

BUKU SISWA

Keseimbangan Benda Tegar



Tujuan Pembelajaran

- Anda dapat menformulasikan hubungan antara konsep torsi, momentum sudut, momen inersia, berdasarkan hukum II Newton serta penerapannya dalam masalah benda tegar.



Sumber: Garuda, Januari 1996

Penduduk Bali terkenal dengan ketaatannya menjalankan ritual agama. Pada tiap upacara keagamaan, salah satu yang tidak boleh terlupakan adalah menyiapkan beraneka ragam sesaji. Terkadang untuk membawa sesaji ke tempat yang dituju, para wanita Bali menyunnggi sesaji menggunakan tampah. Tahukah Anda, konsep fisika apa yang diterapkan agar sesaji di dalam tampah tidak jatuh/tergelincir dari atas kepala meski tidak dipegang?

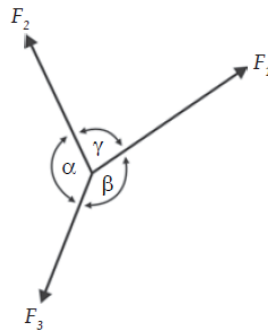
Pernahkan Anda memikirkan sebab bangunan pencakar langit dapat berdiri kokoh? Atau sebab jembatan tidak roboh walaupun di atasnya dilewati bermacam-macam kendaraan yang berat? Atau sebab Anda dapat berdiri tegak? Bangunan pencakar langit dapat berdiri kokoh, jembatan dapat bergantung kuat, atau Anda dapat berdiri tegak disebabkan karena berada dalam keadaan seimbang.

Keseimbangan benda penting dipelajari karena banyak bidang ilmu yang menerapkannya. Misalnya, bidang arsitek atau teknik sipil (merancang dan mendesain rumah kokoh), bidang olahraga, (yudo, senam, dan tinju), dan bidang medis atau terapi (kekuatan otot untuk menjaga keseimbangan tubuh). Sesuai hukum I Newton, keseimbangan dapat Anda bedakan menjadi dua macam, yaitu keseimbangan statis (keseimbangan benda ketika dalam keadaan diam) dan keseimbangan dinamis (keseimbangan benda ketika bergerak dengan kecepatan konstan). Pada bab ini Anda akan membahas keseimbangan statis yang terjadi pada partikel maupun pada benda tegar. Sebelum membahas tentang keseimbangan, terlebih dahulu Anda akan dikenalkan jenis gerak yang diakibatkan oleh gaya yang berkaitan dengan konsep keseimbangan benda.

Misalnya, gerak translasi, rotasi, dan menggelinding. Gerak translasi (geseran) merupakan gerak yang kedudukan pusat massa benda berubah tapi tidak memiliki kecepatan sudut. Misalnya, meja yang digeser dan lemari yang digeser. Gerak rotasi (berputar) merupakan gerak yang kedudukan pusat massa tetap tapi memiliki kecepatan sudut. Misalnya, baling-baling yang berputar dan batu yang diputar dengan seutas tali. Gerak rolling (menggelinding) atau mengalami gerak translasi merupakan gerak yang kedudukan pusat massanya berubah dan memiliki kecepatan sudut. Misalnya, kelereng atau bola yang menggelinding.

A. Keseimbangan Partikel dan Gerak Translasi

Partikel merupakan ukuran benda terkecil, sehingga sering digambarkan sebagai titik. Akibatnya, jika ada gaya yang bekerja pada partikel, maka gaya tepat mengenai pada pusat massa benda. Oleh karena itu, partikel hanya mengalami gerak translasi (menggeser). Gerak translasi merupakan gerak yang memenuhi hukum II Newton. Jika partikel terletak pada bidang XY dan gaya-gaya yang bekerja diuraikan dalam komponen sumbu X dan sumbu Y, maka syarat keseimbangan partikel dapat ditulis $\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$. Banyak persoalan yang berhubungan dengan keseimbangan partikel akibat pengaruh tiga buah gaya. Untuk menyelesaikannya, Anda dapat menggunakan syarat keseimbangan. Secara sederhana Anda juga dapat menggunakan aturan sinus dalam segitiga.



Gambar 1 Pengaruh Tiga Gaya Pada Partikel

Perhatikan Gambar 1! Jika partikel pada dalam keadaan seimbang, maka berlaku persamaan $F_1 + F_2 + F_3 = 0$. Berdasarkan aturan sinus dalam segitiga,

diperoleh persamaan $\frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{F_3}{\sin \gamma}$

Contoh soal

1. Perhatikan gambar di samping! Sebuah beban bermassa 9 kg digantungkan menggunakan tali pada sebuah dinding. Jika $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ dan sistem di atas dalam keadaan seimbang, maka tentukan besar gaya tegangan pada tali BA dan BC !

Diketahui : a. $m = 9 \text{ kg}$

b. $g = 10 \text{ ms}^{-2}$

Ditanyakan : T_1 dan $T_2 = \dots$?

Jawab:

Pandang titik B sebagai partikel

1. Syarat seimbang:

$$\sum F_x = 0$$

$$T_{2x} - T_{1x} = 0$$

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

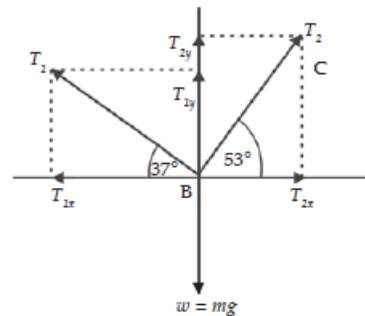
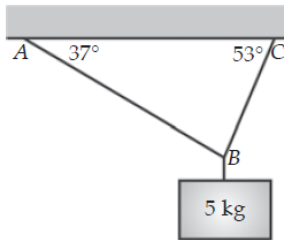
$$T_1 = 0,75 T_2 \dots\dots (1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T_{1y} + T_{2y} - w = 0$$

$$T_{1y} + T_{2y} = w$$

$$T_{1y} + T_{2y} = m \times g \dots\dots\dots (2)$$



Berdasarkan persamaan (1) dan (2) diperoleh:

$$0,75 T_2 \cdot 0,6 + T_2 \cdot 0,8 = 50$$

$$1,25 T_2 = 50$$

$$T_2 = 40 \text{ N}$$

$$T_1 = 0,75 \times 4 = 30 \text{ N}$$

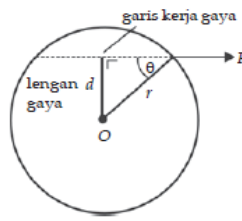
Jadi, besarnya tegangan tali pada BA dan BC adalah 30 N dan 50 N.

B. Gerak Rotasi

Gerak rotasi (melingkar) adalah gerakan pada bidang datar yang lintasannya berupa lingkaran. Anda akan mempelajari bagaimana suatu benda dapat berotasi dan apa yang menyebabkan. Oleh karena itu, Anda akan mengawali dengan pembahasan tentang pengertian momen gaya, momen inersia, dan momentum sudut.

1. Momen Gaya (Torsi)

Benda dapat melakukan gerak rotasi karena adanya momen gaya. Momen gaya timbul akibat gaya yang bekerja pada benda tidak tepat pada pusat massa.



Gambar 2 Momen gaya yang bekerja pada benda menyebabkan benda berotasi.

Gambar 2 memperlihatkan sebuah gaya F bekerja pada sebuah benda yang berpusat massa di O . Garis/kerja gaya berjarak d , secara tegak lurus dari pusat massa, sehingga benda akan berotasi ke kanan searah jarum jam. Jarak tegak lurus antara garis kerja gaya dengan titik pusat massa disebut *lengan gaya* atau *lengan momen*. Momen gaya didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya (F) dengan jarak lengan gaya (d). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\tau = F \times d$$

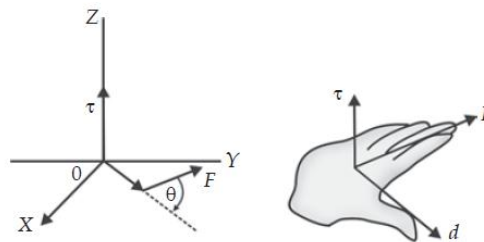
Keterangan :

τ = momen gaya (Nm)

F = gaya (N)

d = lengan gaya (m)

Arah momen gaya dinyatakan oleh aturan tangan kanan. Bukalah telapak tangan kanan Anda dengan ibu jari terpisah dari keempat jari yang lain. Lengan gaya d sesuai dengan arah ibu jari, gaya F sesuai dengan arah keempat jari, dan arah torsi sesuai dengan arah membukanya telapak tangan.



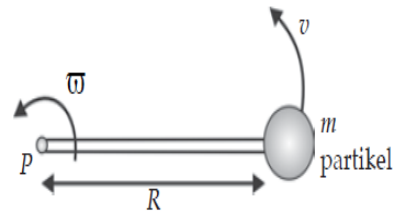
Gambar 3 Penentuan arah momen gaya dengan kaidah tangan kanan.

Momen gaya τ menyebabkan benda berotasi. Jika benda berotasi searah jarum jam, maka torsi yang bekerja pada benda bertanda positif. Sebaliknya, jika benda berotasi dengan arah berlawanan dengan arah jarum jam, maka torsi penyebabnya bertanda negatif. Torsi-torsi yang sebidang dapat dijumlahkan. Apabila pada sebuah benda bekerja beberapa gaya, maka jumlah momennya sama dengan momen gaya dari resultan semua gaya yang bekerja pada benda tersebut. Secara matematis dapat dituliskan seperti di bawah ini.

$$\tau_{O1} + \tau_{O2} + \tau_{O3} + \dots = Rd \text{ atau } \Sigma \tau_O = Rd$$

2. Momen Inersia

Momen inersia (kelembaman) suatu benda adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berputar terhadap porosnya. Nilai momen inersia suatu benda bergantung kepada bentuk



benda dan letak sumbu putar benda tersebut. Misalkan Anda memiliki sebuah batang ringan (massa diabaikan) dengan panjang R . Salah satu ujung batang, yaitu titik P , ditetapkan sebagai poros rotasi. Pada ujung batang yang lain dihubungkan dengan sebuah partikel bermassa m . Jika sistem diputar terhadap poros P , sehingga partikel berotasi dengan kecepatan v , maka energi kinetik rotasi partikel dapat ditulis sebagai berikut.

$$E_k = \frac{1}{2} m \times v^2$$

Karena $v = R \omega$, maka

$$E_k = \frac{1}{2} m \times (R\omega)^2 \text{ atau } \frac{1}{2} m \times R^2 \omega^2$$

Momen inersia dilambangkan dengan I , satuannya dalam SI adalah kg m^2 . Nilai momen inersia sebuah partikel yang berotasi dapat ditentukan dari hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak partikel tersebut dari titik pusat rotasi. Faktor $m \times R^2$ merupakan momen inersia titik terhadap sumbu putarnya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

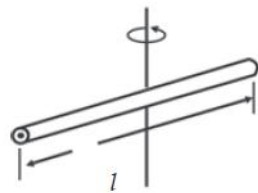
$$I = m \cdot R^2$$

Keterangan :

- I = momen inersia (kgm^2)
- m = massa partikel atau titik (kg)
- R = jari-jari (m)

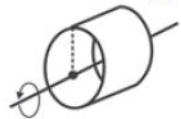
Benda yang terdiri atas susunan partikel (titik), jika melakukan gerak rotasi memiliki momen inersia sama dengan hasil jumlah dari momen inersia partikel penyusunnya.

$$I = \sum m_i \times R_i^2 = (m_1 \times R_1^2) + (m_2 \times R_2^2) + (m_3 \times R_3^2) + \dots$$

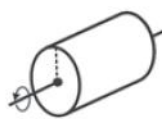


batang silinder, poros melalui

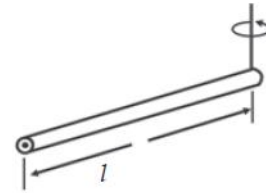
pusat, $I = \frac{1}{12}ml^2$



silinder tipis berongga,
poros melalui sumbu silinder,
 $I = mR^2$

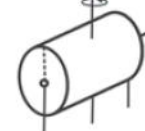


piringan atau silinder pejal,
poros melalui sumbunya,
 $I = \frac{1}{12}ml^2$



batang silinder, poros melalui

ujung, $I = \frac{1}{3}ml^2$



silinder pejal, poros seperti
tampak pada gambar

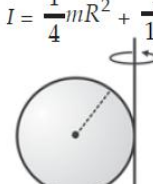
$$I = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{12}ml^2$$



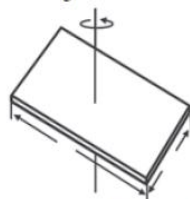
bola pejal,
poros melalui diameter,
 $I = \frac{2}{5}mR^2$



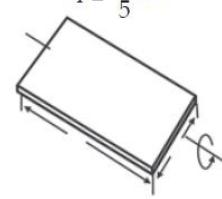
bola berongga,
poros melalui diameter,
 $I = \frac{2}{3}mR^2$



bola pejal, poros seperti
tampak pada gambar,
 $I = \frac{7}{5}mR^2$



Lempeng tipis, poros melalui sumbu tegak
lurus, $I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$



Lempeng tipis, poros seperti tampak
pada gambar, $I = \frac{1}{12}ma^2$

A. Keseimbangan Benda Tegar

Benda tegar adalah benda yang tidak mengalami perubahan bentuk akibat pengaruh gaya atau momen gaya. Sebenarnya benda tegar hanyalah suatu model idealisasi. Karena pada dasarnya semua benda akan mengalami perubahan bentuk apabila dipengaruhi oleh suatu gaya atau momen gaya. Namun, karena perubahannya sangat kecil, pengaruhnya terhadap keseimbangan statis dapat diabaikan. Apabila partikel hanya mengalami gerak translasi, maka benda tegar mengalami gerak translasi dan gerak rotasi. Benda tegar mengalami keseimbangan translasi jika resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol. Benda tersebut tidak mengalami kecepatan sudut ($\omega = 0$), melainkan hanya bergerak dengan kecepatan tetap v .

Benda yang mengalami keseimbangan rotasi memiliki resultan momen gaya (torsi) sama dengan nol, kecepatan sudut konstan, dan percepatan sudutnya sama dengan nol. Agar suatu benda tegar berada dalam keadaan seimbang, diperlukan dua syarat, yaitu resultan gaya dan resultan momen gaya terhadap suatu titik sembarang sama dengan nol. Jika gaya-gaya bekerja pada bidang XY , maka syarat keseimbangan benda tegar adalah $\sum F_x = 0$ atau $\sum F_y = 0$ dan $\sum \tau = 0$.

Macam-Macam Keseimbangan

Keseimbangan translasi adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan linear konstan (v konstan) atau tidak mengalami perubahan linear ($a = 0$). *Keseimbangan rotasi* adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan sudut konstan ($\omega = \text{konstan}$) atau tidak mengalami percepatan sudut ($\alpha = 0$). Jika sebuah benda yang berada dalam keadaan seimbang stabil dipengaruhi oleh gaya luar, maka benda tersebut mengalami gerak translasi (mengeser) dan gerak rotasi (mengguling). Gerak translasi (mengeser) disebabkan oleh gaya, sedangkan gerak rotasi (mengguling) disebabkan oleh momen gaya. Oleh karena itu, Anda dapat menyatakan syarat-syarat kapan suatu benda akan menggeser, mengguling, atau menggelinding (mengeser dan mengguling).

- Syarat benda menggeser adalah $\sum F = 0$ dan $\sum \tau = 0$
- Syarat benda mengguling adalah $\sum F = 0$ dan $\sum \tau = 0$
- Syarat benda menggelinding adalah $\sum F = 0$ dan $\sum \tau = 0$

Berdasarkan kedudukan titik beratnya, keseimbangan benda ketika dalam keadaan diam (keseimbangan statis) dikelompokkan menjadi tiga, yaitu keseimbangan stabil, keseimbangan labil, dan keseimbangan indeferen.

1. Keseimbangan Stabil

Keseimbangan stabil adalah keseimbangan yang dialami benda di mana apabila dipengaruhi oleh gaya atau gangguan kecil benda tersebut akan segera

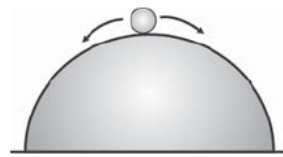


ke posisi keseimbangan semula. Pada gambar menunjukkan sebuah kelereng yang

ditempatkan dalam bidang cekung. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng akan kembali ke posisi semula. Keseimbangan stabil ditandai oleh adanya kenaikan titik benda jika dipengaruhi suatu gaya.

2. Keseimbangan Labil

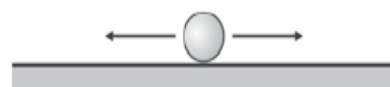
Keseimbangan labil adalah keseimbangan yang dialami benda yang apabila diberikan sedikit gangguan benda tersebut tidak bisa



kembali ke posisi keseimbangan semula. Pada gambar menunjukkan sebuah kelereng yang ditempatkan di atas bidang cembung. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng tidak akan pernah kembali ke posisi awalnya. Keseimbangan labil ditandai oleh adanya penurunan titik berat benda jika dipengaruhi suatu gaya.

3. Keseimbangan Indeferen

Keseimbangan indeferen atau *netral* adalah keseimbangan yang dialami benda yang apabila diberikan sedikit gangguan benda tersebut tidak mengalami



perubahan titik berat benda. Pada gambar menunjukkan sebuah kelereng yang ditempatkan di atas sebuah bidang datar. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng akan kembali diam pada kedudukan yang berbeda. Keseimbangan netral ditandai oleh tidak adanya perubahan pasti titik berat jika dipengaruhi suatu gaya.