, ketebalan kawat, dll.



© 2003 Thomson - Brooks/Cole



© 2003 Thomson - Brooks/Cole

Energi Potensial dalam Pegas (lanjutan)

- Energi Potensial Elastik
 - Berkaitan dengan kerja yang dibutuhkan untuk memampatkan pegas dari posisi setimbang ke posisi lain x

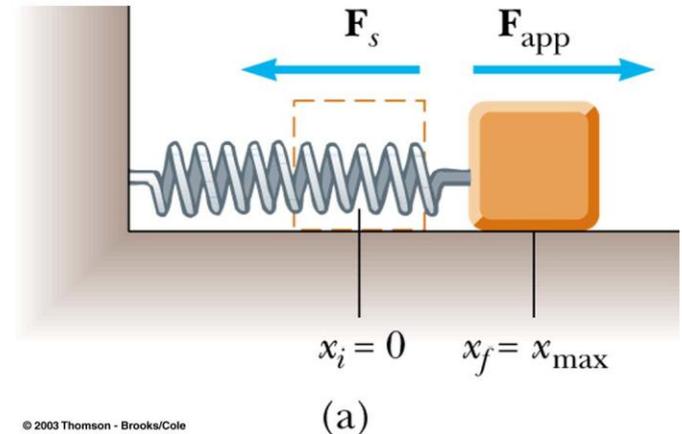
$W_{\text{spr}} = \langle \mathbf{F} \cos \theta \rangle$, dengan :

$$\cos \theta = 1, \mathbf{F} = \frac{\mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_x}{2} = \frac{\mathbf{0} + \mathbf{F}_x}{2} = \frac{-k\mathbf{x}}{2}$$

sehingga : $W_{\text{spr}} = \mathbf{0} - \underbrace{\frac{-k\mathbf{x}}{2} \mathbf{x}}_{\frac{1}{2}k\mathbf{x}^2} = \frac{1}{2}k\mathbf{x}^2$.

Dinamakan energi potensial elastik:

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



Kekekalan Energi Mencakup Pegas

- Energi potensial pegas ditambahkan di kedua ruas persamaan kekekalan energi
- $(EK + EP_g + EP_p)_i = (EK + EP_g + EP_p)_f$

Gaya Non-konservatif dengan Tinjauan Energi

- Ketika gaya non-konservatif hadir, energi mekanik sistem **tidak konstan**
- Kerja yang dilakukan oleh semua gaya non-konservatif pada bagian dari sistem **sama dengan** perubahan energi mekanik sistem

$$W_{nonconservative} = \Delta Energy$$

Transfer Energi

- Melalui **Usaha**
 - Dengan memberikan gaya
 - Menghasilkan perpindahan dari sistem



Transfer Energi

- Panas
 - Proses transfer panas melalui tumbukan antar molekul



Transfer Energi

- Gelombang Mekanik
 - Gangguan yang menjalar melalui medium
 - Contoh: suara, air, seismik



Transfer Energi

- **Transmisi Elektrik**
 - Transfer oleh arus listrik



Transfer Energi

- Radiasi Elektromagnetik
 - Berbagai bentuk gelombang elektromagnetik
 - cahaya, gelombang mikro (microwave), gelombang radio



Catatan Tentang Kekekalan Energi

- Kita tidak dapat menciptakan atau memusnahkan energi
 - Dengan kata lain energi adalah kekal
 - Jika energi total sebuah sistem tidak konstan, energi pasti telah berubah ke bentuk lain dengan mekanisme tertentu
 - Diaplikasikan ke bidang lain selain FISIKA

Daya

- *Daya* didefinisikan sebagai laju transfer (aliran) energi

- $\bar{P} = \frac{W}{t} = F\bar{v}$

- Satuan SI adalah **Watt** (W) : $W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

- USA & UK : hp (horsepower) :

$$1 \text{ hp} = 550 \frac{\text{ft lb}}{\text{s}} = 746 \text{ W}$$

- kilowatt hours (kWh) digunakan dalam tagihan listrik

Momentum

- Dari Hukum Newton: Gaya harus hadir untuk mengubah kecepatan sebuah benda (laju dan/atau arah)
- Ingin meninjau efek dari tumbukan dan kaitannya dalam perubahan kecepatan



Bola golf pada awalnya diam, energi kinetik dari tongkat golf ditransfer untuk menghasilkan gerak dari bola golf (mengalami perubahan kecepatan)

- Metode untuk menjelaskannya digunakan konsep momentum linier

$$\text{Momentum Linier} = \text{massa} \times \text{kecepatan}$$

skalar

vektor

Momentum (lanjutan)

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- **Besaran Vektor**, arah momentum sama dengan arah kecepatan
- Diaplikasikan dalam gerak dua dimensi menjadi:

$$p_x = mv_x \text{ dan } p_y = mv_y$$

**Besar momentum: bergantung pada massa
bergantung pada kecepatan**

Impuls

- Untuk **mengubah** momentum dari sebuah benda (misal bola golf), sebuah **gaya harus hadirkan**
- Laju perubahan momentum sebuah benda sama dengan gaya neto yang bekerja pada benda tsb

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}{\Delta t} = m \vec{a} \text{ atau : } \Delta \vec{p} = \vec{F}_{net} \Delta t$$

- Memberikan pernyataan lain Hukum II Newton
- $(F \Delta t)$ didefinisikan sebagai **impuls**
- Impuls adalah **besaran vektor**, arahnya sama dengan arah gaya

Contoh: Impuls diaplikasikan pada Mobil

- Faktor terpenting adalah waktu benturan atau waktu yang diperlukan pengemudi/penumpang untuk diam
 - Ini akan mengurangi kemungkinan kematian pada tabrakan mobil

- Cara untuk menambah waktu
 - Sabuk pengaman
 - Kantung udara



- kantung udara menambah waktu tumbukan dan menyerap energi dari tubuh pengemudi/penumpang

Tes Konsep 6

Misalkan sebuah bola pingpong dan bola bowling meluncur ke arah anda. Keduanya mempunyai momentum yang sama, dan anda mengerjakan gaya yang sama untuk menghentikan masing-masing bola. Bagaimana perbandingan selang untuk menghentikan kedua bola tersebut?

- a. lebih singkat untuk menghentikan bola pingpong
- b. sama
- c. lebih lama untuk menghentikan bola pingpong

Jawab b

Kekekalan Momentum

- Definisi: sebuah sistem terisolasi adalah sistem yang tidak dikenai gaya eksternal padanya

Momentum dalam sebuah sistem terisolasi dimana terjadi peristiwa tumbukan adalah konstan

- Tumbukan merupakan kontak fisik antara dua benda (atau lebih)
- Contoh: “Kontak” dapat timbul dari interaksi elektrostatik

Kekekalan Momentum(lanjutan)

Prinsip kekekalan momentum menyatakan bahwa ketika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sebuah sistem yang terdiri dari dua benda yang saling bertumbukan, **momentum total dari sistem sebelum tumbukan adalah sama dengan momentum total sistem setelah tumbukan**

Kekekalan Momentum (lanjutan)

- Secara matematik:
$$m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f}$$
- Momentum adalah konstan untuk *sistem* benda
- Sistem mencakup semua benda yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya
- Diasumsikan hanya gaya internal yang bekerja selama terjadi tumbukan
- Dapat digeneralisasi untuk jumlah benda lebih dari dua

Tes Konsep 7

Misalkan seseorang loncat dari pesawat dan menumbuk permukaan bumi. Maka bumi...

- a. tidak akan bergerak sama sekali
- b. akan terpental dengan kecepatan yang sangat kecil
- c. mungkin terpental, tapi tidak cukup informasi untuk melihat apa yang terjadi

Jawab b

Cat: momentum adalah kekal. Mari kita hitung kecepatan bumi setelah orang bermassa 80-kg menumbuknya. Misalkan laju ketika menumbuk bumi 4 m/s, maka:

Orang : $\Delta p = 320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Bumi : $\Delta p = M_{\text{Bumi}} V_{\text{Bumi}} = -320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, so

$$V_{\text{Bumi}} = \frac{-320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{6 \times 10^{24} \text{ kg}} = \underline{-5.3 \times 10^{-23} \text{ m/s}}$$

Jenis Tumbukan

- Momentum adalah kekal disetiap tumbukan

Bagaimana dengan energi kinetik?

- Tumbukan **Inelastik**
 - Energi kinetik tidak kekal $EK_i = EK_f + \text{energi hilang}$
 - Diubah menjadi jenis energi yang lain seperti panas, suara
 - Tumbukan **inelastik sempurna** terjadi ketika benda saling menempel
 - Tidak semua energi kinetik hilang

Tumbukan Inelastik Sempurna:

- Ketika dua benda saling menempel setelah tumbukan, terjadi tumbukan inelastik sempurna
- Misalkan, $v_{2i}=0$. Kekekalan momentum menjadi

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = (m_1 + m_2) v_f$$

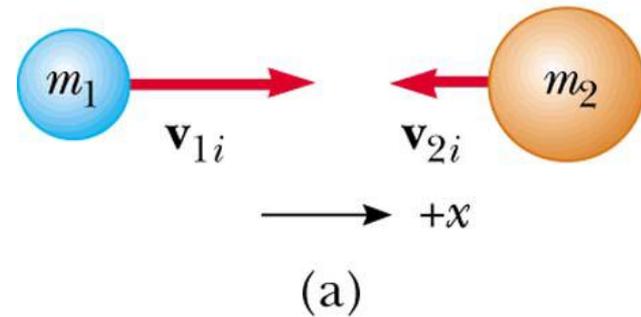
$$m_1 v_{1i} + 0 = (m_1 + m_2) v_f$$

Misal., jika $m_1 = 1000 \text{ kg}$, $m_2 = 1500 \text{ kg}$:

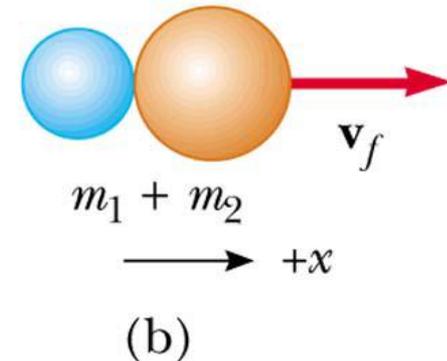
$$(1000\text{kg})(50\text{m/s}) + 0 = (2500\text{kg})v_f ,$$

$$v_f = \frac{5 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2.5 \times 10^3 \text{ kg}} = \underline{20\text{m/s.}}$$

Before collision



After collision



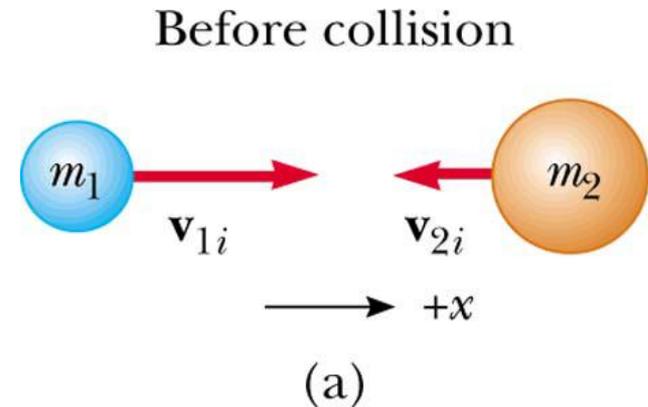
Tumbukan Inelastik Sempurna (lanjutan):

- Berapa jumlah energi kinetik yang hilang selama tumbukan?

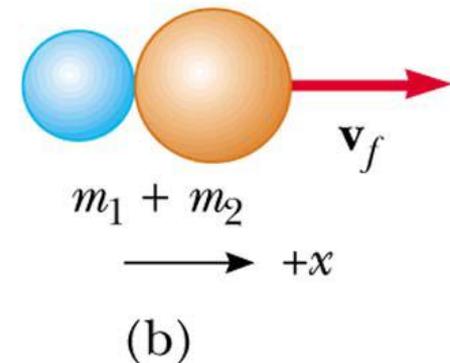
$$\begin{aligned} KE_{before} &= \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 \\ &= \frac{1}{2} (1000 \text{ kg})(50 \text{ m/s})^2 = 1.25 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KE_{after} &= \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_f^2 \\ &= \frac{1}{2} (2500 \text{ kg})(20 \text{ m/s})^2 = 0.50 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\Delta KE_{lost} = \underline{0.75 \times 10^6 \text{ J}}$$



After collision



Jenis Tumbukan (lanjutan)

- Tumbukan **Elastik**
 - momentum dan energi kinetik kekal
- Tumbukan **Sebenarnya**
 - banyak tumbukan terjadi antara elastik dan inelastik sempurna

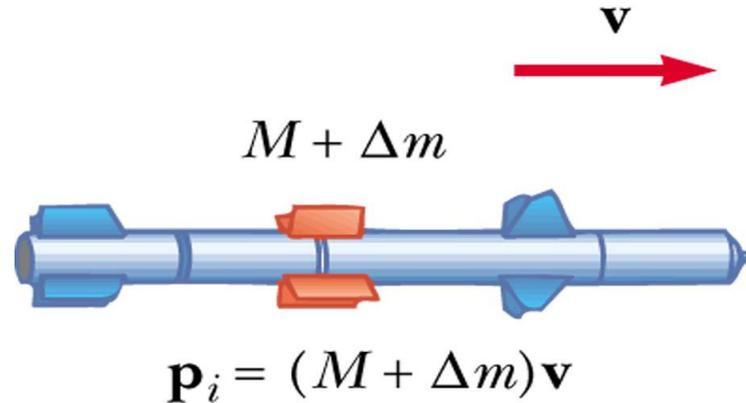
Dorongan Roket

- Prinsip roket berdasarkan pada hukum kekekalan momentum yang diaplikasikan pada sebuah sistem, dimana sistemnya adalah roket sendiri ditambah bahan bakar
 - Berbeda dengan dorongan yang terjadi di permukaan bumi dimana dua benda saling mengerjakan gaya satu dengan yang lain
 - Jalan pada mobil
 - Rel pada kereta api

Dorongan Roket (lanjutan)

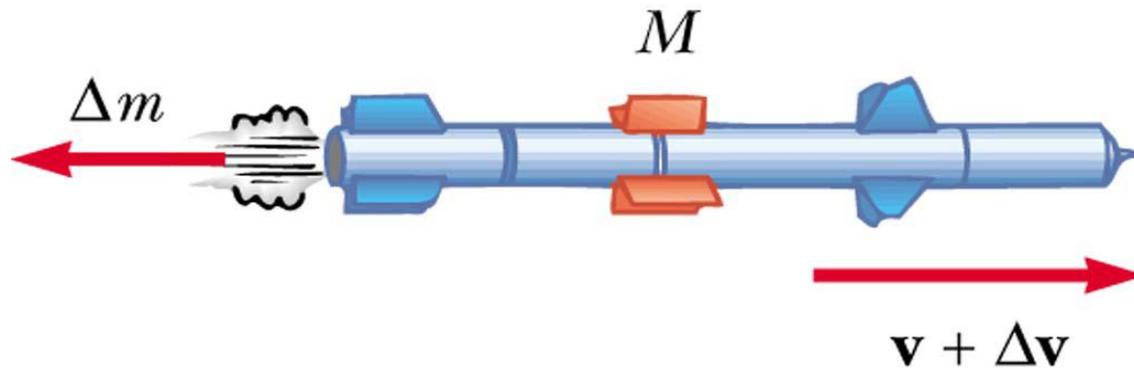
- Roket dipercepat sebagai hasil dari hantakan buangan gas
- Ini merepresentasikan kebalikan dari tumbukan inelastik
 - Momentum kekal
 - Energi kinetik bertambah

Dorongan Roket (lanjutan)



- Massa awal roket adalah $M + \Delta m$
 - M adalah massa roket
 - Δm adalah massa bahan bakar
- Kecepatan awal roket adalah v

Dorongan Roket (lanjutan)



- Massa roket adalah M
- Massa bahan bakar, Δm , telah dibuang
- Kecepatan roket bertambah menjadi $v + \Delta v$

Dorongan Roket (lanjutan)

- Persamaan dasar untuk dorongan roket adalah:

$$v_f - v_i = v_e \ln\left(\frac{M_i}{M_f}\right)$$

- M_i : massa roket + bahan bakar awal
- M_f : massa roket + bahan bakar sisa
- Laju roket berbanding lurus dengan laju buangan gas

Gaya Hentakan pada Roket

- Gaya hentakan adalah gaya yang dikerjakan pada roket oleh buangan gas
- Gaya hentakan sesaat diberikan oleh

$$Ma = M \frac{\Delta v}{\Delta t} = \left| v_e \frac{\Delta M}{\Delta t} \right|$$

- Gaya hentakan meningkat, laju buangan gas meningkat dan laju pembakaran bahan bakar ($\Delta M/\Delta t$) meningkat