

Materi Kuliah
Fisika Mekanika

Aplikasi Hukum Newton

Dosen :
Tri Surawan, M.Si

Fakultas Teknik
Universitas Jayabaya

Pemakaian Hukum I Newton

Partikel dalam Keseimbangan

- Hukum I Newton menyatakan bahwa :
benda akan cenderung berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan jika tidak ada gaya luar yang bekerja padanya.
- Keadaan dimana benda diam atau bergerak dengan kecepatan konstan berhubungan dengan keseimbangan gaya yang bekerja pada benda tersebut.
- Jika gaya total yang bekerja pada benda adalah nol maka benda tersebut akan cenderung diam atau bergerak dengan kecepatan konstan.

$$\Sigma F = 0$$

Jenis-jenis Gaya yang bekerja pada Keadaan Setimbang

- **Gravitasi**

- Setiap benda bermassa yang berada di permukaan bumi akan selalu dikenai percepatan gravitasi.
- Percepatan gravitasi bumi di semua lokasi di belahan bumi manapun, bekerja pada arah yang sama (**menuju ke pusat bumi**).

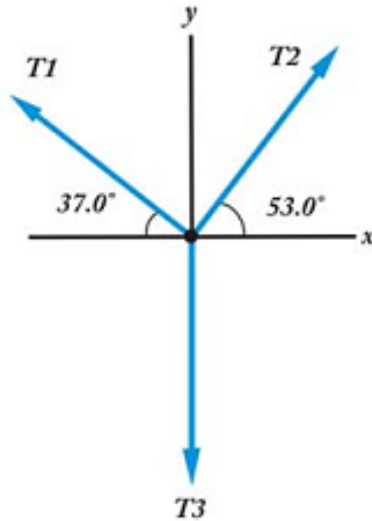
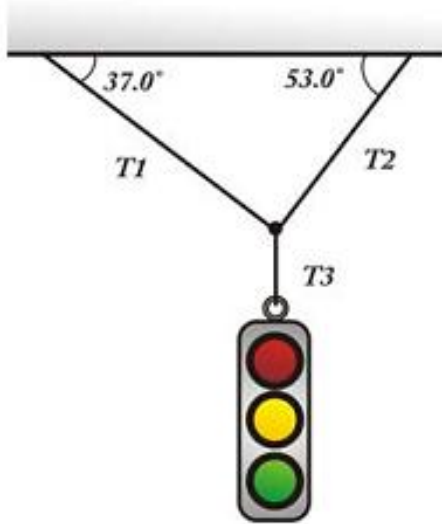
- **Gaya Normal**

- Gaya normal selalu muncul jika sebuah benda berinteraksi dengan suatu permukaan.
- Gaya normal selalu bekerja pada arah yang **tegak lurus dengan bidang kontak** dua benda yang saling bersinggungan.

Jenis-jenis Gaya yang bekerja pada Keadaan Setimbang

Gaya Tegang Tali

Sebuah lampu digantung menggunakan dua tali dalam keadaan diam. Misalkan massa lampu 5 kg sedangkan massa tali diabaikan. Gaya tegang tali T_3 sama dengan berat lampu yaitu w_{lampu} atau F_g .



Gaya pada sumbu x :

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_2 \cos 53^\circ - T_1 \cos 37^\circ = 0$$

$$T_2 \cos 53^\circ = T_1 \cos 37^\circ$$

Gaya pada sumbu y :

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T_1 \sin 37^\circ + T_2 \sin 53^\circ - T_3 = 0$$

$$T_1 \sin 37^\circ + T_2 \sin 53^\circ = T_3$$

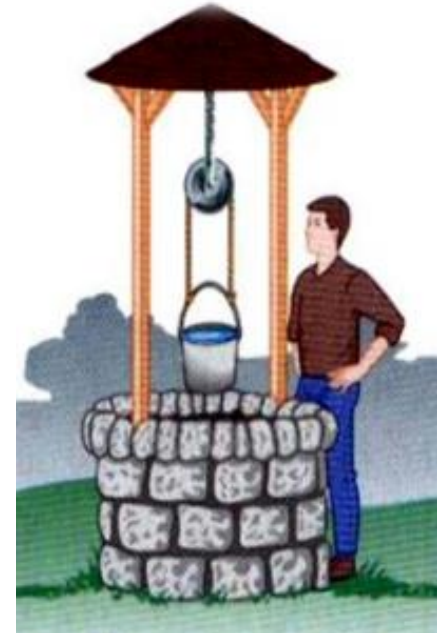
Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan tersebut, kita peroleh besar masing-masing tegangan tali adalah:

$$T_1 = 30 \text{ N} \quad ; \quad T_2 = 40 \text{ N} \quad ; \quad T_3 = 50 \text{ N}$$



Gambar I

Seseorang menimba seember air dari sumur dan menggenggam tali hingga ember tersebut diam.



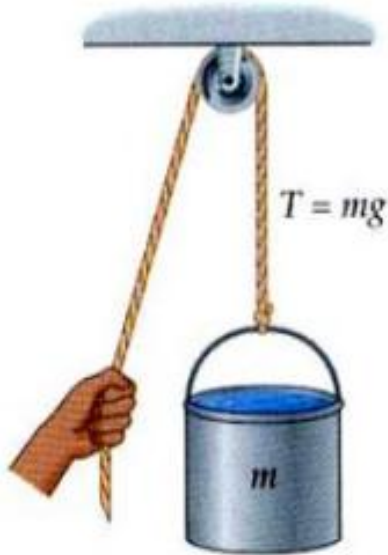
Gambar II

Beberapa saat kemudian dia mengikatkan tali timba ke ember, sehingga ember ditahan oleh tali.

Pada kedua gambar tersebut, apakah :

- (a) **tegangan tali** pada gambar I **lebih kecil** dari gambar II
- (b) **tegangan tali** pada gambar I **lebih besar** dari gambar II
- (c) **tegangan tali** pada gambar I **sama besar** dengan gambar II

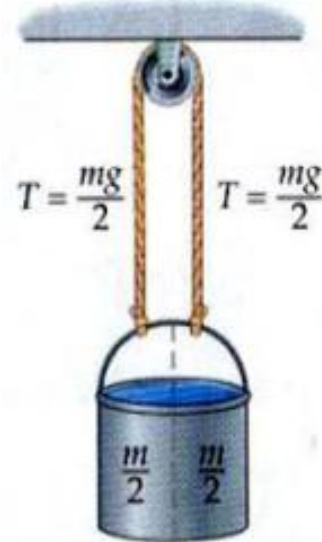
Alasan dan Pembahasan



Pada kasus pertama (gambar I), satu-satunya gaya ke atas yang bekerja pada ember adalah tegangan tali. Karena ember dalam keadaan diam, **besar tegangan ini harus sama dengan berat ember.**

Jadi :

(b) Tegangan tali pada gambar I **lebih besar** dari tegangan gambar II



Pada kasus kedua (gambar II), kedua ujung tali mengerjakan gaya ke atas yang sama besar pada ember, karena itu **tegangan pada tali hanya separuh ($\frac{1}{2}$) berat ember.**

Pemakaian Hukum II Newton

Dinamika Partikel

- Secara umum **Hukum II Newton** dinyatakan dengan persamaan :

$$\Sigma F = m a$$

- Persamaan tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut berdasarkan **arah kerja gaya** yaitu :

$$\Sigma F_x = m a_x$$

$$\Sigma F_y = m a_y$$

$$\Sigma F_z = m a_z$$

Contoh soal

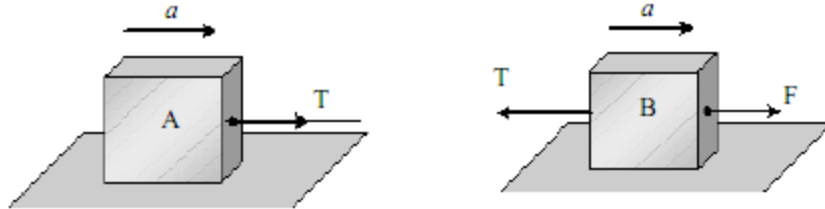
Dua balok A = 6 kg dan balok B = 2 kg ditarik gaya $F = 16 \text{ N}$ di atas lantai mendatar licin seperti Gambar.



Tentukan percepatan sistem benda dan tegangan tali T!

Penyelesaian

Gaya-gaya yang bekerja terlihat seperti pada Gambar berikut.



Balok A dan B bergerak dengan percepatan sama sehingga pada kedua balok berlaku hukum II Newton.

$$\text{Balok A : } T = m_A a \rightarrow T = 6a$$

$$\text{Balok B : } F - T = m_B a \rightarrow 16 - T = 2a +$$

$$16 = 8a$$

$$a = 2 \text{ m/s}$$

Berarti tegangan talinya adalah:

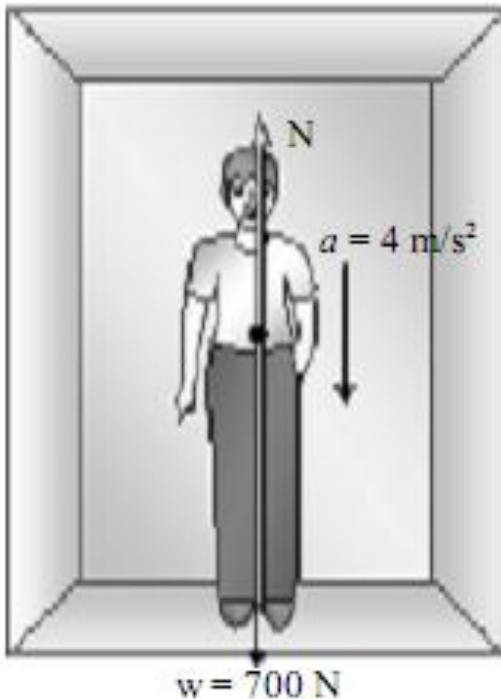
$$T = 6a = 6 \cdot 2 = 12 \text{ N}$$

Contoh soal

Seseorang mengukur beratnya di lantai memperoleh nilai 700 N. Kemudian dia mengukur beratnya di dalam lift yang sedang bergerak ke bawah dengan percepatan 4 m/s^2 . Berapakah berat orang itu yang terukur? Anggap percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 .

Penyelesaian

Gaya-gaya yang bekerja pada orang tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar.



$$w = 700 \text{ N} \rightarrow m = 70 \text{ kg}$$

Berat orang yang berada dalam lift bergerak sama dengan gaya normalnya.

Lift dipercepat ke bawah sehingga berlaku:

$$\Sigma F = m a$$

$$w - N = m a$$

$$700 - N = 70 \cdot 4$$

$$N = 420 \text{ N}$$

Contoh

Dua benda m_1 dan m_2 digantung pada katrol menggunakan tali dengan asumsi gesekan pada katrol diabaikan.

Berapakah percepatan kedua benda tersebut dan tegangan talinya.

Penyelesaian :

Dengan menggunakan Hukum Newton II, kita peroleh :

Untuk Benda m_1 :

$$\Sigma F_y = m_1 a$$

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$T = m_1 a + m_1 g$$

Untuk Benda m_2 :

$$\Sigma F_y = m_2 a$$

$$m_2 g - T = m_2 a$$

$$T = m_2 g - m_2 a$$

Jika kedua persamaan di atas disubstitusi, maka :

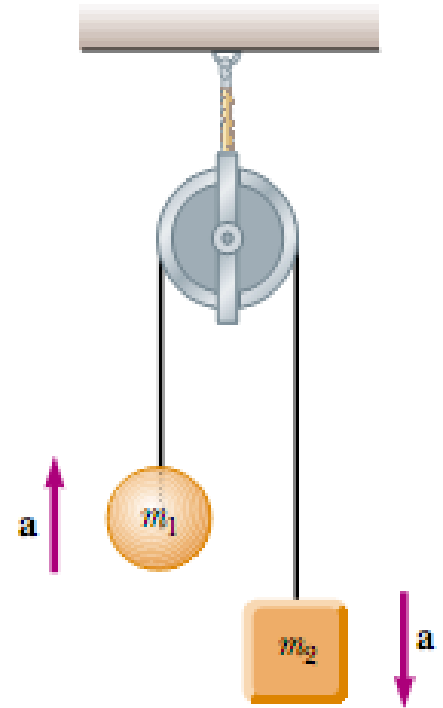
$$m_1 a + m_1 g = m_2 g - m_2 a$$

$$m_1 a + m_2 a = m_2 g - m_1 g$$

$$a(m_1 + m_2) = g(m_2 - m_1)$$

Percepatan :

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) g$$



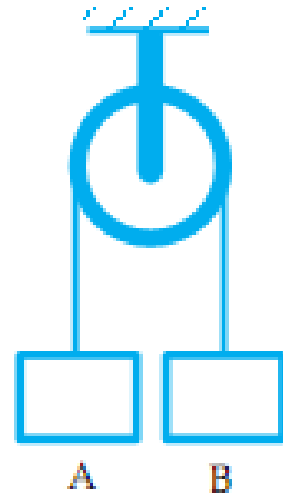
Maka Tegangan tali adalah :

$$T = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right) g$$

Contoh soal

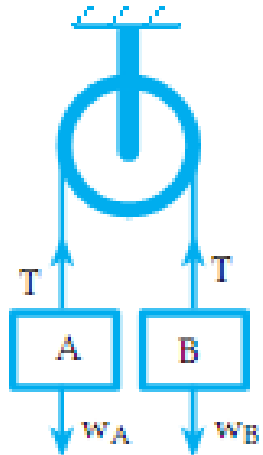
Benda A dan benda B dengan massa $m_A = 4 \text{ kg}$ dan $m_B = 6 \text{ kg}$ dihubungkan dengan tali dilewatkan katrol licin. ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Sistem mula-mula diam, kemudian sistem dilepaskan, hitunglah:

- percepatan benda A dan B
- besar gaya tegang tali



Penyelesaian:

Setelah sistem dilepaskan maka benda B bergerak ke bawah dan benda A bergerak ke atas dengan percepatan sama besar.



a. Untuk benda A:

$$\Sigma F = m_A \cdot a$$

$$T - W_A = m_A \cdot a$$

$$T = W_A + m_A \cdot a \dots(1)$$

Untuk benda B:

$$\Sigma F = m_B \cdot a$$

$$W_B - T = m_B \cdot a$$

$$T = W_B + m_B \cdot a \dots(2)$$

Substitusi pers (1) dan (2) :

$$W_A + m_A \cdot a = W_B + m_B \cdot a$$

$$m_A \cdot a + m_B \cdot a = W_B - W_A$$

$$a = \frac{W_B - W_A}{m_A + m_B} = \frac{60 - 40}{4 + 6} = 2 \text{ m/s}^2$$

b. Besar gaya tegang tali

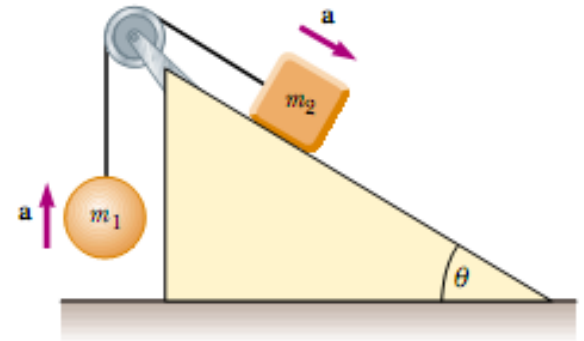
$$T = W_A + m_A \cdot a$$

$$= 40 + 4 \cdot 2$$

$$= 48 \text{ N}$$

Contoh

Sebuah bola dengan massa m_1 dan sebuah balok dengan massa m_2 yang berada pada bidang miring dengan sudut kemiringan θ , dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol licin. (gesekan katrol dan massa tali diabaikan). Berapakah percepatan kedua benda tersebut dan tegangan talinya?



Penyelesaian :

Untuk benda m_1 :

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = m_1 a$$

$$T - m_1 g = m_1 a$$

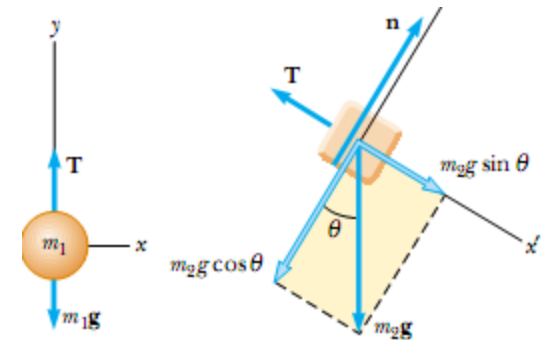
Untuk benda m_2 :

$$\Sigma F_x = m_2 a$$

$$m_1 g \sin \theta - T = m_2 a$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - m_2 g \cos \theta = 0$$



Jika persamaan di atas disubstitusi, maka :

Percepatan adalah :

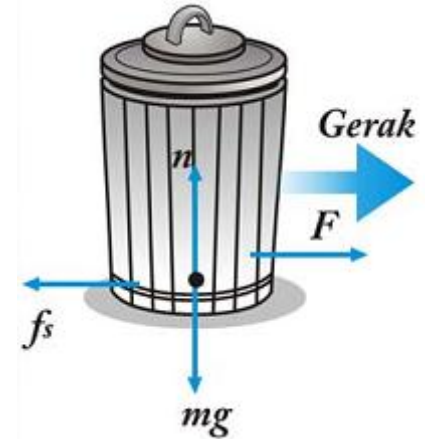
$$a = \frac{m_2 g \sin \theta - m_1 g}{m_1 + m_2}$$

Tegangan tali adalah :

$$T = \frac{m_1 m_2 g (\sin \theta + 1)}{m_1 + m_2}$$

Gaya Gesek (f_s)

- **Gaya gesek** didefinisikan sebagai gaya hambat yang timbul sebagai akibat interaksi dua permukaan yang bersentuhan satu sama lain yang **arahnya berlawanan dengan arah gerak benda**.
- Gesekan juga bisa terjadi pada fluida misalnya udara dan zat cair.
- **Gaya Gesek yang Menguntungkan**
 - Gesekan kaki dengan jalan menyebabkan kita dapat berjalan. Kita lebih mudah berjalan di tanah dengan gaya gesek yang besar dari pada berjalan di jalan yang licin dengan gaya gesek kecil.
 - Ban kendaraan (sepeda, sepeda motor, mobil, dan sebagainya) dibuat beralur untuk memperbesar gaya gesek ban dengan jalan. Jika ban kendaraan halus, kemungkinan kecelakaan akan lebih mudah terjadi.
 - Gaya gesek juga dimanfaatkan pada sistem pengereman kendaraan,
- **Gaya Gesek yang Merugikan**
 - Gesekan antara ban dengan aspal mengakibatkan ban menjadi aus. Ban yang aus ini dapat menyebabkan kendaraan tergelincir.
 - Gesekan antara bagian-bagian mesin kendaraan mengakibatkan mesin menjadi aus. Untuk mengurangi gesekan pada mesin kita dapat menggunakan pelumas.
 - Gesekan kendaraan yang bergerak dengan udara memperlambat kelajuannya.



Gaya Gesek (f_s)

Gesekan dibedakan menjadi dua macam yaitu :

– Gesekan statik

- Gesekan statik memiliki rentang nilai dari 0 hingga nilai maksimum tertentu.
- Gesekan statik bekerja pada benda yang diam.
- Jika gaya yang diberikan pada suatu benda tidak melebihi gaya gesek statik maksimum maka besar gaya gesek statik adalah:

$$f_s = \mu_s N$$

– Gesekan kinetik

- Gesekan kinetik bekerja pada benda yang bergerak.
- Gaya gesek kinetik akan terjadi bila gaya gesek statik maksimum sudah terlewati.
- Besar gaya gesek kinetik adalah:

$$f_k = \mu_k N$$

Contoh soal

Sebuah buku bermassa 300 g diletakkan di atas meja. Jika buku ditarik ke samping dengan gaya luar sebesar 0,5 N dan koefisien gesekan statis antara buku dengan permukaan meja 0,2 ; berapakah gaya gesek statis maksimum yang terjadi antara buku dengan permukaan meja, dan apakah buku dapat bergerak? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Penyelesaian :

Diketahui: $m = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg}$; $F = 0,5 \text{ N}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $\mu_s = 0,2$

Untuk mencari gaya gesek statis, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} f_s \text{ maks} &= \mu_s \cdot N \\ &= \mu_s \cdot m \cdot g \\ &= (0,2) (0,3 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) \\ &= 0,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $F < f_s \text{ maks}$, maka buku tidak bergerak atau tetap diam.

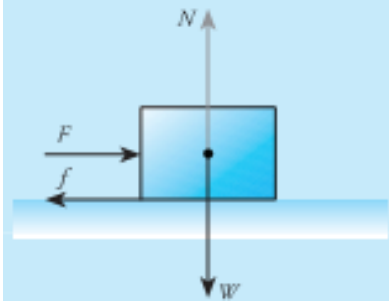
Contoh soal

Seseorang mendorong balok kayu yang beratnya 40 N di atas lantai. Koefisien gesekan statik (μ_s) antara balok dengan lantai adalah 0,5 dan koefisien gesek kinetik (μ_k) 0,3. Tentukan:

- besar gaya yang diberikan orang tersebut agar balok tepat akan bergerak.
- besar gaya yang diberikan orang tersebut, agar balok bergerak dengan percepatan $2,5 \text{ m/s}^2$. (percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Penyelesaian :

Gaya-gaya yang bekerja pada balok dapat digambarkan sebagai berikut.



Gaya Normal (N) = gaya berat balok = 40 N

- Agar balok tepat akan bergerak maka balok harus diberikan gaya sebesar :

$$F = f_s \text{ maks} = \mu_s \cdot N = (0,5) (40) = 20 \text{ N}$$

- Pada saat balok bergerak, gaya gesek yang bekerja adalah gaya gesek kinetis.

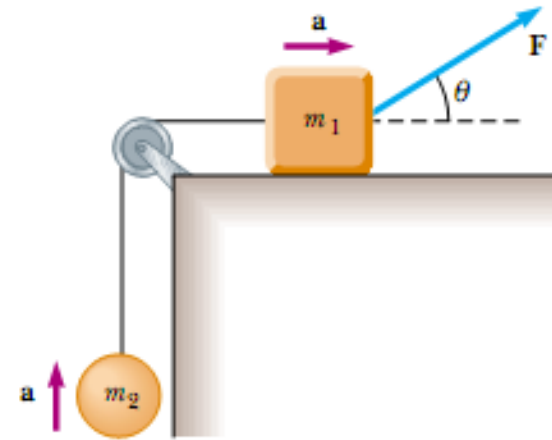
$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k \cdot N \\ &= (0,3)(40) \\ &= 12 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, gaya yang diberikan orang tersebut agar balok bergerak dengan percepatan $2,5 \text{ m/s}^2$ adalah :

$$\begin{aligned} F - f_k &= ma \\ F &= m a + f_k \\ &= (4)(2,5) + 12 \\ &= 22 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya gesek pada bidang datar

Sebuah balok dengan massa m_1 berada pada bidang datar dihubungkan dengan tali melalui katrol yang licin dengan sebuah bola dengan massa m_2 . Sebuah gaya F yang membentuk sudut θ dengan bidang datar bekerja pada benda m_2 . Koefisien gesek kinetis antara balok dan permukaan adalah μ_k . Hitung percepatan kedua benda tersebut.



Penyelesaian :

Balok m_1 :

$$\Sigma F_x = m_1 a$$

$$F \cos \theta - f_k - T = m_1 a$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N + F \sin \theta - m_1 g = 0$$

Bola m_2 :

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = m_2 a$$

$$T - m_2 g = m_2 a$$

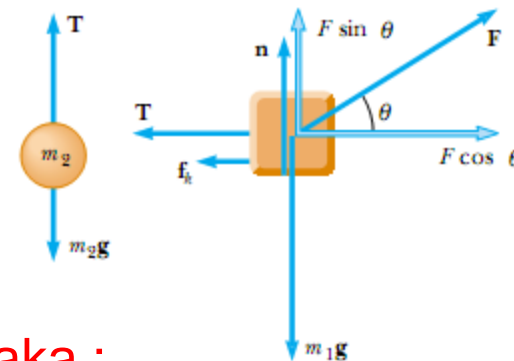
Dari persamaan $f_k = \mu_k N$, dan $N = m_1 g - F \sin \theta$, maka :

$$f_k = \mu_k (m_1 g - F \sin \theta)$$

Substitusikan persamaan-persamaan diatas maka :

$$F \cos \theta - \mu_k (m_1 g - F \sin \theta) - m_2(a + g) = m_1 a$$

$$a = \frac{F(\cos \theta + \mu_k \sin \theta) - g(m_2 + \mu_k m_1)}{m_1 + m_2}$$



Gaya gesek pada bidang miring

Sebuah benda diletakkan pada bidang miring yang membentuk sudut sebesar θ .

Sumbu x :

$$\Sigma F_x = 0$$

$$m g \sin \theta - f_s = 0$$

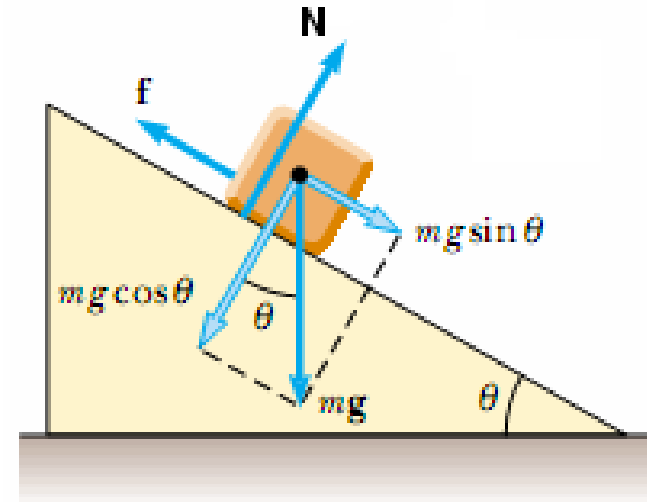
$$f_s = m g \sin \theta$$

Sumbu y :

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - m g \cos \theta = 0$$

$$N = m g \cos \theta$$



Berdasarkan persamaan gaya gesek ($f_s = \mu_s N$) maka :

$$\mu_s N = m g \sin \theta$$

$$\mu_s m g \cos \theta = m g \sin \theta$$

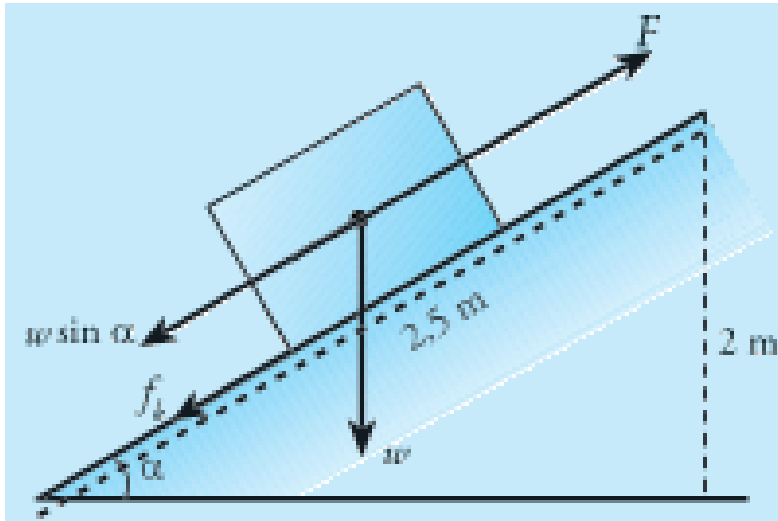
$$\mu_s = \tan \theta$$

Contoh soal

Sebuah peti kayu bermassa 60 kg didorong oleh seseorang dengan gaya 800 N ke atas sebuah truk menggunakan papan yang disandarkan membentuk bidang miring. Ketinggian bak truk tempat papan bersandar adalah 2 m, dan panjang papan yang digunakan adalah 2,5 m. Jika peti bergerak ke atas dengan percepatan 2 m/s^2 , dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan:

- gaya gesek kinetis,
- koefisien gesekan kinetis.

Penyelesaian :



- a. Gaya gesek kinetis antara peti dengan papan adalah :

$$\begin{aligned} F - mg \sin \alpha - f_k &= ma \\ f_k &= F - mg \sin \alpha - ma \\ &= 800 - (60)(10)(2/2,5) - (60)(2) \\ &= 800 - 480 - 120 \\ &= 200 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Koefisien gesekan kinetisnya adalah :

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N} = \frac{f_k}{m g} = \frac{200}{(36)(10)} = \frac{5}{9} = 0,56$$

Dinamika Gerak Melingkar

- Benda yang bergerak dalam lintasan lingkaran dengan kecepatan konstan mengalami percepatan.
- Percepatan benda pada gerak melingkar disebut dengan percepatan sentripetal karena mengarah ke pusat lingkaran.

$$\mathbf{a_s} = \frac{\mathbf{v^2}}{\mathbf{r}}$$

- Jika menggunakan Hukum Newton II maka **besar gaya** yang menyebabkan percepatan sentripetal adalah :

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{m} \mathbf{a_s} = \mathbf{m} \frac{\mathbf{v^2}}{\mathbf{r}}$$

Contoh

Sebuah bola kecil dengan massa m_1 digantung pada atap dengan tali sepanjang L . Bola diputar secara horisontal dengan kecepatan linier tetap v membentuk jari-jari lingkaran r . Carilah persamaan v !

Penyelesaian :

Bola tidak memiliki percepatan arah vertikal ($\Sigma F_y = 0$)
maka :

$$\Sigma F_y = 0 \quad T \cos \theta - mg = 0 \quad T = \frac{mg}{\cos \theta}$$

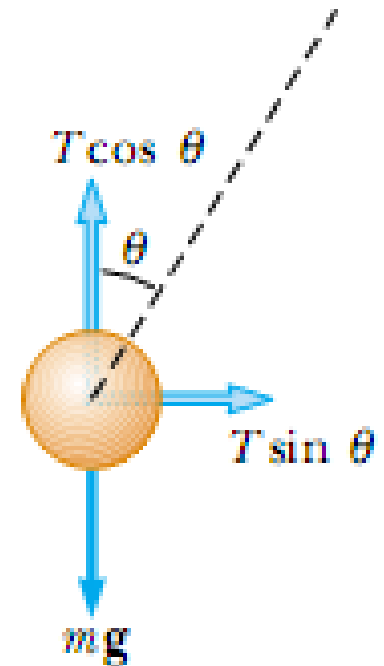
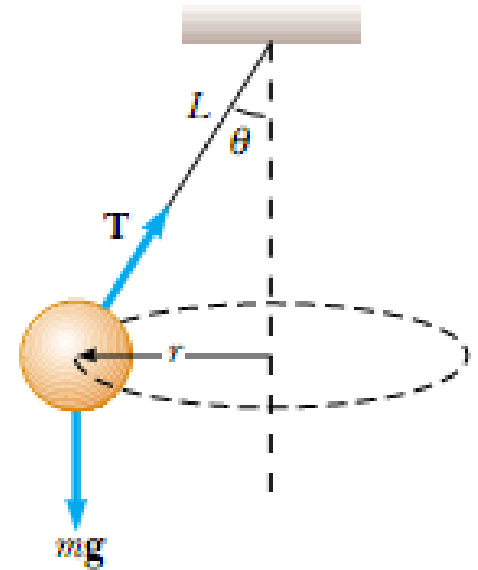
Gaya pada bola menyebabkan percepatan sentripetal
adalah :

$$\Sigma F = \frac{mv^2}{r} \rightarrow T \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \rightarrow T = \frac{mv^2}{r \sin \theta}$$

Dari kedua persamaan diatas diperoleh :

$$\frac{mg}{\cos \theta} = \frac{mv^2}{r \sin \theta} \rightarrow \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{v^2}{rg} \rightarrow \text{tg } \theta = \frac{v^2}{rg}$$

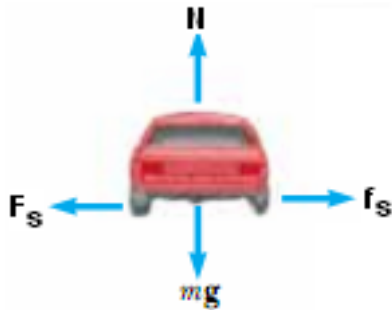
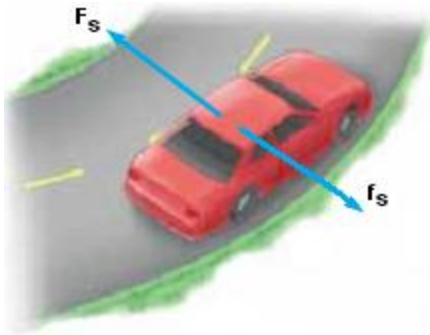
Maka : $v = \sqrt{rg \tan \theta}$ atau $v = \sqrt{Lg \sin \theta \tan \theta}$



Contoh

Sebuah mobil dengan massa 1500 kg bergerak menikung dengan jari-jari tikungan 35 m. Koefisien gesek statis antara roda dan jalan 0,5. Berapakah kecepatan maksimum mobil supaya tidak terbalik?

Penyelesaian :



Supaya mobil tidak terbalik, maka :
Gaya sentripetal < Gaya gesek

$$\frac{m v^2}{r} < \mu_s N$$

$$m v^2 < \mu_s m g r$$

$$v < \sqrt{\mu_s g r}$$

$$v < \sqrt{(0,5)(9,8)(35)}$$

$$v < 13,1 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan maksimum mobil supaya tidak terbalik adalah **13,1 m/s**.

Contoh

Sebuah bola kecil dengan massa m yang dihubungkan dengan tali diputar vertikal membentuk jari-jari lingkaran R . Tentukan kecepatan minimum pada titik tertinggi sehingga bola tidak jatuh!

Penyelesaian :

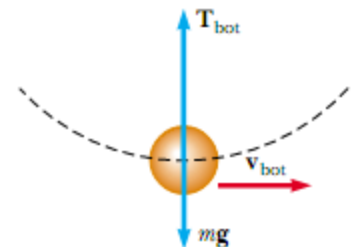
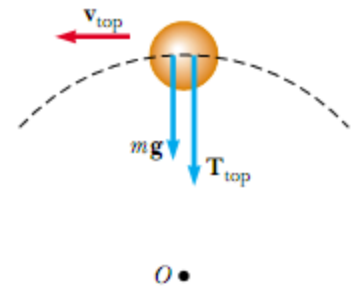
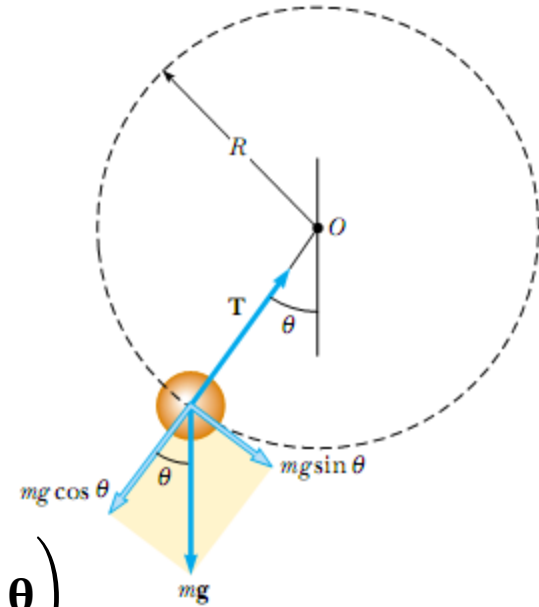
Tegangan tali pada sudut θ adalah :

$$\Sigma F = \frac{m v^2}{R} \rightarrow T - mg \cos \theta = \frac{m v^2}{R} \rightarrow T = m \left(\frac{v^2}{R} - g \cos \theta \right)$$

Pada posisi titik tertinggi, berlaku $\theta = 180^\circ$
($\cos 180^\circ = -1$) dan $T = 0$, maka :

$$T_{\text{top}} = m \left(\frac{v_{\text{top}}^2}{R} - g \right) \rightarrow 0 = m \left(\frac{v_{\text{top}}^2}{R} - g \right) \rightarrow v_{\text{top}} = \sqrt{g R}$$

V_{top} adalah **kecepatan minimum** pada titik tertinggi supaya bola tidak jatuh.



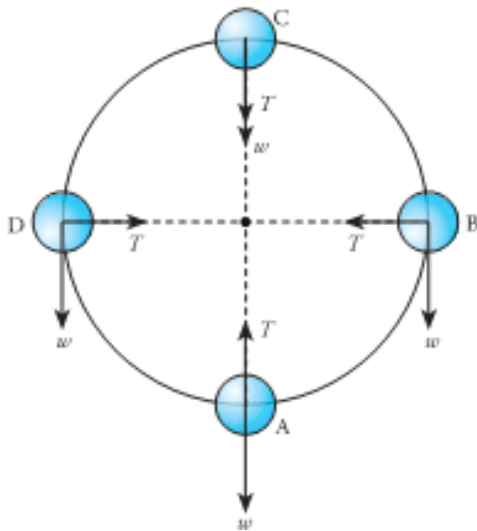
Contoh soal

Sebuah batu bermassa 100 g diikat dengan tali sepanjang 50 cm. Batu tersebut kemudian diputar vertikal dengan kecepatan linear 5 m/s. Berapakah tegangan tali pada saat benda berada di titik terendah dan titik tertinggi?

Penyelesaian :

Diketahui: $m = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg}$; $r = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$; $v = 5 \text{ m/s}$

Perhatikan diagram gaya pada Gambar berikut :



- a. Berdasarkan gambar, di titik terendah berlaku persamaan:

$$T - w = F_s$$

$$T = m \frac{v^2}{r} + m g = (0,1) \frac{(5)^2}{0,5} + (0,1)(10) = 5 + 1 = 6 \text{ N}$$

- b. Berdasarkan gambar, di titik tertinggi berlaku persamaan:

$$T + w = F_s$$

$$T = m \frac{v^2}{r} - m g = (0,1) \frac{(5)^2}{0,5} - (0,1)(10) = 5 - 1 = 4 \text{ N}$$

Gaya Penghambat

- Gaya Penghambat (R) biasanya terjadi pada gerak benda yang berada pada cairan atau gas.

- Secara matematis dinyatakan :

$$R = -bv$$

- Dimana :
 - v adalah kecepatan gerak benda
 - b adalah konstanta yang tergantung pada sifat medium, bentuk dan dimensi benda.
 - Tanda negatif menunjukkan bahwa R berlawanan arah dengan gerak benda.

Sebuah bola kecil dilepaskan dari permukaan wadah yang berisi cairan, sehingga bola akan bergerak ke bawah dengan kecepatan v sampai dasar cairan.

Misalkan yang bekerja pada bola tersebut hanya gaya penghambat ($R = -bv$) dan gaya gravitasi ($F_g = mg$), maka :

$$\Sigma F = m \frac{dv}{dt} \Rightarrow mg - bv = m \frac{dv}{dt} \Rightarrow \frac{dv}{dt} = g - \frac{b}{m} v \Rightarrow v = \frac{mg}{b} (1 - e^{-bt/m}) \quad \begin{matrix} v=0 \\ a=g \end{matrix}$$

Pada saat $v = 0$, gaya penghambat R juga 0, percepatannya hanya tergantung pada gravitasi g . Percepatan akan mendekati nol apabila nilai gaya penghambatnya mendekati gaya berat bola, maka kecepatannya disebut **kecepatan terminal** (v_T).

$$mg - bv_T = 0$$

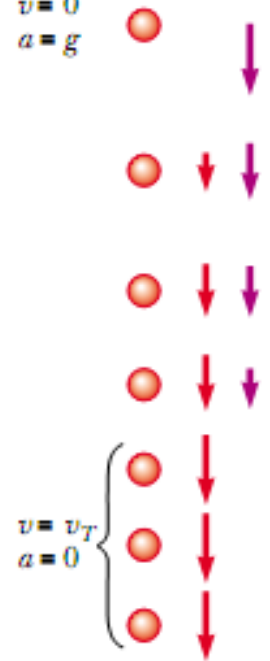
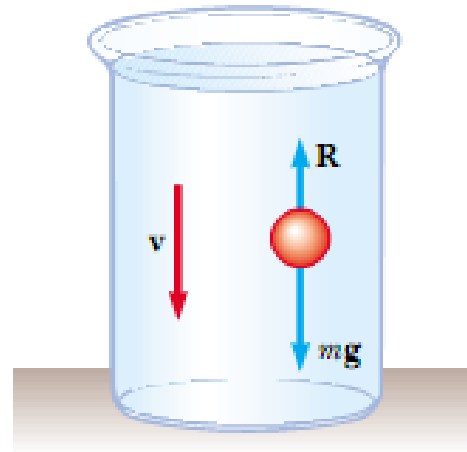
$$v_T = \frac{mg}{b}$$

Sehingga :

$$v = v_T (1 - e^{-t/\tau})$$

Dimana :

τ = konstanta waktu ($\tau = m/b$)



Contoh

Sebuah bola kecil dengan massa 2 g dilepaskan wadah yang berisi minyak memiliki kecepatan terminal 5 cm/s. Hitunglah konstanta waktunya dan waktu yang diperlukan bola untuk mencapai kecepatan 90% dari kecepatan terminalnya!

Penyelesaian :

Untuk mencari b :

$$b = \frac{m g}{v_T} = \frac{(2)(980)}{5} = 392 \text{ g/s}$$

Maka Konstanta waktunya :

$$\tau = \frac{m}{b} = \frac{2}{392} = 5,10 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Untuk mendapatkan waktu yang diperlukan bola untuk mencapai kecepatan 90% dari kecepatan terminalnya, maka $v = 0.9 v_T$,

Sehingga waktunya adalah :

$$\begin{aligned} 0,9 v_T &= v_T (1 - e^{-t/\tau}) \\ 1 - e^{-t/\tau} &= 0,9 \\ e^{-t/\tau} &= 0,1 \\ -\frac{t}{\tau} &= \ln(0,1) = -2,3 \\ t &= 2,3 \tau = (2,3)(5,10 \times 10^{-3}) \\ &= 11,7 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Terima Kasih