

SUMBER BELAJAR PENUNJANG PLPG 2016
MATA PELAJARAN/PAKET KEAHLIAN
FISIKA

BAB VIII
MOMENTUM DAN IMPULS



Prof. Dr. Susilo, M.S

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN DIREKTORAT
JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

BAB VIII

MOMENTUM DAN IMPULS

1.8 Materi Pokok: Momentum dan Impuls

a. Kompetensi Inti.

Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.

b. Kompetensi Dasar (KD)/Kelompok Kompetensi Dasar (KKD).

Mendeskripsikan momentum dan impuls, hukum kekekalan momentum, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

c. Uraian Materi Pembelajaran (dilengkapi dengan contoh *problem solving*).

Menghitung kecepatan akhir setelah tumbukan dari ilustrasi dua benda bermassa yang berinteraksi satu sama lain

1.8. IMPULS DAN MOMENTUM

Konsep Momentum

Apakah momentum dalam pengertian fisika? Untuk itu amati percobaan sederhana sebagai berikut.

Coba ambillah dua buah batu A dan batu B yang masanya tidak sama, masa A lebih besar dari masa B. Jatuhkan dua buah batu tersebut dari ketinggian yang sama di atas pasir. Perhatikan bekasnya saat benda jatuh di permukaan pasir. Mana yang bekasnya lebih dalam? Tentu benda A yang lebih dalam lebih dalam. Dikatakan bahwa batu A dengan masa lebih besar mempunyai momentum yang lebih besar dibanding dengan batu B.

Selanjutnya ambil kembali batu B, dan lempar ke pasir (diberi kecepatan awal) dari ketinggian yang sama dengan sebelumnya, tentu bekasnya akan lebih dalam dibanding

dengn batu B yang hanya dijatuhkan saja seperti sebelumnya (tanpa kecepatan awal). Dalam hal ini dikatakan bahwa momentum batu B yang dilempar adalah lebih besar dari pada yang hanya dijatuhkan saja.

Dari dua percobaan sederhana tersebut dapat disimpulkan bahwa momentum suatu benda tergantung pada masa dan kecepatan suatu benda.

Contoh lain yang kadang tidak sengaja kita lihat, seperti berikut. Diantara benda berikut, mobil dan sepeda, manakah yang menimbulkan dampak lebih besar pada saat menabrak sesuatu? Ya tentunya mobil yang mempunyai masa jauh lebih besar dapat menimbulkan kerusakan lebih besar pula dibandingkan dengan sepeda ketika menabrak sesuatu.



Gambar 5.1. Mobil menabrak sesuatu.

Dampak kerusakan pada mobil dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 5.1. Perbedaan dampak kerusakan oleh tabrakan mobil dan sepeda dijelaskan dengan konsep **momentum**. Selanjutnya akan dibahas konsep momentum dan impuls, serta hubungan antara keduanya.

Setiap benda yang bergerak mempunyai momentum. Momentum linear atau biasa disingkat momentum dari sebuah benda tergantung pada masa dan kecepatan benda. Sehingga momentum dapat didefinisikan sebagai hasil kali masa dan kecepatannya. Jika ditentukan m menyatakan masa sebuah benda dan v kecepatan benda tersebut, maka besarnya momentum p dari sebuah benda tersebut adalah:

$$p = m v \dots\dots\dots (5.1)$$

dengan

p : momentum (kg.m/s)

m : massa (kg)

v : kecepatan (m/s)

Satuan SI untuk masa m adalah kg, dan untuk kecepatan v adalah ms^{-1} , sehingga sesuai dengan persamaan 5.1 maka satuan momentum bisa dicari dari satuan penusunnya, yaitu:

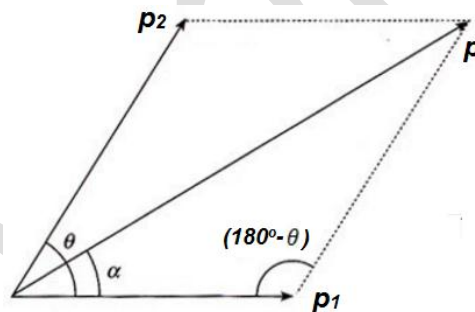
$$\begin{aligned} \text{momentum} &= \text{masa} \cdot \text{kecepatan} \\ &= \text{kg} \cdot \text{ms}^{-1} \end{aligned}$$

Sehingga satuan momentum dalam SI adalah kg ms^{-1} .

Karena v merupakan besaran vektor dan m besaran skalar, maka momentum dapat dinyatakan sebagai vektor dengan arah sama dengan arah kecepatan v , dan secara vektor dapat ditulis sebagai:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (5.2)$$

Karena momentum p adalah besaran vektor, maka penjumlahan dua momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor, serta momentum p mempunyai besar dan arah tertentu.



Gambar 5.2. Penjumlahan vektor momentum.

Besarnya vektor resultan momentum bisa dihitung menggunakan aturan cosinus sebagai berikut:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2 p_1 p_2 \cos(\theta)} \quad (5.3)$$

Sedang arah momentum p dapat dihitung menggunakan aturan sinus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{p}{\sin(180-\theta)} &= \frac{p_2}{\sin \alpha} \\ \sin \alpha &= \frac{p_2 \sin \theta}{p} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Contoh Soal 1:

Sebuah truk bermassa 3 ton bergerak dengan kecepatan tetap 20 m/s. Berapakah

momentum yang dimilikinya?

Penyelesaian:

Diketahui : $m = 30.000 \text{ kg}$

: $v = 20 \text{ m/s}$

Ditanya : p ?

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan (5.1), maka kita mendapatkan besarnya momentum truk tersebut sebesar

$$p = mv$$

$$p = 30.000 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s}$$

$$p = 600.000 \text{ kg.m/s}$$

$$p = 6 \cdot 10^5 \text{ kg.m/s.}$$

Contoh 2:

Sebuah benda bermassa 500 gr dijatuhkan dari ketinggian 5 m dari atas tanah. Tentukan momentum dari benda saat mencapai tanah, jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 ?

Penyelesaian:

Diketahui: $m = 1 \text{ kg}$

$h = 5 \text{ m}$

Ditanya: p di tanah?

Jawab:

$$p = m v$$

v dicari dulu menggunakan persamaan gerak jatuh bebas.

Dari persamaan gerak jatuh bebas yang telah dibahas di bagian sebelumnya:

$$m g h = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ ms}^{-2} \cdot 5 \text{ m}}$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

Dari persamaan momentum diatas:

$$p = m v$$

$$p = 1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ ms}^{-1}$$

$$p = 10 \text{ kg m s}^{-1}$$

1.8.2. Konsep Impuls

Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemui peristiwa-peristiwa seperti bola ditendang, bola tenis dipukul, serta pukulan sesaat. Pada peristiwa itu, gaya yang bekerja pada benda hanya sesaat saja, inilah yang disebut sebagai **impuls**. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = F \Delta t \quad (1.2)$$

di mana

I = impuls (N s)

F = gaya (N)

Δt = selang waktu (s)

Impuls merupakan besaran vektor yang arahnya sama dengan arah gaya. Secara vektor impuls ditulis sebagai:

$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t$$

Contoh Soal 2:

Sebuah bola dipukul dengan gaya sebesar 45 N, jika gaya itu bekerja pada bola hanya dalam waktu 0,1 s. Berapakah besarnya impuls pada bola tersebut?

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (1.2), maka kita dapatkan besarnya impuls dalam persoalan ini yaitu sebesar:

$$I = F \Delta t$$

$$I = 45 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ s}$$

$$I = 4,5 \text{ N s}$$

1.8.3 Impuls sebagai perubahan Momentum

Suatu benda yang bermassa m bekerja gaya F yang konstan, maka setelah waktu Δt benda tersebut bergerak dengan kecepatan :

$$v_t = v_o + a.\Delta t \quad (5.3)$$

Menurut Hukum II Newton:

$$F = m a \quad (5.4)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan (5.4) ke Persamaan (5.3), maka diperoleh:

$$v_t = v_o + (F/m) \Delta t \quad (5.5)$$

$$F \Delta t = m v_t - m v_o \quad (5.6)$$

dengan:

$m v_t$ = momentum benda pada saat kecepatan v_t

$m v_o$ = momentum benda pada saat kecepatan v_o

Kesimpulan:

Momentum ialah: Hasil kali massa sebuah benda dengan kecepatan . Momentum merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan kecepataannya. Satuan dari momentum adalah kg m/s atau gram cm/s

Impuls adalah: Hasil kali gaya dengan waktu yang ditempuhnya. Impuls merupakan Besaran vektor yang arahnya searah dengan arah gayanya.

Perubahan momentum adalah akibat adanya impuls dan nilainya sama dengan impuls.

Impuls = Perubahan Momentum

Contoh Soal 3:

Sebuah bola sepak mula-mula diam, kemudian dipukul hingga kecepataannya menjadi 8 m/s. Jika massa bola 250 gram dan lamanya waktu stick bersentuhan dengan bola 0,02 s. Berpakah besarnya gaya yang mendorong bola tersebut?

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan 5.6, maka besarnya gaya dapat diperoleh yaitu:

$$F = \frac{m v_t - m v_o}{\Delta t} = \frac{m(v_t - v_o)}{\Delta t}$$

$$F = \frac{0,25(8 - 0) \text{ kg.m/s}}{0,02 \text{ s}}$$

$$F = 100 \text{ N}$$

Contoh soal 4:

Dalam suatu permainan sepakbola, seorang pemain melakukan tendangan penalti. Tepat setelah ditendang bola melambung dengan kecepatan 50 m/s. Bila gaya tendangan 250 N sepatu pemain menyentuh bola selama 0,3 sekon. Hitung massa bola tersebut.

Penyelesaian:

Menentukan massa dari hubungan gaya dan impuls.

Diketahui:

$$v_2 = 50 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$F = 250 \text{ N}$$

$$\Delta t = 0,3 \text{ s}$$

$$m = ?$$

Jawab:

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

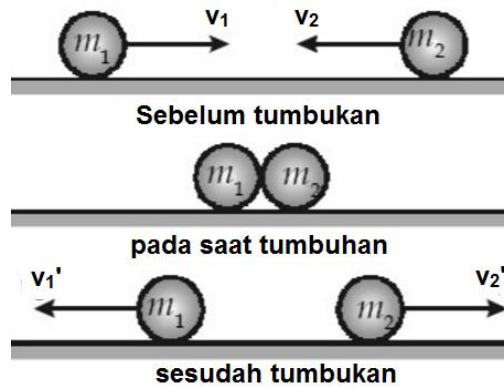
$$250 \left(\frac{3}{10} \right) = m(50 - 0)$$

$$75 = 50m$$

$$m = 1,5 \text{ kg}$$

1.8.4. Momentum Linear

Konsep momentum sangat penting karena pada keadaan tertentu momentum merupakan besaran yang kekal. Untuk memahami momentum menjadi lebih baik, tinjau diskusi tentang tumbukan dua buah bola dengan masa m_1 dan m_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Bola m_1 dan benda m_2 sebelum, pada saat dan setelah tumbukan

Pada Gambar 5.1, misalkan bola nomor 1 dan bola nomor 2 masing-masing mempunyai masa m_1 dan m_2 , serta kecepatannya adalah v_1 dan v_2 . Setelah tumbukan kecepatan benda berubah menjadi v_1' dan v_2' .

Walaupun momentum dari tiap bola berubah akibat terjadi tumbukan, jumlah momentum dari bola nomor 1 dan bola nomor 2 sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama atau tetap. Jika m_1v_1 adalah momentum bola nomor 1 dan m_2v_2 adalah momentum bola nomor 2, maka momentum total bola sebelum tumbukan adalah $m_1v_1 + m_2v_2$. Setelah tumbukan, masing-masing bola mempunyai kecepatan yang berbeda, yang diberi tanda "aksen", sehingga momentum total bola setelah tumbukan adalah $m_1v_1' + m_2v_2'$. Selama tidak ada gaya eksternal total yang bekerja pada sistem tumbukan tersebut, ternyata momentum total sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama. Keadaan seperti ini disebut sebagai **Hukum Kekekalan Momentum Linear**.

Secara matematis hukum kekekalan momentum linear ini dapat dituliskan sebagai:

$$\boxed{m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'} \quad (5.x)$$

Contoh Soal 4:

Sebuah peluru massa 5 gram ditembakkan dari senapan dengan kecepatan 200 m/s, jika massa senapan 4 kg. Berapakah laju senapan?

Penyelesaian:

Mula-mula peluru dan senapan diam, jadi:

$$v_s = v_p = 0$$

sehingga,

$$m_s v_s + m_p v_p = m_s v_s' + m_p v_p'$$

$$0 = 4 \cdot v_s' + 0,005 \text{ kg} \cdot 200 \text{ m/s}$$

$$v_s' = -0,25 \text{ m/s}$$

Kecepatan senapan pada saat peluru ditembakkan 0,25 m/s, tanda (-) menyatakan arahnya kebelakang/tertolak.

Contoh Soal 5:

Dua orang nelayan massanya sama 60 kg berada di atas perahu yang sedang melaju dengan kecepatan 5 m/s, karena mengantuk seorang nelayan yang ada diburitan terjatuh, jika massa perahu 180 kg. Berapakah kecepatan perahu sekarang?

Penyelesaian:

Momentum mula-mula (perahu dan nelayan):

$$p_1 = (2m_o + m_p) \cdot v_p$$

$$p_1 = (2 \cdot 60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}) \cdot 5 \text{ m/s}$$

$$p_1 = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Momentum setelah seorang nelayan terjatuh:

$$p_2 = (m_o + m_p) \cdot v'_p$$

$$p_2 = (60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}) \cdot v'_p$$

$$p_2 = 240 \text{ kg} \cdot v'_p$$

Sehingga menurut hukum kekekalan momentum, maka

$$p_1 = p_2$$

$$1500 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 240 \text{ kg} \cdot v'_p$$

$$v'_p = 6,25 \text{ m/s}$$

1.8.5. Tumbukan Lenting dan Tidak Lenting

Pada setiap jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tetapi tidak

selalu berlaku hukum kekekalan energi mekanik, sebab sebagian energi mungkin diubah menjadi energi bentuk lain, misalnya diubah menjadi energi panas, energi bunyi, atau terjadi perubahan bentuk benda sebagai akibat dari tumbukan tersebut

Tinjau tumbukan dua buah bola A dan bola B, tumbukan ini berlaku hukum kekekalan momentum, yaitu jumlah momentum sebelum sama dengan jumlah momentum sesudah tumbukan. Kekekalan momentum ini dapat dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut:.

$$\sum p_{sebelum} = \sum p_{sesudah}$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \quad (5.1)$$

dengan:

v_A' dan v_B' = kecepatan benda A dan B setelah tumbukan

v_A dan v_B = kecepatan benda A dan B sebelum tumbukan

m_A' dan m_B' = masa benda A dan B setelah tumbukan

m_A dan m_B = masa benda A dan B sebelum tumbukan

Jika tumbukan dianggap tidak ada yang berubah menjadi bentuk energi lain, maka tumbukan disebut tumbukan lenting, dimana berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Kekekalan energi kinetik ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum E_{K\ sebelum} = \sum E_{K\ sesudah}$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2 \quad (5.2)$$

Dengan dua persamaan kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik ini, dapat dicari dua hal yang tidak diketahui. Untuk melakukannya ditulis ulang persamaan tersebut:

$$m_A (v_A - v_A') = m_B (v_B' - v_B) \quad *$$

Dan tulis ulang persamaan E_K , menjadi:

$$m_A (v_A^2 - v_A'^2) = m_B (v_B'^2 - v_B^2)$$

Ingat bahwa:

$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$, sehingga persamaan E_K dapat ditulis ulang menjadi:

$$m_A (v_A + v_A')(v_A - v_A') = m_B (v_B' + v_B)(v_B' - v_B) \quad **$$

Jika persamaan **) dibagi dengan persamaan *), dan menganggap bahwa $v_A' \neq v_A$ dan $v_B' \neq v_B$ diperoleh:

$$(v_A + v_A') = (v_B' + v_B)$$

Persamaan dapat ditulis ulang menjadi:

$$(v_A - v_B) = (v_B' - v_A')$$

$$(v_A - v_B) = -(v_A' - v_B') \quad (5.3)$$

Persamaan 5.3 ini merupakan hasil analisis yang menarik, bahwa untuk tumbukan lenting, besarnya kecepatan relatif kedua bola, setelah tumbukan sama dengan sebelum tumbukan, tetapi arahnya berlawanan (tanda minus pada persamaan (5.3)), dan tidak tergantung pada masa kedua bola.

Dari Persamaan (5.3) dapat dibuat definisi tentang koefisien restitusi (e), untuk membedakan tumbukan lenting dan tidak lenting. Besarnya koefisien restitusi untuk semua jenis tumbukan berlaku:

$$e = \frac{v_B' - v_A'}{v_A - v_B} \quad (5.4)$$

dengan:

v_A' dan v_B' = kecepatan benda A dan B setelah tumbukan

v_A dan v_B = kecepatan benda A dan B sebelum tumbukan

Jenis-jenis tumbukan yaitu:

Tumbukan lenting atau elastis sempurna, yaitu tumbukan yang tak mengalami perubahan energi. Koefisien restitusi $e = 1$, berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi mekanik (kerena biasanya pada kedudukan atau posisi sama, maka yang diperhitungkan hanya energi kinetiknya saja)

Tumbukan lenting sebagian, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik, sebab ada sebagian energi yang diubah dalam bentuk lain, misalnya ada energi yang sebagian berubah panas. Koefisien restitusi $0 < e < 1$.

Tumbukan tidak lenting, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik dan kedua benda setelah tumbukan melekat dan bergerak bersama-sama. Koefisien restitusi $e = 0$

Energi yang hilang setelah tumbukan dirumuskan:

$$E_{hilang} = \sum E_{K \text{ sebelum tumbukan}} - \sum E_{K \text{ sesudah tumbukan}}$$

$$E_{hilang} = \left(\frac{1}{2} m v_A^2 + \frac{1}{2} m v_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m (v_A')^2 + \frac{1}{2} m (v_B')^2 \right)$$

Untuk menyelesaikan persoalan tumbukan dapat dilakukan dengan memanfaatkan persamaan 5.9, 5.10 dan 5.11 untuk menyesuaikan jenis tumbukan yang diselesaikan.

Pada kehidupan sehari-hari kita sering menjumpai peristiwa tumbukan seperti bola yang di jatuhkan secara bebas dari ketinggian tertentu di atas lantai.

Tinjau tumbukan yang terjadi jika bola A dijatuhkan dari ketinggian h meter dari atas lantai yang bisa memantulkan bola tersebut. Kecepatan bola sesaat akan menumbuk lantai v_A dapat dicari dengan menggunakan kekekalan energi, akan diperoleh persamaan:

$$v_A = \sqrt{2gh}$$

Dengan cara yang sama kecepatan bola sesaat setelah meninggalkan lantai v_A' , akan diperoleh:

$$v_A' = \sqrt{2gh'}$$

Kecepatan lantai v_B dan sebelum dan sesudah tumbukan v_B' adalah 0.

$$v_B = v_B' = 0$$

Dengan memasukkan persamaan tumbukan lenting diperoleh:

$$e = - \frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

$$e = - \frac{v_A' - 0}{v_A - 0}$$

$$e = - \frac{v_A'}{v_A}$$

$$e = - \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gh}}$$

$$e = - \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

dengan demikian diperoleh besarnya e adalah:

$$e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

dengan:

h' = tinggi pantulan

h = tinggi bola jatuh.

Jika $e = 1$, tumbukan lenting

$0 < e < 1$, tumbukan lenting sebagian

$e = 0$, tumbukan tidak lenting

Contoh Soal 7:

Sebuah batu 2 kg bergerak dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah gaya F yang dapat menghentikan batu itu dalam waktu $7 \cdot 10^{-4}$ detik.

Penyelesaian:

Impuls : $F \cdot \Delta t = m (v - v_0)$

$F \cdot (7 \cdot 10^{-4}) = 2 (0 - 6)$; jadi

$F = - 1,71 \cdot 10^4$ Newton.

Contoh Soal 8:

Dua orang gadis (m_1 dan m_2) berada di atas sepatu roda dan dalam keadaan diam, saling berdekatan dan berhadapan muka. Gadis 1 mendorong tepat pada gadis 2 dan menjatuhkannya dengan kecepatan v_2 . Misalkan gadis-gadis itu bergerak bebas di atas sepatu roda mereka, dengan kecepatan berapakah gadis 1 bergerak?

Penyelesaian:

Kita ambil kedua gadis mencakupi sistem yang ditinjau. Tidak ada gaya resultan dari luar pada sistem (dorongan dari gadis terhadap yang lain adalah gaya internal) dan dengan demikian momentum dikekalkan.

Momentum sebelum = momentum sesudah, sehingga

$$0 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

Jadi

$$v_1' = - \frac{m_2}{m_1} v_2' ; \text{ gadis 1 bergerak mundur dengan kecepatan ini.}$$

Contoh Soal :

Sebuah peluru bermassa 10 gram ditembakkan dengan kecepatan 40 m/s dan tertanam pada sebuah balok bermassa 0,99 kg yang mula-mula diam. Hitunglah kecepatan balok setelah ditembak.

Pembahasan :

Dari rumus HKM, diperoleh :

$$v' = (m_p v_p + m_b v_b) / (m_1 + m_2)$$

$$v' = (0,01(40) + 0,99(0)) / (0,01 + 0,99)$$

$$v' = 0,4 / 1$$

$$v' = 0,4 \text{ m/s}$$

Karena $v' = v_p' = v_b'$,

maka kecepatan balok setelah ditembak adalah 0,4 m/s.

c. Tidak Lenting Sama Sekali

Pada pembahasan sebelumnya untuk tumbukan lenting, berlaku kekekalan energi kinetik, persamaannya adalah:

$$\left(\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2\right) = \left(\frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2\right)$$

Tumbukan di mana energi kinetik tidak kekal disebut dengan tumbukan tidak lenting.

$$\left(\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2\right) > \left(\frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2\right)$$

Jika setelah tumbukan dua benda bersatu sebagai akibat dari tumbukan, maka tumbukan tersebut disebut sebagai tumbukan tidak lenting sama sekali.

Berikut Persamaannya:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, kecepatan akhir benda pertama sama dengan kecepatan benda kedua, yaitu $v_A' = v_B' = v'$

Sehingga persamaan tumbukan tidak lenting sama sekali menjadi:

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v$$

Contoh Soal: Tumbukan tidak lenting sama sekali

Sebuah gerbong kereta api 15.000 kg yang berjalan dengan kecepatan 16 m/s menumbuk gerbong serupa lain yang sedang berhenti. Jika kedua gerbong tersebut tersambung akibat dari tumbukan, tentukan;

- Kecepatan sambungan kereta tersebut?
- Berapa energi kinetik awal yang hilang?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$m_1 = 15.000 \text{ kg}, m_2 = 15.000 \text{ kg},$$

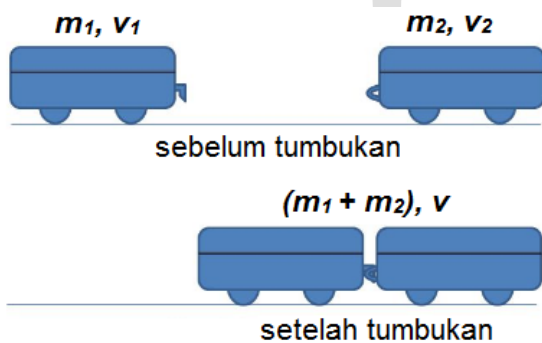
$$v_1 = 16 \text{ m/s}; v_2 = 0 \text{ m/s}.$$

Ditanyakan:

- v ?
- E_K yang hilang?

Jawab:

Skema gambar tumbukan kereta:



a. Rumus umum kekekalan momentum:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

Karena tumbukan tidak lenting sama sekali:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)v$$

$$15.000 \times 16 + 0 = (15.000 + 15.000)v$$

$$v = \frac{15.000 \times 16}{30.000} = 8 \text{ m/s}$$

b. Energi kinetik sebelum tumbukan:

$$E_{K \text{ sebelum}} = \left(\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \right)$$

$$E_{K \text{ sebelum}} = \left(\frac{1}{2} \times 15.000 \times (16)^2 + 0\right)$$

$$E_{K \text{ sebelum}} = 1,92 \times 10^6 \text{ J}$$

Energi kinetik setelah tumbukan:

$$E_{K \text{ setelah}} = \left(\frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2\right)$$

$$E_{K \text{ setelah}} = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2\right)$$

$$E_{K \text{ setelah}} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$$

$$E_{K \text{ setelah}} = \frac{1}{2} (15.000 + 15.000) 8^2$$

$$E_{K \text{ setelah}} = 0,96 \times 10^6 \text{ J}$$

Energi yang diubah menjadi bentuk lain adalah:

$$\Delta E_K = E_{K \text{ sebelum}} - E_{K \text{ setelah}}$$

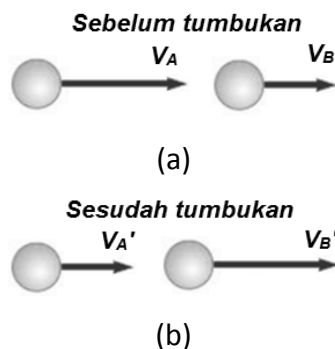
$$\Delta E_K = 1,92 \times 10^6 \text{ J} - 0,96 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\Delta E_K = 0,96 \times 10^6 \text{ J}$$

Ternyata adalah separuh dari E_K mula-mula.

5.5. Tumbukan Pada Bidang Satu Dimensi.

Tinjau penerapan hukum kekekalan momentum dan energi kinetik pada tumbukan lenting antara dua benda kecil (partikel) pada satu dimensi, sehingga semua gerak berada pada satu garis yang sama. Angap bahwa kedua partikel pada awalnya bergerak dengan kecepatan v_A dan v_B sepanjang pada satu garis yang mendatar, seperti ditunjukkan pada Gambar xa. Setelah tumbukan kecepatan kedua partikel adalah v_A' dan v_B' , seperti ditunjukkan pada Gambar xb.



Gambar x. Dua partikel dengan masa m_A

dan m_B , (a) sebelum tumbukan, dan
(b) setelah tumbukan.

Dari hukum kekekalan momentum, didapat sebelumnya:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

Jika tumbukan dianggap lenting, maka berlaku kekekalan energi kinetik:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2$$

Jika masa dan kecepatan awal diketahui, maka kecepatan setelah tumbukan dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut. Untuk melakukan perhitungan ditulis ulang persamaan momentum menjadi

$$m_A(v_A - v_A') = m_B(v_B' - v_B)$$

dan tulis ulang persamaan energi kinetik menjadi:

$$m_A(v_A^2 - v_A'^2) = m_B(v_B'^2 - v_B^2)$$

Dengan perhitungan lebih lanjut diperoleh:

$$v_A + v_A' = v_B' + v_B$$

$$v_A + v_B = -(v_A' - v_B') \quad (7.7)$$

Contoh soal 1:

Dua bilyar m_A dan m_B yang masanya sama, m_A bergerak dengan kecepatan awal v bertumbukan dari arah depan dengan bola m_B yang diam. Berapakah kecepatan kedua bola setelah tumbukan, dengan menganggap tumbukan tersebut lenting?.

Penyelesaian:

Diketahui:

$$v_A = v$$

$$v_B = 0$$

$$m_A = m_B = m$$

Ditanyakan: v_A' dan v_B' .

Jawab:

Dari persamaan kekekalan momentum:

$$m_A(v_A - v_A') = m_B(v_B' - v_B)$$

$$m(v - v_A') = m(v_B' - 0)$$

$$v = v_A' + v_B' \quad (*)$$

Dari persamaan energi kinetik:

$$v_A + v_A' = v_B' + v_B$$

$$v + v_A' = v_B' + 0$$

$$v = v_B' - v_A' \quad (**)$$

Kurangkan Persamaan (*) dengan (**), diperoleh

$$v = v_A' + v_B'$$

$$v = v_B' - v_A'$$

$$0 = 2v_A'$$

Sehingga: $v_A' = 0$

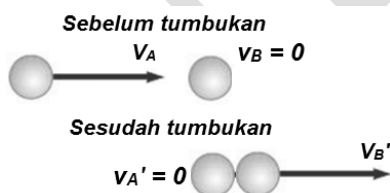
Untuk mencari kecepatan bola lainnya setelah tumbukan, pilih salah satu persamaan, misalnya Persamaan (**), kemudian substitusikan $v_A' = 0$ ke persamaan (**), diperoleh:

$$v = v_B' - v_A'$$

$$v = v_B' - 0$$

Sehingga $v_B' = v$

Jika digambar sebelum dan sesudah tumbukan dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar x. Contoh 1, sebelum dan setelah tumbukan.

Contoh soal 2:

Tumbukan nuklir yang lenting antara proton p dengan inti atom helium He masing-masing mempunyai 1,01 sma (satan masa atom) dan 4,00 sma. p berjalan dengan kecepatan $3,60 \times 10^4$ m/s menumbuk secara sentral lurus ke arah He yang diam. Berapa kecepatan p dan He setelah tumbukan terjadi?

Penyelesaian"

Diketahui:

$$v_p = 3,60 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$v_{He} = 0$$

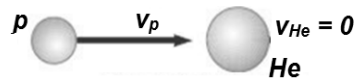
$$m_p = 1,01 \text{ sma}$$

$$m_{He} = 4,00 \text{ sma}$$

Ditanyakan: v_p' dan v_{He}' .

Jawab:

Sebut arah gerak mula-mula p arah adalah +x, seperti ditunjukkan pada gambar y.



Gambar y. Tumbukan p dan He.

Dari kekekalan momentum:

$$m_p v_p + m_{He} v_{He} = m_p v_p' + m_{He} v_{He}'$$

Karena tumbukan lenting, maka berlaku kekekalan energi kinetik (Pers. 7.7):

$$v_p - v_{He} = -(v_p' - v_{He}') \quad (7.7)$$

$$v_p - 0 = -(v_p' - v_{He}')$$

$$v_p' = v_{He}' - v_p \quad **$$

Substitusi (**) ke (*) diperoleh:

$$m_p v_p + m_{He} v_{He} = m_p v_p' + m_{He} v_{He}'$$

$$m_p v_p + 0 = m_p(v_{He}' - v_p) + m_{He} v_{He}'$$

$$m_p v_p = m_p v_{He}' - m_p v_p + m_{He} v_{He}'$$

$$2 m_p v_p = v_{He}'(m_p + m_{He})$$

$$v_{He}' = \frac{2 m_p v_p}{m_p + m_{He}}$$

$$v_{He}' = \frac{2(1,01 \text{ sma})(3,60 \times 10^4 \text{ ms}^{-1})}{1,01 \text{ sma} + 4,00 \text{ sma}}$$

$$v_{He}' = 1,45 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$$

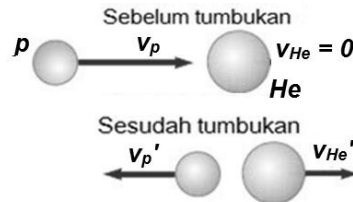
Dari persamaan (**), diperoleh:

$$v_p' = v_{He}' - v_p$$

$$v_p' = 1,45 \times 10^4 \text{ ms}^{-1} - 3,60 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_p' = -2,15 \times 10^4 \text{ ms}^{-1} \text{ (tanda minus menunjukkan arahnya berlawanan dengan arah } v_p \text{).}$$

Peristiwa sebelum dan setelah tumbukan dapat ditunjukkan seperti pada Gambar x.



Gambar x. Sebelum dan setelah tumbukan.

Contoh Soal : Tumbukan satu dimensi, lenting sempurna

1. Jika benda bermassa 2 kg bergerak ke timur dengan kecepatan 4 m/s dan bertumbukan lenting sempurna dengan benda bermassa 1 kg yang bergerak ke barat dengan kecepatan 6 m/s, maka berapakah kecepatan masing-masing benda setelah tumbukan?

Pembahasan :

Ingat bahwa momentum merupakan besaran vektor maka perhatikan arah kecepatan dalam penjumlahannya. Untuk tujuan praktis, jika kecepatan ke kanan atau ke atas, maka gunakan tanda positif sebaliknya, jika kecepatan ke kiri atau ke bawah gunakan tanda negatif.

Dari soal diketahui :

$$m_1 = 2 \text{ kg} ; v_1 = 4 \text{ m/s (ke kanan)}$$

$$m_2 = 1 \text{ kg} ; v_2 = -6 \text{ m/s (ke kiri)}$$

$$e = 1$$

Dari koefisien restitusi :

$$e = - (v_1' - v_2') / (v_1 - v_2)$$

$$1 = - (v_1' - v_2') / (4 - (-6))$$

$$-10 = v_1' - v_2'$$

$$v_1' = v_2' - 10 \dots\dots (1)$$

Dari hukum kekekalan momentum :

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

$$\Rightarrow 2(4) - 1(6) = 2v_1' + 1v_2'$$

$$\Rightarrow 8 - 6 = 2v_1' + v_2'$$

$$\Rightarrow 2 = 2v_1' + v_2' \dots\dots (2)$$

Substitusi persamaan 1 ke persamaan 2 :

$$2 = 2v_1' + v_2'$$

$$\Rightarrow 2 = 2(v_2' - 10) + v_2'$$

$$\Rightarrow 2 = 2v_2' - 20 + v_2'$$

$$\Rightarrow 22 = 3v_2'$$

$$\Rightarrow v_2' = 22/3 \text{ m/s (ke kanan)}$$

Selanjutnya, $v_1' = v_2' - 10$

$$\Rightarrow v_1' = 22/3 - 10$$

$$\Rightarrow v_1' = -8/3 \text{ m/s (ke kiri)}$$

d. Referensi (penulisan mengacu APA).