

MOMENTUM DAN IMPULS

Pengertian Momentum dan Impuls

Momentum dimiliki oleh benda yang bergerak.

Momentum adalah kecenderungan benda yang bergerak untuk melanjutkan gerakannya pada kelajuan yang konstan. Momentum merupakan besaran vektor yang searah dengan kecepatan benda. Momentum dapat dirumuskan sebagai hasil perkalian massa dengan kecepatan. Secara matematis dituliskan:

$$p = m \cdot v$$

dengan:

$$p = \text{momentum (kgm/s)}$$

$$m = \text{massa benda (kg)}$$

$$v = \text{kecepatan benda (m/s)}$$

Semakin besar massa suatu benda, maka semakin besar momentumnya, dan semakin cepat gerak suatu benda, maka semakin besar pula momentumnya. Misalnya, dengan kecepatan yang sama, jembatan yang tertabrak bus akan mengalami kerusakan lebih parah daripada jembatan yang tertabrak mobil. Mobil dengan kecepatan tinggi akan lebih sulit dihentikan daripada mobil dengan kecepatan rendah. Dan apabila terjadi tumbukan, mobil dengan kecepatan tinggi akan mengalami kerusakan lebih parah. Semakin besar momentum sebuah benda yang sedang melaju, semakin sulit untuk menghentikannya dan semakin besar tumbukannya jika mengenai benda lain.

Untuk membuat suatu benda yang diam menjadi bergerak diperlukan sebuah gaya yang bekerja pada benda tersebut selama interval waktu tertentu. Gaya yang diperlukan untuk membuat sebuah benda tersebut bergerak dalam interval waktu tertentu disebut **impuls**.

Impuls digunakan untuk menambah, mengurangi, dan mengubah arah momentum dalam satuan waktu. Impuls dapat dirumuskan sebagai hasil perkalian gaya dengan interval waktu. Secara matematis dituliskan:

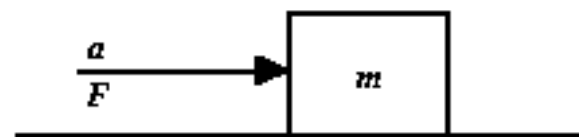
$$I = F \cdot \Delta t$$

dengan:

$$F = \text{gaya (N)}$$

$$\Delta t = \text{waktu (s)}$$

$$I = \text{impuls (N.s)}$$



Gaya F bekerja pada benda bermassa "m" dengan percepatan "a"

Impuls pada umumnya digunakan dalam peristiwa apabila gaya yang bekerja besar dan dalam waktu yang sangat singkat. Berdasarkan Hukum II Newton:

$$F = m \cdot a$$

karena

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}, \text{ maka:}$$

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F \Delta t = m \Delta v = m v_2 - m v_1$$

$$I = \Delta p = p_2 - p_1$$

Dari persamaan dapat dikatakan bahwa impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentumnya. Penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor, dirumuskan:

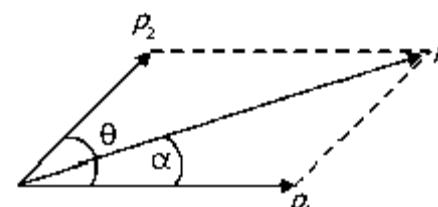
$$p = p_1 + p_2$$

Jika dua vektor momentum p_1 dan p_2 membentuk sudut, seperti Gambar 5.3, maka:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \theta}$$

Contoh :

Bola A dengan massa 200 gram digelindingkan ke kanan dengan kelajuan 10 m/s dan bola B dengan massa 400 gram digelindingkan ke kiri dengan kelajuan 5 m/s. Jika kedua bola tersebut bertumbukan, hitunglah momentumnya!



Penjumlahan dua Vector yang memiliki sudut θ

Penyelesaian:

Diketahui:

$$m_A = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg} \quad m_B = 400 \text{ g} = 0,4 \text{ kg}$$

$$v_A = 10 \text{ m/s}; \quad v_B = 5 \text{ m/s}$$

Ditanya: $p_{total} = \dots ?$

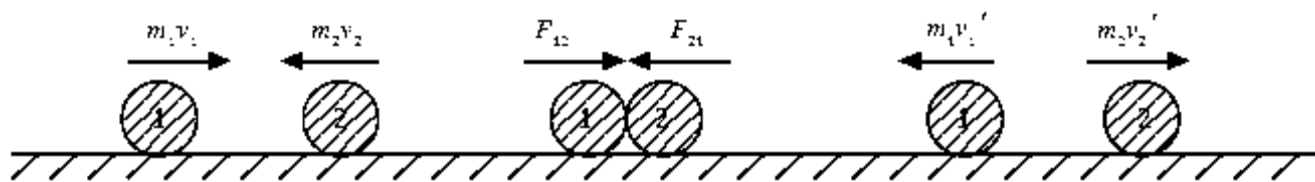
Jawab:

$$p_{total} = m_A v_A + m_B v_B$$

$$= (0,2 \times 10) + (0,4 \times 5)$$

$$p_{total} = 4 \text{ kg.m/s}$$

HUKUM KEKALKAN MOMENTUM



Gambar

menunjukkan dua buah bola biliar dengan massa masing-masing m_1 dan m_2 , bergerak pada satu garis lurus dan searah dengan kecepatan v_1 dan v_2 .

Pada saat bertumbukan, bola 1 menekan bola 2 dengan gaya F_{12} ke kanan selama Δt , sedangkan bola 2 menekan bola 1 dengan gaya yang arahnya berlawanan. Setelah bertumbukan, kecepatannya masing-masing v_1' dan v_2' .

Pada saat kedua bola bertumbukan, berdasarkan Hukum II Newton dapat dituliskan:

$$F_{aksi} + F_{reaksi} = 0$$

$$F_{aksi} = - F_{reaksi}$$

$$F_{12} = - F_{21}$$

$$F_{12} \cdot \Delta t = -F_{21} \cdot \Delta t$$

$$m_1 v_1' - m_1 v_1 = -(m_2 v_2' - m_2 v_2)$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \dots\dots\dots ***$$

dengan:

- m_1 = massa benda 1 (kg)
- v_1 = kecepatan benda 1 sebelum tumbukan (m/s)
- v_1' = kecepatan benda 1 setelah tumbukan (m/s)
- m_2 = massa benda 2 (kg)
- v_2 = kecepatan benda 2 sebelum tumbukan (m/s)
- v_2' = kecepatan benda 2 setelah tumbukan (m/s)

Persamaan (... ***) merupakan Hukum Kekalkan Momentum, yang dapat dinyatakan berikut ini.
 " Jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda, maka jumlah momentum sebelum tumbukan sama dengan jumlah momentum setelah tumbukan "

Contoh :

1. Sebuah bola golf bermassa 0,25 kg dipukul dengan stik hingga melesat dengan kelajuan 60 m/s. Jika selang waktu kontak antara stik dan bola 0,05 sekon, berapakah gaya rata-rata yang dikerjakan stik?

Penyelesaian:

Diketahui: $m = 0,25 \text{ kg}$ $v_2 = 60 \text{ m/s}$
 $v_1 = 0$ $\Delta t = 0,05 \text{ s}$

Ditanya: $F = \dots ?$

Jawab:

$$F \cdot \Delta t = m(v_2 - v_1)$$

$$F (0,05) = 0,25 \times (60 - 0)$$

$$F = \frac{15}{0,05} = 300 \text{ N}$$

2. Sebuah peluru bermassa 15 gram ditembakkan dari senapan bermassa 1,6 kg dengan kelajuan 120 m/s. Hitunglah kecepatan mundur sesaat menembak!

Penyelesaian:

Diketahui: $m_p = 15 \text{ g} = 0,015 \text{ kg}$ $v_p = 120 \text{ m/s}$
 $v_s = 0$ $m_s = 1,6 \text{ kg}$
 Ditanya: $v_s' = \dots ?$
 Jawab:
 $m_p v_p + m_s v_s = m_p v_p' + m_s v_s'$
 $0 + 0 = (0,015 \times 120) + 1,6 v_s'$
 $-1,6 v_s' = 1,8$
 $v_s' = -1,125 \text{ m/s}$

TUMBUKAN

1. Tumbukan Lenting Sempurna

Apabila tidak ada energi yang hilang selama tumbukan dan jumlah energi kinetik kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan sama, maka tumbukan itu disebut **tumbukan lenting sempurna**. Pada tumbukan lenting sempurna berlaku Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik. Misalnya, dua buah benda massanya masing-masing m_1 dan m_2 bergerak dengan kecepatan v_1 dan v_2 dengan arah berlawanan seperti pada Gambar berikut,

Kedua benda bertumbukan lenting sempurna, sehingga setelah tumbukan kecepatan kedua benda menjadi v_1' dan v_2' . Berdasarkan Hukum Kekekalan Momentum, dituliskan:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$m_1 v_1 - m_1 v_1' = m_2 v_2' - m_2 v_2$$

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_2' - v_2) \dots\dots\dots (i)$$

Dari Hukum Kekekalan Energi Kinetik diperoleh:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 (v_1')^2 + \frac{1}{2} m_2 (v_2')^2$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 (v_1')^2 + m_2 (v_2')^2$$

$$m_1 (v_1^2 - (v_1')^2) = m_2 ((v_2')^2 - v_2^2)$$

$$m_1 (v_1 + v_1')(v_1 - v_1') = m_2 (v_2' + v_2)(v_2' - v_2) \dots\dots\dots (ii)$$

Jika persamaan (ii) dibagi dengan persamaan (i) diperoleh:

$$v_1 + v_1' = v_2' + v_2$$

$$v_1' - v_2' = v_2 - v_1$$

$$v_1' - v_2' = -(v_1 - v_2) \dots\dots\dots (5.6)$$

Persamaan (5.6) dapat dituliskan:

$$-\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = 1 \dots\dots\dots (5.7)$$

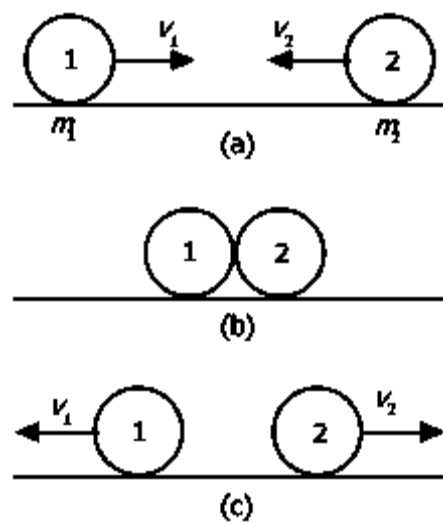
Bilangan $-\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = 1$ disebut koefisien restitusi (e), yang merupakan negatif perbandingan kecepatan relatif kedua benda sebelum tumbukan. Persamaan (5.7) dapat dinyatakan:

$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = 1 \dots\dots\dots (5.8)$$

Dengan demikian, pada tumbukan lenting sempurna koefisien restitusi (e) = 1.

Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian, beberapa energi kinetik akan diubah menjadi energi bentuk lain seperti panas, bunyi, dan sebagainya. Akibatnya, energi kinetik sebelum tumbukan lebih besar daripada energi kinetik sesudah tumbukan. Sebagian besar tumbukan yang terjadi antara dua benda merupakan



Tumbukan lenting sempurna antara dua benda: (a) sebelum tumbukan, (b) saat tumbukan, (c) setelah tumbukan.

tumbukan lenting sebagian.

Pada tumbukan lenting sebagian berlaku Hukum Kekekalan Momentum, tetapi tidak berlaku Hukum Kekekalan Energi Kinetik.

Sehingga persamaannya dapat dituliskan:

$$\sum Ek > \sum Ek', \text{ maka: } \frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} < 1$$

$$Ek_1 + Ek_2 > Ek_1' + Ek_2'$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan pada tumbukan lenting sebagian, koefisien restitusi (e) adalah : $0 < e < 1$.

Untuk menentukan koefisien restitusi benda yang bertumbukan, perhatikan contoh berikut ini. Perhatikan Gambar 5.7. Sebuah bola elastis jatuh bebas dari ketinggian h_1 dari lantai, maka akan terjadi tumbukan antara bola dengan lantai sehingga bola memantul setinggi h_2 .

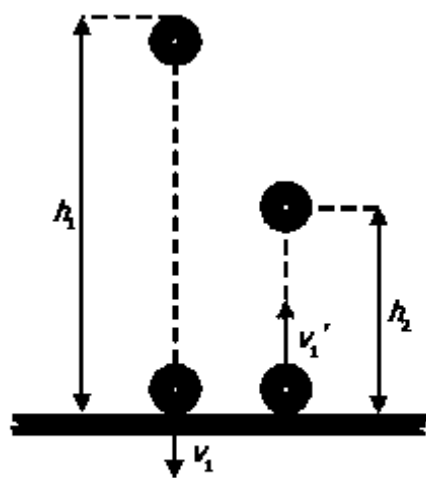
Berdasarkan persamaan pada gerak jatuh bebas, kecepatan benda sesaat sebelum tumbukan adalah:

$$v_1 = +\sqrt{2gh_1}$$

Gerak bola sesaat setelah terjadi tumbukan dapat diidentifikasi dengan gerak jatuh bebas, sehingga:

$$v_1' = -\sqrt{2gh_2} \text{ (arah ke atas negatif)}$$

Karena lantai diam, maka kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan adalah nol, $v_2 = v_2' = 0$, sehingga besarnya koefisien restitusi adalah:



$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = -\frac{(v_1' - 0)}{(v_1 - 0)}$$

$$e = -\frac{v_1'}{v_1} = -\frac{(-\sqrt{2gh_2})}{+\sqrt{2gh_1}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

----- Tumbukan lenting sebagian antara bola dengan lantai.

Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, sesudah tumbukan kedua benda bersatu, sehingga kecepatan kedua benda sesudah tumbukan besarnya sama, yaitu $v_1' = v_2' = v'$.

Berdasarkan Hukum Kekekalan Momentum maka:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v' \dots\dots\dots (5.11)$$

Karena $v_1' = v_2'$, maka $v_1' - v_2' = 0$, sehingga koefisien restitusi (e) adalah:

$$-\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = 0$$

Jadi, pada tumbukan tidak lenting sama sekali besarnya koefisien restitusi adalah nol ($e = 0$).

Contoh Soal :

1. Bola 150 gram bergerak ke kanan dengan kelajuan 20 m/s menumbuk bola lain bermassa 100 gram yang mula-mula diam. Jika tumbukannya lenting sempurna, berapakah kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$m_1 = 150 \text{ gram} = 0,15 \text{ kg } v_1 = 20 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 100 \text{ gram} = 0,1 \text{ kg } v_2 = 0$$

by : M. Djanilda

$e = 1$ (lenting sempurna)

Ditanya:

$$v_1' = \dots ?$$

$$v_2' = \dots ?$$

Jawab:

$$-\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2} = 1$$

$$-\frac{(v_1' - v_2')}{20 - 0} = 1$$

$$-(v_1' - v_2') = 20$$

$$-v_1' + v_2' = 20 \dots \text{(i)}$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$(0,15 \times 20) + (0,1 \times 0) = (0,15 \times v_1') + (0,1 \times v_2')$$

$$\frac{3}{60} = \frac{0,15 v_1' + 0,1 v_2'}{20}$$

$$= 3 v_1' + 2 v_2' \dots \text{(ii)}$$

Dari persamaan (i) dan (ii), maka:

$$\begin{array}{rcl} 3v_1' + 2v_2' = 60 & || \times 1 & 3v_1' + 2v_2' = 60 \\ -v_1' + v_2' = 20 & || \times 2 & -2v_1' + 2v_2' = 40 \\ \hline 5v_1' & & = 20 \\ v_1' & & = 4 \text{ m/s} \end{array} \quad \begin{array}{rcl} -v_1' + v_2' = 20 \\ -4 + v_2' = 20 \\ v_2' & & = 24 \text{ m/s} \end{array}$$