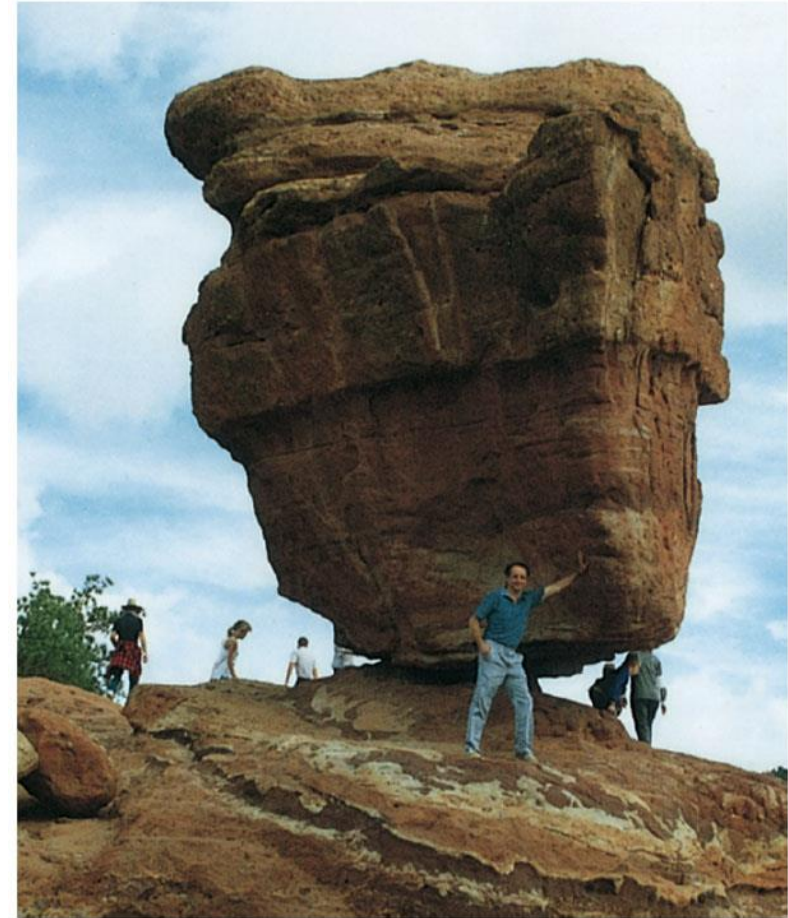


Materi 9:Keseimbangan

Kesetimbangan Statis

- Kesetimbangan dan kesetimbangan statis
- Kondisi kesetimbangan statis
 - Gaya eksternal bersih harus sama dengan nol
 - Torsi eksternal bersih harus sama dengan nol
- Pusat gravitasi
- Menyelesaikan soal kesetimbangan statis



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Keseimbangan Statis dan Dinamis

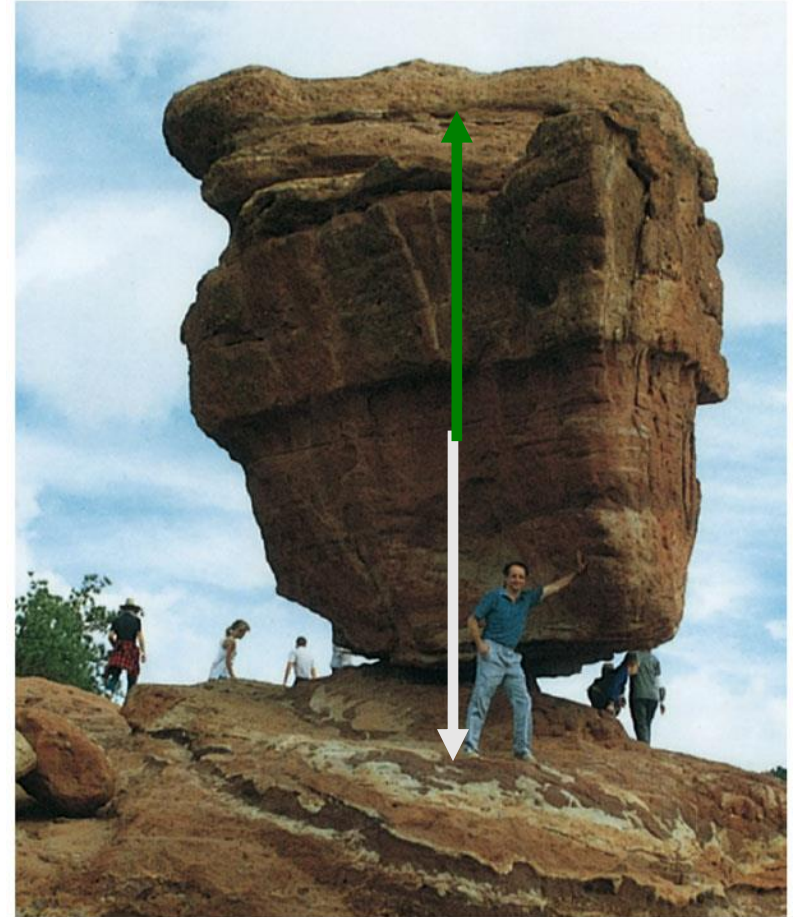
- Keseimbangan: objek diam (statis) atau pusat massa bergerak dengan kecepatan konstan (dinamis)
- Hanya membahas kasus di mana kecepatan linier dan sudut sama dengan nol, yang disebut "keseimbangan statis": $v_{PM} = 0$ dan $\omega = 0$
- Contoh
 - Buku di atas meja
 - Pigura gantung
 - Kipas langit-langit – off
 - Kipas langit-langit – on
 - Tangga bersandar di dinding

Kondisi Kesetimbangan

- Kondisi pertama dari keseimbangan adalah pernyataan ekuilibrium translasional.
- Gaya eksternal bersih pada objek harus sama dengan nol.

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} = 0$$

- Ini menyatakan bahwa percepatan translasional dari pusat massa objek harus nol.



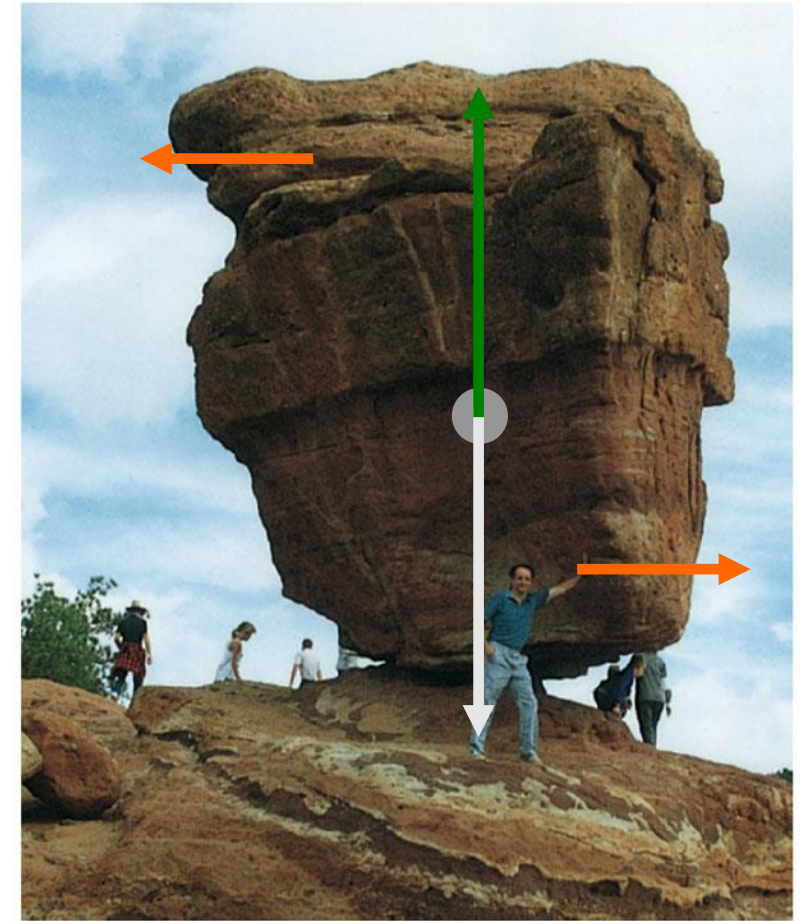
© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Kondisi Kesetimbangan

- Jika objek dimodelkan sebagai partikel, maka ini adalah satu-satunya kondisi yang harus dipenuhi.

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F}_{ext} = 0$$

- Agar objek yang diperpanjang berada dalam kesetimbangan, kondisi kedua harus dipenuhi.
- Kondisi kedua ini melibatkan gerakan rotasi dari objek yang diperpanjang.



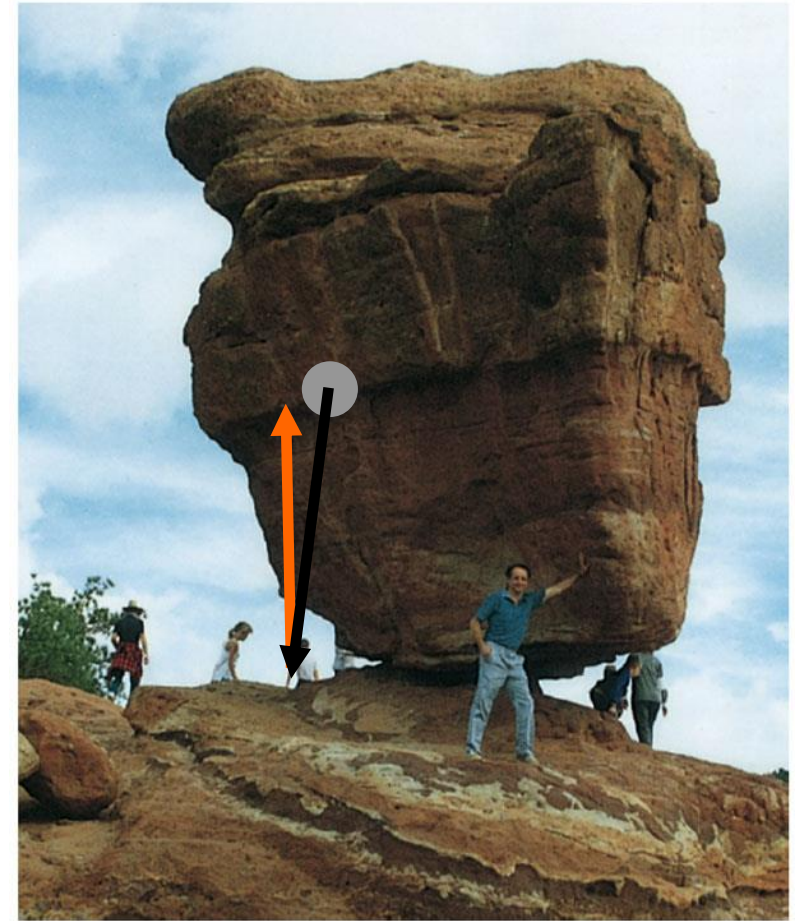
© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Kondisi Kesetimbangan

- Kondisi kedua dari kesetimbangan adalah pernyataan kesetimbangan rotasi.
- Torsi eksternal bersih pada objek harus sama dengan nol

$$\vec{\tau}_{net} = \sum \vec{\tau}_{ext} = I\vec{\alpha} = 0$$

- Ini menyatakan percepatan sudut objek menjadi nol
- Ini harus berlaku untuk setiap sumbu rotasi.



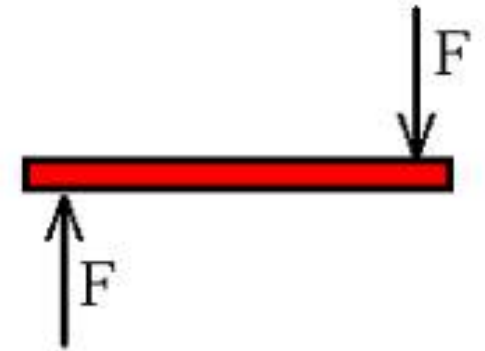
© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Kondisi Kesetimbangan

- Gaya bersih sama dengan nol $\sum \vec{F} = 0$
 - Jika objek dimodelkan sebagai partikel, maka ini adalah satu-satunya kondisi yang harus dipenuhi.
- Torsi bersih sama dengan nol $\sum \vec{\tau} = 0$
 - Perlu jika objek tidak dapat dimodelkan sebagai partikel.
- Kondisi ini menggambarkan objek rigid dalam model analisis kesetimbangan

Kesetimbangan Statis

- Pertimbangkan batang ringan dikenakan dua kekuatan dengan besaran yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar. Pilih pernyataan yang benar sehubungan dengan situasi ini:
 - a) Objek ini dalam kesetimbangan gaya tetapi bukan kesetimbangan torsi.
 - b) Objek berada dalam kesetimbangan torsi tetapi tidak memaksa kesetimbangan
 - c) Objek berada dalam kesetimbangan gaya dan kesetimbangan torsi.
 - d) Objek ini tidak dalam kesetimbangan gaya atau kesetimbangan torsi.



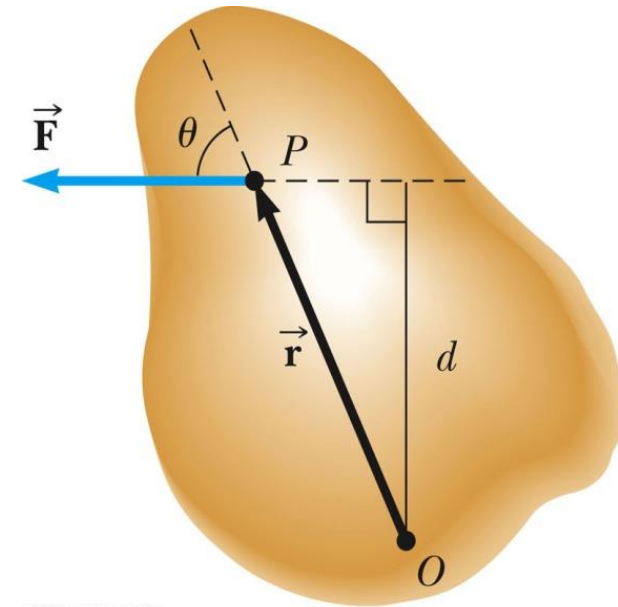
Persamaan Kesetimbangan

- Demi kesederhanaan, ada pembatasan aplikasi untuk situasi ini di mana semua gaya terletak di bidang xy.
- Persamaan 1: $\vec{F}_{net} = \sum \vec{F}_{ext} = 0$: $F_{net,x} = 0$ $F_{net,y} = 0$ ~~$F_{net,z} = 0$~~
- Persamaan 2: $\vec{\tau}_{net} = \sum \vec{\tau}_{ext} = 0$: ~~$\tau_{net,x} = 0$~~ ~~$\tau_{net,y} = 0$~~ $\tau_{net,z} = 0$
- Ada tiga persamaan yang dihasilkan

$$F_{net,x} = \sum F_{ext,x} = 0$$

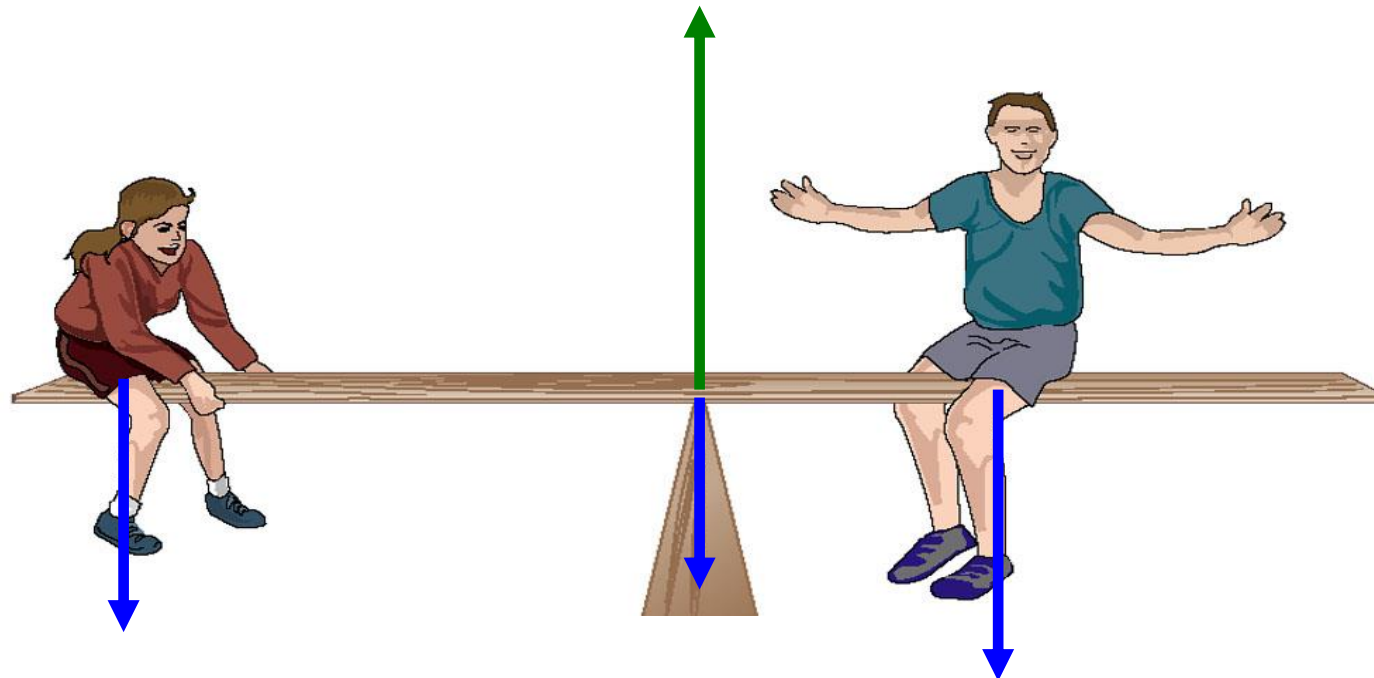
$$F_{net,y} = \sum F_{ext,y} = 0$$

$$\tau_{net,z} = \sum \tau_{ext,z} = 0$$



© 2007 Thomson Higher Education

- Sebuah jungkat-jungkit yang terdiri dari papan uniform dengan massa m_{pl} dan panjang L menyangga, dalam keadaan diam, seorang ayah dan anak perempuan masing-masing dengan massa M dan m . Penyangga berada di bawah pusat gravitasi papan, ayah berjarak d dari pusat, dan anak perempuan berjarak $2,00$ m dari pusat.
- a) Berapa besar gaya ke atas yang diberikan oleh penyangga pada papan?
 - b) Di mana ayah harus duduk untuk menyeimbangkan sistem saat diam?



- Berapa besar gaya ke atas yang diberikan oleh penyangga pada papan?
- Di mana ayah harus duduk untuk menyeimbangkan sistem saat diam?

$$F_{net,y} = n - mg - Mg - m_{pl}g = 0$$

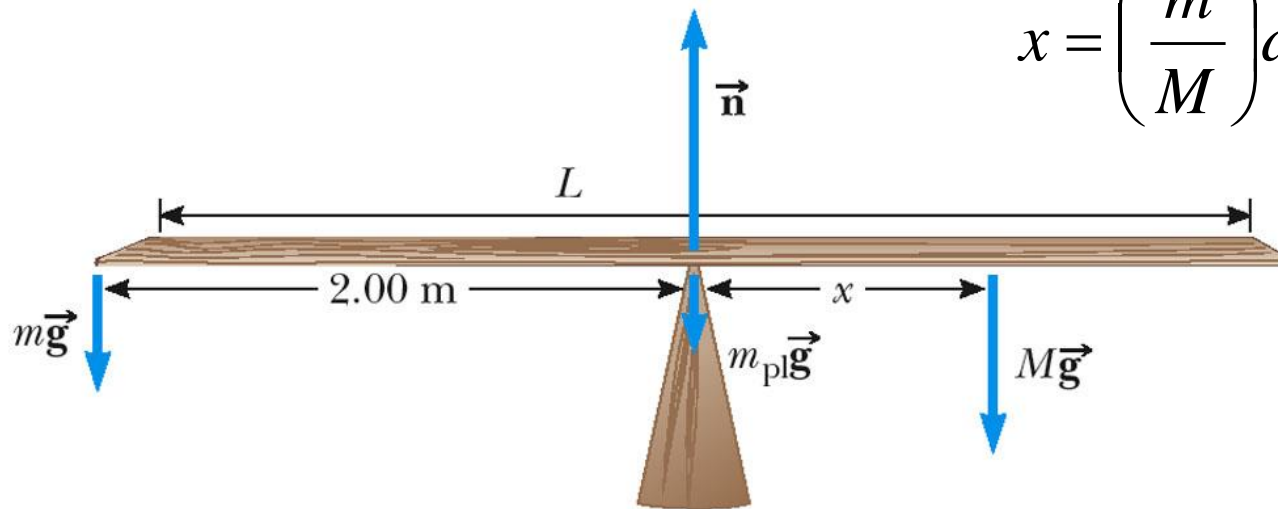
$$n = mg + Mg + m_{pl}g$$

$$\tau_{net,z} = \tau_d + \tau_f + \tau_{pl} + \tau_n$$

$$= mgd - Mgx + 0 + 0 = 0$$

$$mgd = Mgx$$

$$x = \left(\frac{m}{M} \right) d = \frac{2m}{M} < 2.00 \text{ m}$$



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

$$F_{net,x} = \sum F_{ext,x} = 0$$

$$F_{net,y} = \sum F_{ext,y} = 0$$

$$\tau_{net,z} = \sum \tau_{ext,z} = 0$$

Sumbu Rotasi

- Torsi bersih adalah tentang sumbu melalui titik manapun di bidang xy .
- Apakah penting sumbu mana yang Anda pilih untuk menghitung torsi?
- TIDAK. Pilihan sumbu adalah bebas
- Jika suatu objek berada dalam kesetimbangan translasi dan torsi bersih adalah nol sekitar satu sumbu, maka torsi bersih harus nol tentang sumbu lainnya.
- Harus pintar memilih sumbu rotasi untuk menyederhanakan masalah.

b) Tentukan di mana ayah harus duduk untuk menyeimbangkan sistem saat diam

Rotation axis O

$$\tau_{net,z} = \tau_d + \tau_f + \tau_{pl} + \tau_n$$

$$= mgd - Mg x + 0 + 0 = 0$$

$$mgd = Mg x$$

$$x = \left(\frac{m}{M} \right) d = \frac{2m}{M}$$

Rotation axis P

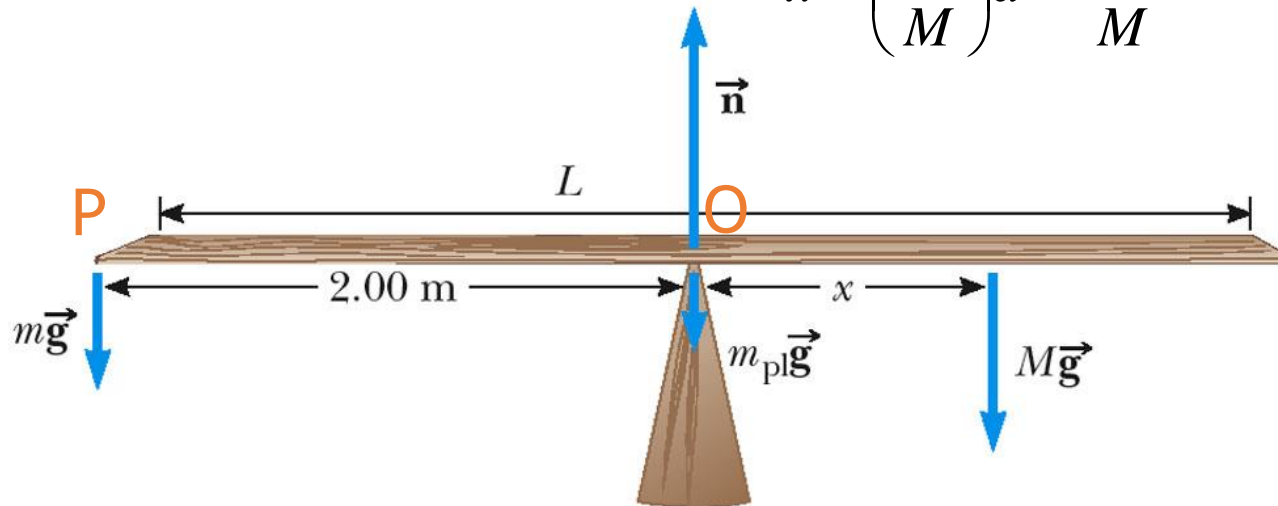
$$\tau_{net,z} = \tau_d + \tau_f + \tau_{pl} + \tau_n$$

$$= 0 - Mg(d + x) - m_{pl}gd + nd = 0$$

$$-Mgd - Mg x - m_{pl}gd + (Mg + mg + m_{pl}g)d = 0$$

$$mgd = Mg x$$

$$x = \left(\frac{m}{M} \right) d = \frac{2m}{M}$$



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

$$F_{net,x} = \sum F_{ext,x} = 0$$

$$F_{net,y} = \sum F_{ext,y} = 0$$

$$\tau_{net,z} = \sum \tau_{ext,z} = 0$$

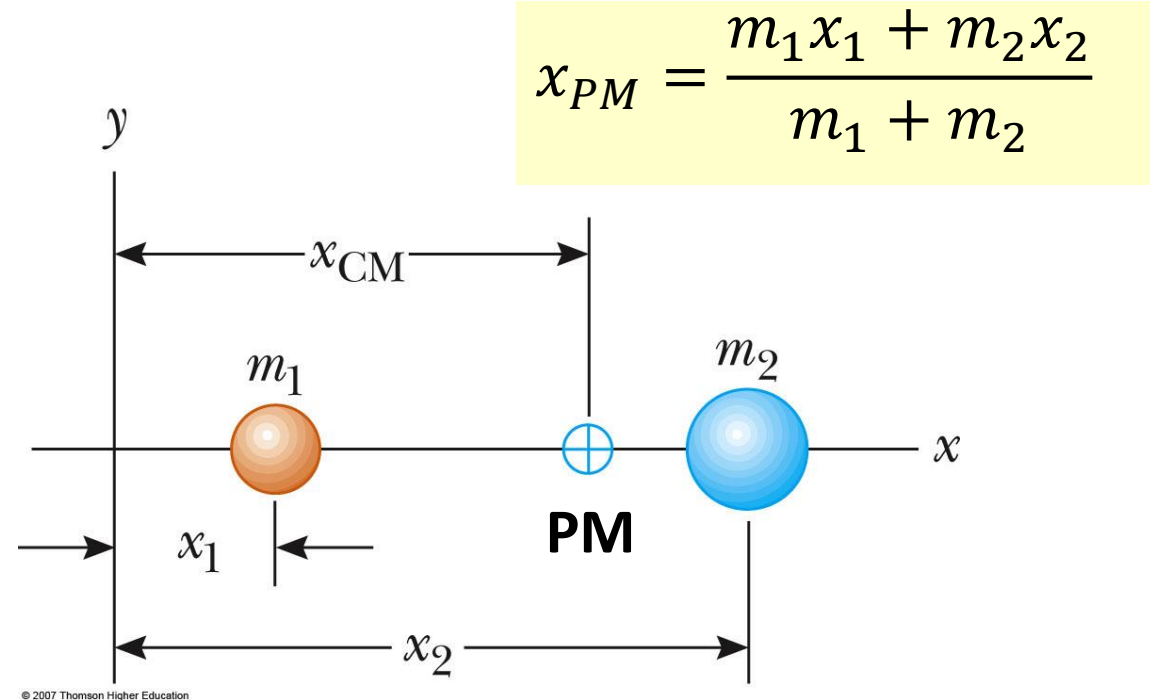
Pusat Gravitasi

- Torsi karena gaya gravitasi pada objek massa M adalah gaya Mg berlaku di pusat gravitasi objek.
- Jika g seragam di atas objek, maka pusat gravitasi objek bertepatan dengan pusat massanya.
- Jika objek homogen dan simetris, pusat gravitasi bertepatan dengan pusat geometrisnya.

Di manakah pusat massa?

- Asumsikan $m_1 = 1$ kg, $m_2 = 3$ kg, dan $x_1 = 1$ m, $x_2 = 5$ m, di mana pusat massa kedua objek ini?

- a) $x_{PM} = 1$ m
- b) $x_{PM} = 2$ m
- c) $x_{PM} = 3$ m
- d) $x_{PM} = 4$ m
- e) $x_{PM} = 5$ m

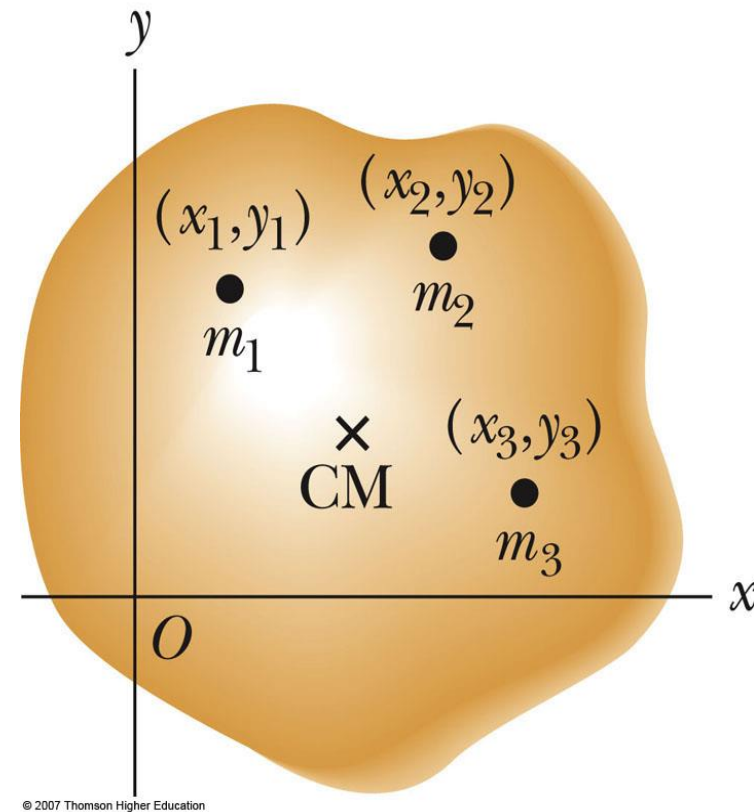


Pusat Massa (PM)

- Sebuah objek dapat dibagi menjadi banyak partikel kecil.
 - Setiap partikel akan memiliki massa tertentu dan koordinat spesifik.
- Koordinat x dari pusat massa adalah

$$x_{PM} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$$

- Ekspresi serupa dapat ditentukan untuk koordinat y



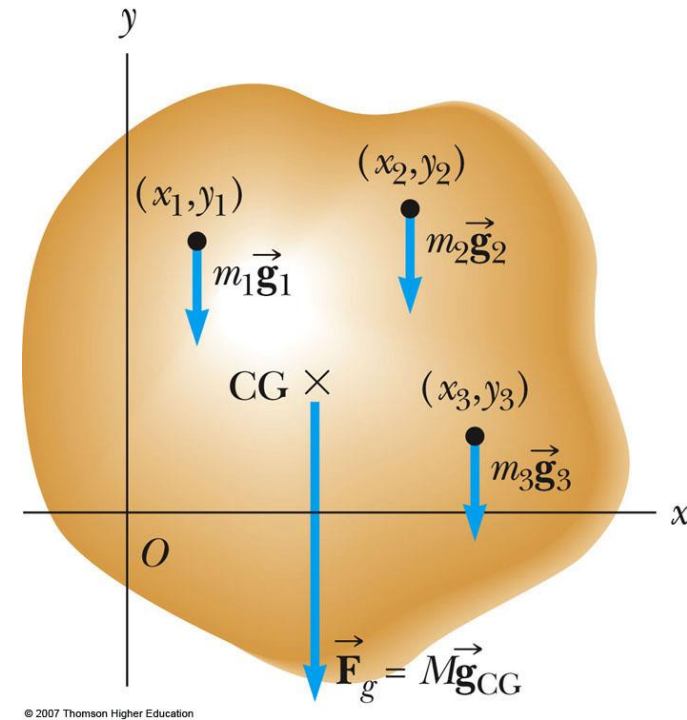
Pusat Gravitasi (PG)

- Semua gaya gravitasi yang berbeda yang bekerja pada semua elemen massa yang berbeda setara dengan gaya gravitasi tunggal yang bertindak melalui satu titik yang disebut pusat gravitasi (PG).

- $$Mg_{CG}x_{CG} = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots)g_{CG}x_{CG}$$
$$= m_1g_1x_1 + m_2g_2x_2 + m_3g_3x_3 + \dots$$
- Jika $g_1 = g_2 = g_3 = \dots$

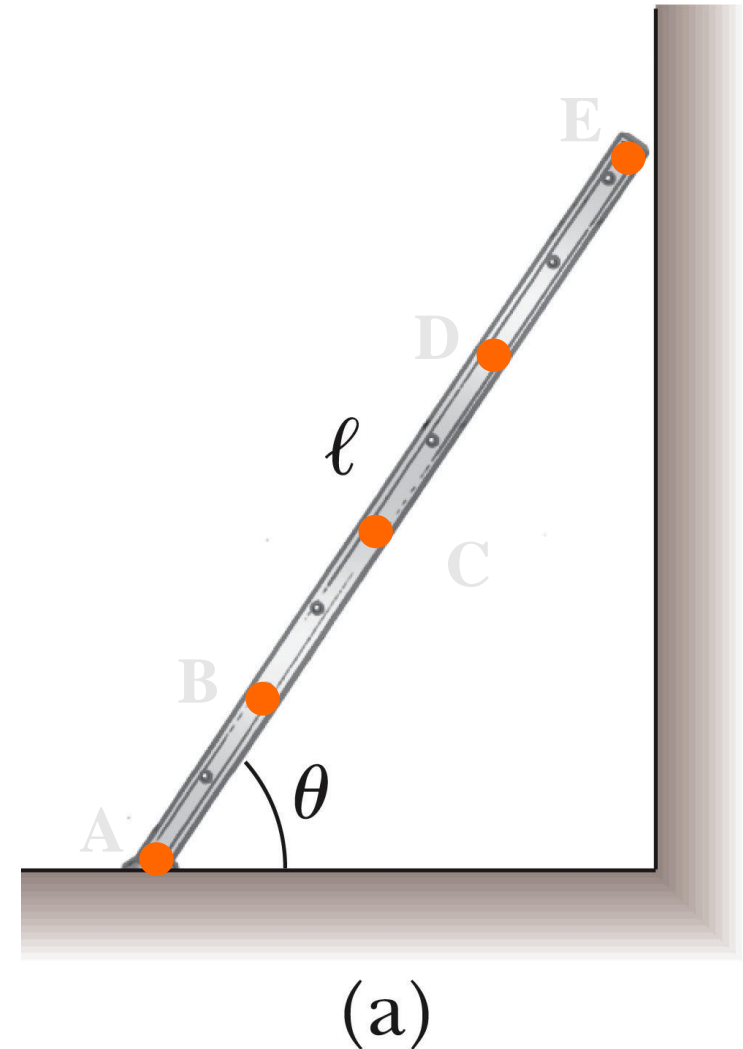
- Maka

$$x_{CG} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$



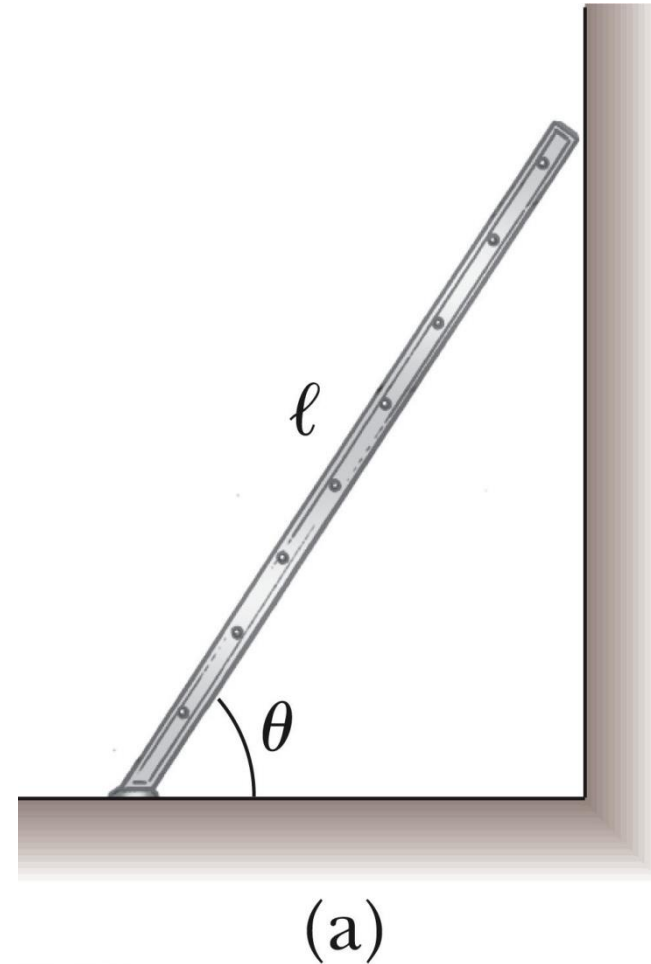
PG Tangga

- Tangga uniform dengan panjang l bersandar pada dinding vertikal yang halus. Ketika Anda menghitung torsi karena gaya gravitasi, Anda harus menemukan pusat gravitasi tangga. Pusat gravitasi harus berada dimana?



Contoh Tangga

- Tangga seragam panjang ℓ bersandar pada dinding vertikal yang halus. Massa tangga adalah m , dan koefisien gesekan statis antara tangga dan tanah adalah $\mu_s = 0,40$. Berapa sudut minimum θ di mana tangga tidak tergelincir?



© 2007 Thomson Higher Education

Strategi ke-1 Penyelesaian Soal

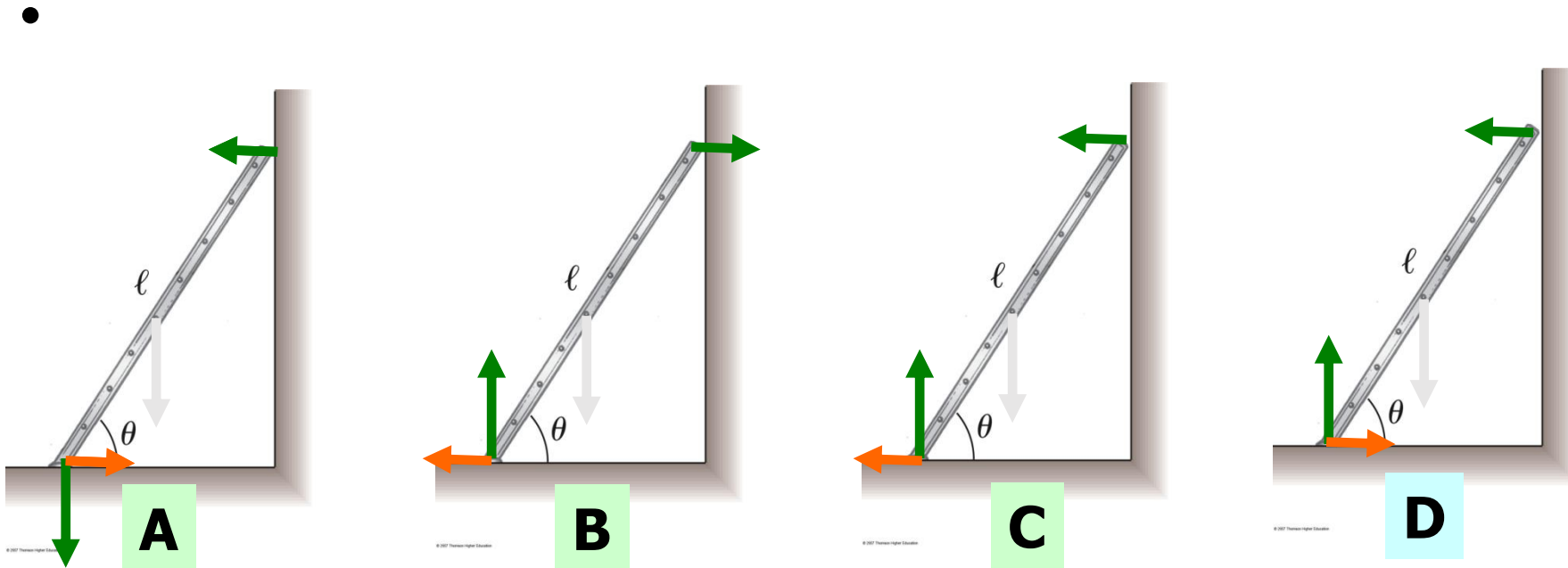
- Menggambar sketsa, memutuskan apa yang ada di dalam atau di luar sistem
- Menggambar diagram gaya bebas (DGB)
- Tampilkan dan beri label semua gaya eksternal yang bekerja pada objek
- Menunjukkan lokasi semua gaya
- Membangun sistem koordinat yang nyaman
- Tentukan komponen gaya di sepanjang dua sumbu
- Menerapkan kondisi pertama untuk keseimbangan
- Hati-hati dengan tanda-tanda

$$F_{net,x} = \sum F_{ext,x} = 0$$

$$F_{net,y} = \sum F_{ext,y} = 0$$

Diagram Gaya Bebas mana yang benar?

- Tangga seragam dengan panjang l bersandar pada dinding vertikal yang halus. Massa tangga adalah m , dan koefisien gesekan statis antara tangga dan tanah adalah $\mu_s = 0,40$. gravitasi: biru, gesek: oranye, normal: hijau



- Tangga seragam dengan panjang l bersandar pada dinding vertikal yang halus. Massa tangga adalah m , dan koefisien gesek statis antara tangga dan tanah adalah $\mu_s = 0,40$. Temukan sudut minimum θ di mana tangga tidak tergelincir.

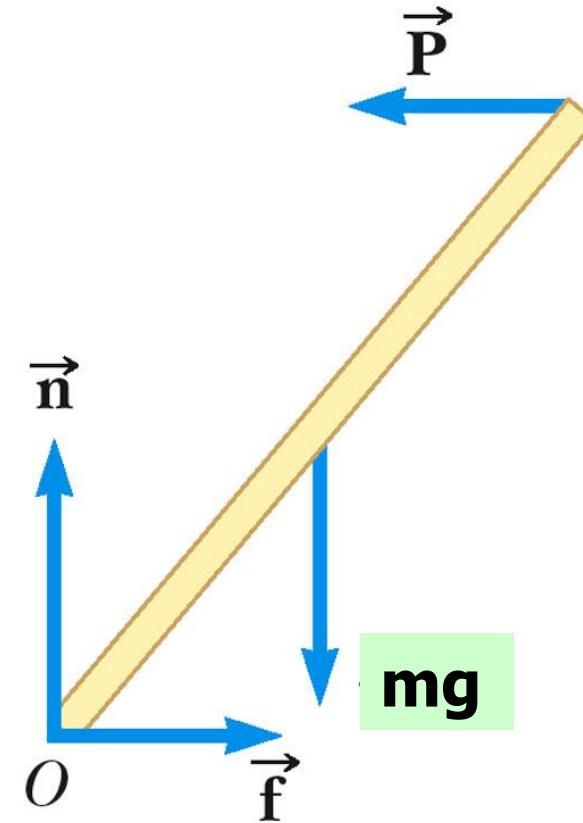
$$\sum F_x = f_x - P = 0$$

$$\sum F_y = n - mg = 0$$

$$P = f_x$$

$$n = mg$$

$$P = f_{x,\max} = \mu_s n = \mu_s mg$$



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

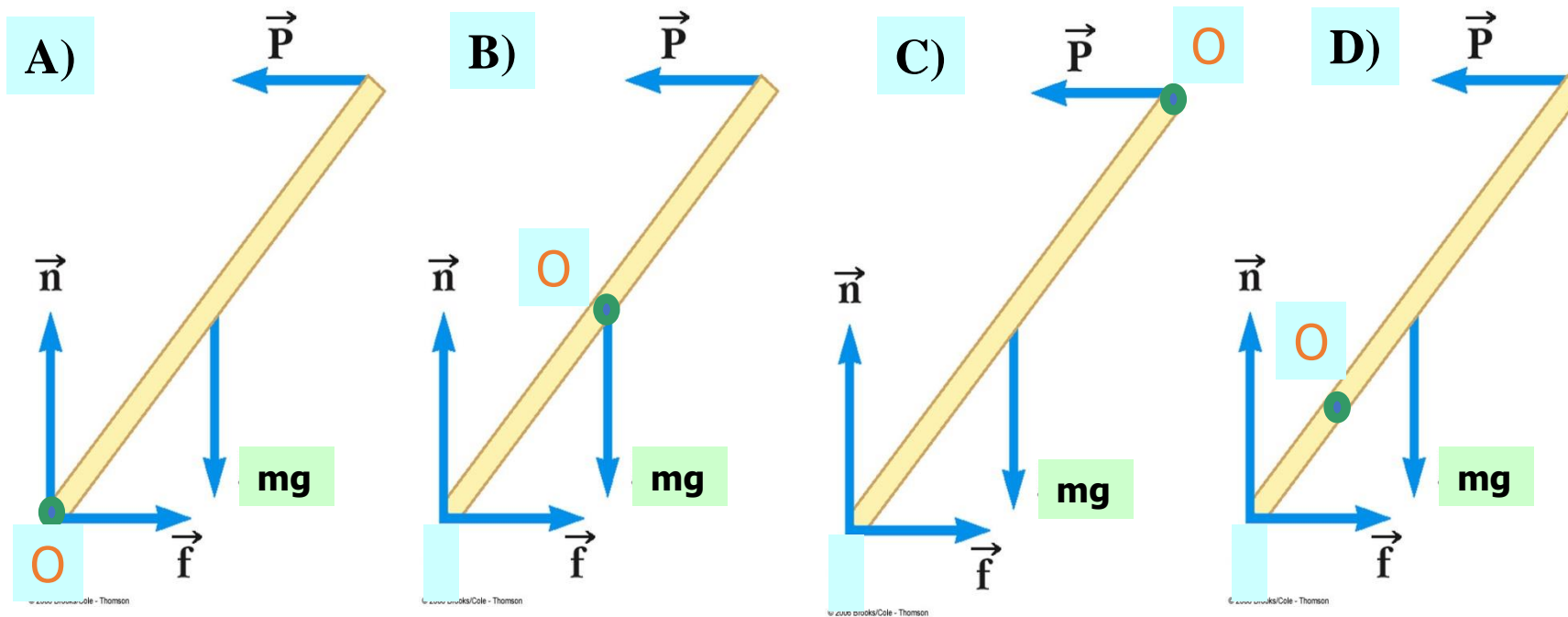
Strategi ke-2 Penyelesaian Soal

- Pilih sumbu yang nyaman untuk menghitung torsi bersih pada objek
- Ingat pilihan sumbu adalah bebas
- Pilih asal yang menyederhanakan perhitungan sebanyak mungkin
- Sebuah gaya yang berlaku sepanjang garis menghasilkan torsi nol.
- Hati-hati memberi tanda berkaitan dengan sumbu rotasi
- positif jika gaya cenderung memutar objek berlawanan jarum jam (CCW)
- negatif jika gaya cenderung memutar objek searah jarum jam (CW)
- nol jika gaya berada pada sumbu rotasi
- Menerapkan kondisi kedua untuk keseimbangan

$$\tau_{net,z} = \sum \tau_{ext,z} = 0$$

Pilih origin O yang menyederhanakan perhitungan sebanyak mungkin?

- Tangga uniform dengan panjang l bersandar pada dinding vertikal yang halus. Massa tangga adalah m , dan koefisien gesekan statis antara tangga dan tanah adalah $\mu_s = 0,40$. Tentukan sudut minimumnya.



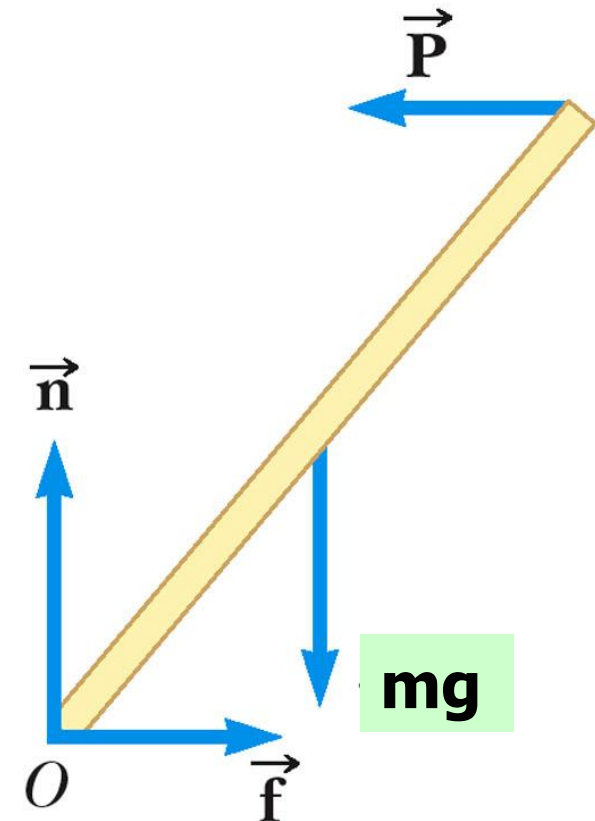
- Tangga seragam dengan panjang l bersandar pada dinding vertikal yang halus. Massa tangga adalah m , dan koefisien gesekan statis antara tangga dan tanah adalah $\mu_s = 0,40$. Temukan sudut minimum θ di mana tangga tidak tergelincir.

$$\sum \tau_O = \tau_n + \tau_f + \tau_g + \tau_P$$

$$= 0 + 0 + Pl \sin \theta_{\min} - mg \frac{l}{2} \cos \theta_{\min} = 0$$

$$\frac{\sin \theta_{\min}}{\cos \theta_{\min}} = \tan \theta_{\min} = \frac{mg}{2P} = \frac{mg}{2\mu_s mg} = \frac{1}{2\mu_s}$$

$$\theta_{\min} = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2\mu_s}\right) = \tan^{-1}\left[\frac{1}{2(0.4)}\right] = 51^\circ$$



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Strategi ke-3 Penyelesaian Soal

- Dua kondisi kesetimbangan akan memberikan sistem persamaan.
- Memecahkan persamaan secara bersamaan
- Pastikan hasil konsisten dengan diagram gaya bebas.
- Jika solusi memberikan negatif untuk gaya, itu adalah dalam arah yang berlawanan dengan apa yang digambarkan dalam diagram gaya bebas.
- Periksa hasil untuk mengonfirmasi

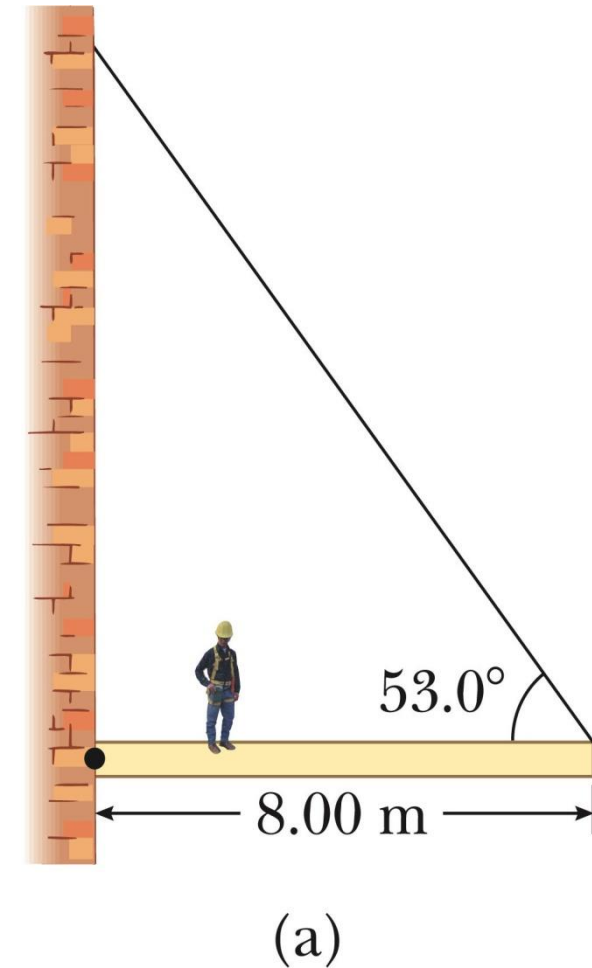
$$F_{net,x} = \sum F_{ext,x} = 0$$

$$F_{net,y} = \sum F_{ext,y} = 0$$

$$\tau_{net,z} = \sum \tau_{ext,z} = 0$$

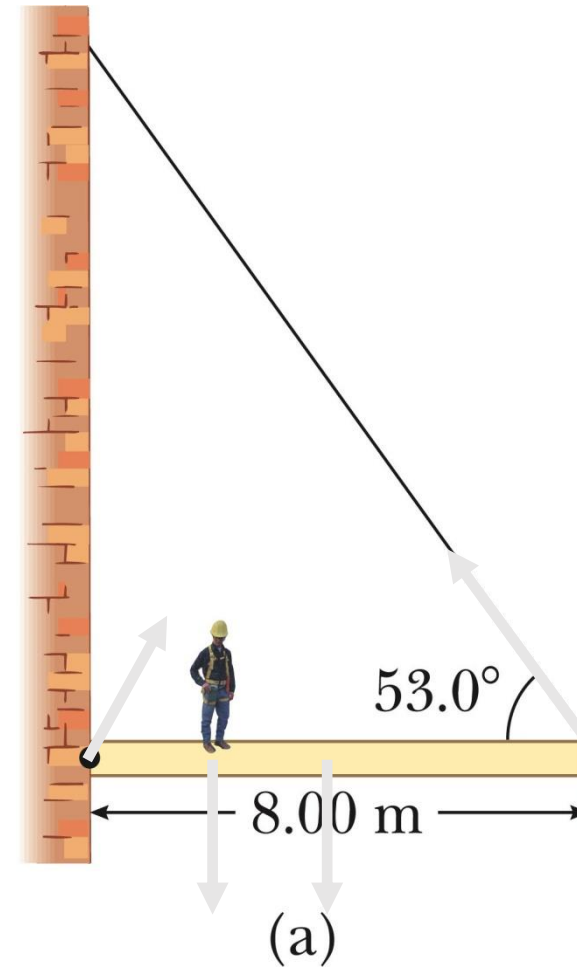
Contoh Balok Horizontal

- Sebuah balok horizontal uniform dengan panjang $l = 8,00 \text{ m}$ dan berat $W_b = 200 \text{ N}$ melekat pada dinding oleh koneksi pin. Ujungnya yang jauh didukung oleh kabel yang membuat sudut $\phi = 53^\circ$ dengan balok. Seseorang dengan berat $W_p = 600 \text{ N}$ berdiri jarak $d = 2,00 \text{ m}$ dari dinding. Temukan ketegangan pada kabel serta besarnya dan arah gaya yang diberikan oleh dinding pada balok.



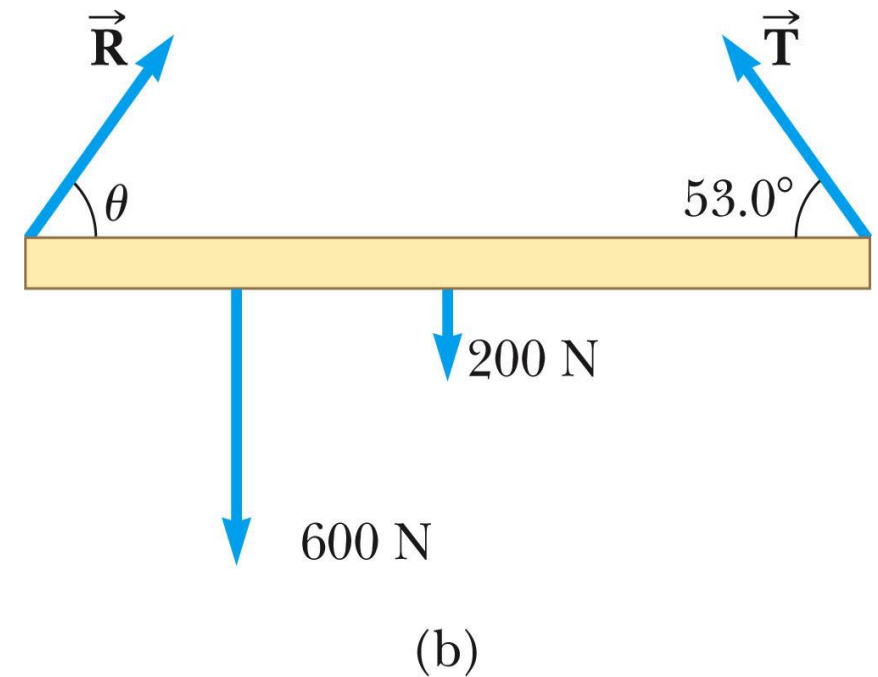
Contoh Balok Horizontal

- Balok itu uniform
- Jadi pusat gravitasi berada di pusat geometris balok.
- Orang itu berdiri di atas balok
- Tentukan ketegangan pada kabel dan gaya yang diberikan oleh dinding pada balok?



Contoh 2 Balok Horizontal

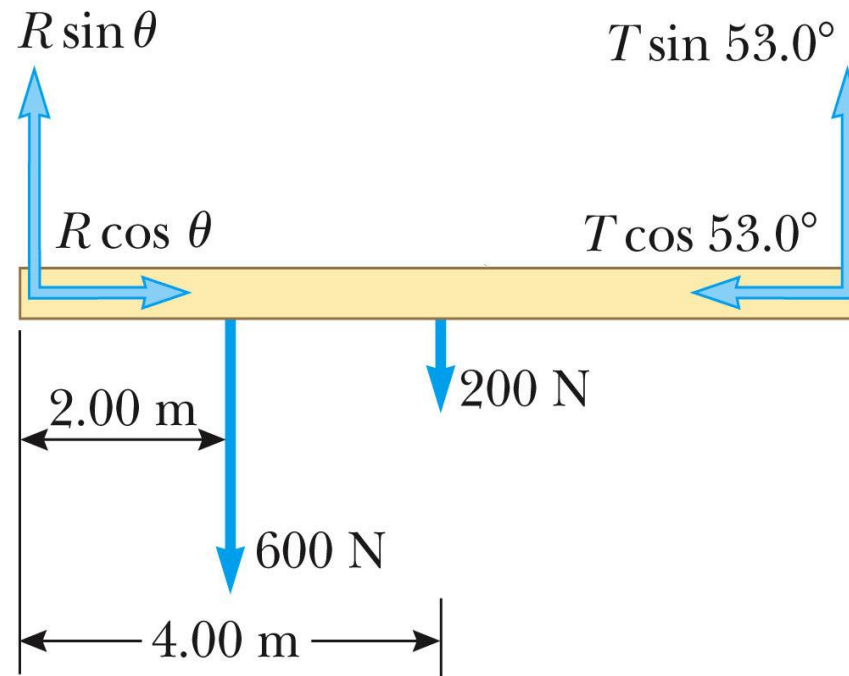
- Analisis
 - Menggambar diagram gaya bebas
 - Gunakan pivot dalam masalah (di dinding) sebagai pivot
 - Ini umumnya akan menjadi yang paling mudah
 - Perhatikan ada tiga hal yang tidak diketahui (T , R , θ)



© 2007 Thomson Higher Education

Contoh 3 Balok Horizontal

- Gaya dapat diselesaikan menjadi komponen dalam diagram gaya bebas.
- Menerapkan dua kondisi kesetimbangan untuk mendapatkan tiga persamaan
- Menyelesaikan untuk yang tidak diketahui



(c)

© 2007 Thomson Higher Education

Contoh 3 Balok Horizontal

$$\sum \tau_z = (T \sin \phi)(l) - W_p d - W_b \left(\frac{l}{2}\right) = 0$$

$$T = \frac{W_p d + W_b \left(\frac{l}{2}\right)}{l \sin \phi} = \frac{(600\text{N})(2\text{m}) + (200\text{N})(4\text{m})}{(8\text{m}) \sin 53^\circ} = 313\text{N}$$

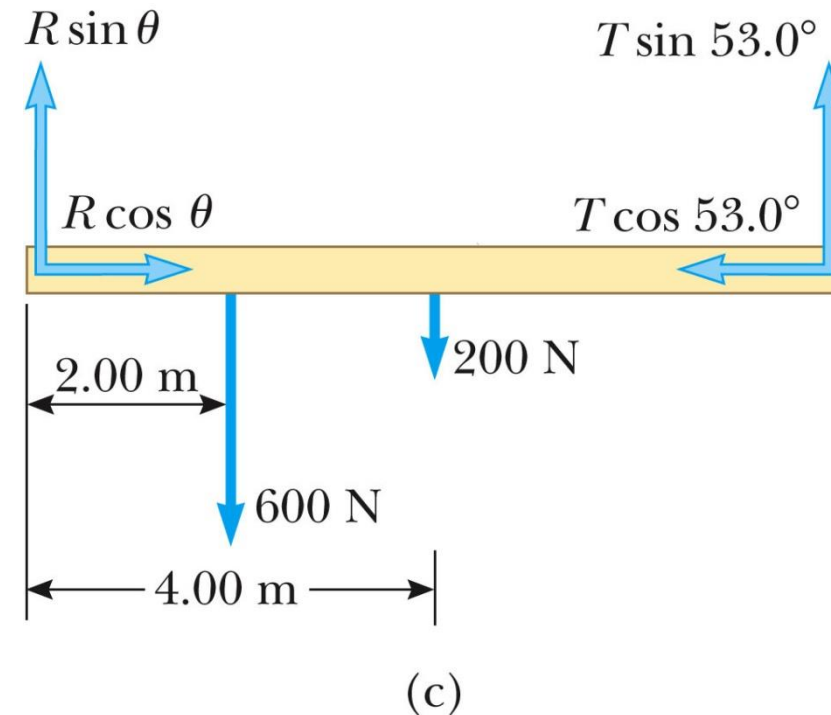
$$\sum F_x = R \cos \theta - T \cos \phi = 0$$

$$\sum F_y = R \sin \theta + T \sin \phi - W_p - W_b = 0$$

$$\frac{R \sin \theta}{R \cos \theta} = \tan \theta = \frac{W_p + W_b - T \sin \phi}{T \sin \phi}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{W_p + W_b - T \sin \phi}{T \sin \phi} \right) = 71.7^\circ$$

$$R = \frac{T \cos \phi}{\cos \theta} = \frac{(313\text{N}) \cos 53^\circ}{\cos 71.7^\circ} = 581\text{N}$$



© 2007 Thomson Higher Education

Sumber:

Physics 111: Mechanics Lecture 12, **Dale Gary, *NJIT*** Physics Department