

BAB 9 TUMBUKAN

9.1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita biasa menyaksikan benda-benda saling bertumbukan. Banyak kecelakaan yang terjadi di jalan raya sebagiannya disebabkan karena tabrakan ([tumbukan](#)) antara dua kendaraan, baik antara sepeda motor dengan sepeda motor, mobil dengan mobil maupun antara sepeda motor dengan mobil. Demikian juga dengan kereta api atau kendaraan lainnya. Hidup kita tidak terlepas dari adanya tumbukan. Ketika bola sepak ditendang David Beckham, pada saat itu juga terjadi tumbukan antara bola sepak dengan kaki Abang Beckham. Tanpa tumbukan, permainan billiard tidak akan pernah ada. Demikian juga dengan permainan kelereng kesukaanmu ketika masih kecil. Masih banyak contoh lainnya yang dapat anda temui dalam kehidupan sehari-hari. Ayo dipikirkan...

Pada pembahasan mengenai momentum dan impuls, telah meninjau hubungan antara momentum benda dengan peristiwa tumbukan. Hukum Kekekalan Momentum yang telah diulas sebelumnya juga selalu ditinjau ketika dua benda saling bertumbukan. Pada kesempatan ini kita akan mempelajari peristiwa tumbukan secara lebih mendalam dan mencoba melihat hukum-hukum fisika apa saja yang berlaku ketika benda-benda saling bertumbukan.

9.2. Jenis-Jenis Tumbukan

Perlu anda ketahui bahwa biasanya dua benda yang bertumbukan bergerak mendekat satu dengan yang lain dan setelah bertumbukan keduanya bergerak saling menjauhi. Ketika benda bergerak, maka tentu saja benda memiliki kecepatan. Karena benda tersebut mempunyai kecepatan (dan massa), maka benda itu pasti memiliki momentum ($p = mv$) dan juga [Energi Kinetik](#) ($EK = \frac{1}{2} mv^2$). Nah, pada kesempatan ini kita akan mempelajari jenis-jenis tumbukan antara dua benda dan mencoba melihat hubungannya dengan

Kekekalan Momentum dan Kekekalan Energi Kinetik. *Napa yang ditinjau kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik-nya ? bukannya Cuma momentum dan energi kinetik ?* yupz... maksudnya begini, ketika benda bergerak saling mendekati sebelum tumbukan, kedua benda itu memiliki Momentum dan Energi Kinetik. Yang menjadi persoalan, bagaimana dengan Momentum dan Energi Kinetik kedua benda tersebut setelah bertumbukan ? apakah momentum dan energi kinetik kedua benda ketika sebelum tumbukan = momentum dan energi kinetik benda setelah tumbukan ? agar dirimu semakin memahaminya, mari kita bahas jenis-jenis tumbukan satu persatu dan meninjau kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik pada kedua benda yang bertumbukan.

Secara umum terdapat beberapa jenis tumbukan, antara lain *Tumbukan lenting sempurna, Tumbukan lenting sebagian dan Tumbukan tidak lenting sama sekali.*

9.3. Tumbukan Lenting Sempurna

Tumbukan lenting sempurna tu maksudnya bagaimanakah ? Dua benda dikatakan melakukan Tumbukan lenting sempurna jika Momentum dan Energi Kinetik kedua benda sebelum tumbukan = momentum dan energi kinetik setelah tumbukan. Dengan kata lain, pada tumbukan lenting sempurna berlaku Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik.

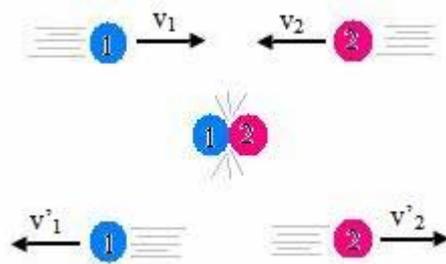
Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik berlaku pada peristiwa tumbukan lenting sempurna karena total massa dan kecepatan kedua benda sama, baik sebelum maupun setelah tumbukan. Hukum Kekekalan Energi Kinetik berlaku pada Tumbukan lenting sempurna karena selama tumbukan tidak ada energi yang hilang. Untuk memahami konsep ini, coba jawab pertanyaan gurumuda berikut ini. *Ketika dua bola billiard atau dua kelereng bertumbukan, apakah anda mendengar bunyi yang diakibatkan oleh tumbukan itu ? atau ketika mobil atau sepeda motor bertabrakan, apakah ada bunyi yang dihasilkan ?* pasti ada bunyi dan

juga panas yang muncul akibat benturan antara dua benda. Bunyi dan panas ini termasuk energi. Jadi ketika dua benda bertumbukan dan menghasilkan bunyi dan panas, maka ada energi yang hilang selama proses tumbukan tersebut. Sebagian Energi Kinetik berubah menjadi energi panas dan energi bunyi. Dengan kata lain, total energi kinetik sebelum tumbukan tidak sama dengan total energi kinetik setelah tumbukan.

Nah, benda-benda yang mengalami Tumbukan Lenting Sempurna tidak menghasilkan bunyi, panas atau bentuk energi lain ketika terjadi tumbukan. Tidak ada Energi Kinetik yang hilang selama proses tumbukan. Dengan demikian, kita bisa mengatakan bahwa pada peristiwa Tumbukan Lenting Sempurna berlaku Hukum Kekekalan Energi Kinetik.

Apakah tumbukan lenting sempurna dapat kita temui dalam kehidupan sehari-hari ? *Tidak....* Tumbukan lenting sempurna merupakan sesuatu yang sulit kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Paling tidak ada sedikit energi panas dan bunyi yang dihasilkan ketika terjadi tumbukan. Salah satu contoh tumbukan yang mendekati lenting sempurna adalah tumbukan antara dua bola elastis, seperti bola billiard. Untuk kasus tumbukan bola billiard, memang energi kinetik tidak kekal tapi energi total selalu kekal. *Lalu apa contoh Tumbukan lenting sempurna ?* contoh jenis tumbukan ini tidak bisa kita lihat dengan mata telanjang karena terjadi pada tingkat atom, yakni tumbukan antara atom-atom dan molekul-molekul.

Sekarang mari tinjau persamaan Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik pada peristiwa Tumbukan Lenting Sempurna. *Untuk memudahkan pemahaman dirimu, perhatikan gambar di bawah.*



Dua benda, benda 1 dan benda 2 bergerak saling mendekat. Benda 1 bergerak dengan kecepatan v_1 dan benda 2 bergerak dengan kecepatan v_2 . Kedua benda itu bertumbukan dan terpantul dalam arah yang berlawanan. Perhatikan bahwa kecepatan merupakan besaran vektor sehingga dipengaruhi juga oleh arah. Sesuai dengan kesepakatan, arah ke kanan bertanda positif dan arah ke kiri bertanda negatif. Karena memiliki massa dan kecepatan, maka kedua benda memiliki momentum ($p = mv$) dan energi kinetik ($EK = \frac{1}{2} mv^2$). Total Momentum dan Energi Kinetik kedua benda sama, baik sebelum tumbukan maupun setelah tumbukan.

Secara matematis, Hukum Kekekalan Momentum dirumuskan sebagai berikut :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \rightarrow \text{Persamaan 1}$$

Keterangan :

$m_1 =$ massa benda 1, $m_2 =$ massa benda 2

$v_1 =$ kecepatan benda sebelum tumbukan dan $v_2 =$ kecepatan benda 2 Sebelum tumbukan

$v'_1 =$ kecepatan benda Setelah tumbukan, $v'_2 =$ kecepatan benda 2 setelah tumbukan

Jika dinyatakan dalam momentum,

$m_1 v_1 =$ momentum benda 1 sebelum tumbukan, $m_1 v'_1 =$ momentum benda 1 setelah tumbukan

$m_2 v_2 =$ momentum benda 2 sebelum tumbukan, $m_2 v'_2 =$ momentum benda 2 setelah tumbukan

Pada Tumbukan Lenting Sempurna berlaku juga Hukum Kekekalan Energi Kinetik. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \rightarrow \text{Persamaan 2}$$

Keterangan :

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \text{EK benda 1 sebelum tumbukan}$$

$$\frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \text{EK benda 2 sebelum tumbukan}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 = \text{EK benda 1 setelah tumbukan}$$

$$\frac{1}{2} m_2 v_2'^2 = \text{EK benda 2 setelah tumbukan}$$

telah menurunkan 2 persamaan untuk Tumbukan Lenting Sempurna, yakni persamaan Hukum Kekekalan Momentum dan Persamaan Hukum Kekekalan Energi Kinetik. Ada suatu hal yang menarik, bahwa apabila hanya diketahui massa dan kecepatan awal, maka kecepatan setelah tumbukan bisa kita tentukan menggunakan suatu persamaan lain. Persamaan ini diturunkan dari dua persamaan di atas. *Persamaan apakah itu ? nah, mari kita turunkan persamaan tersebut... dipahami perlahan-lahan ya*

Sekarang tulis kembali persamaan Hukum Kekekalan Momentum :

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

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

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_2' - v_2) \rightarrow \text{Persamaan a}$$

Kita tulis kembali persamaan Hukum Kekekalan Energi Kinetik :

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 - \frac{1}{2}m_1v_1'^2 = \frac{1}{2}m_2v_2'^2 - \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

$$m_1v_1^2 - m_1v_1'^2 = m_2v_2'^2 - m_2v_2^2$$

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

Karena $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$, maka kita tulis kembali persamaan ini menjadi :

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

Persamaan b

Nah, sekarang kita bagi *persamaan a* dengan *persamaan b* (Dengan anggapan bahwa $v_1 \neq v_1'$ dan $v_2 \neq v_2'$) :

$$\frac{m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)}{m_1(v_1 + v_1')(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)(v_2' + v_2)} :$$

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

Kita tulis kembali persamaan ini menjadi :

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

$$v_1 - v_2 = -(v_1' - v_2') \rightarrow \text{Persamaan 3}$$

Ini merupakan salah satu persamaan penting dalam Tumbukan Lenting sempurna, selain persamaan Kekekalan Momentum dan persamaan Kekekalan Energi Kinetik. *Persamaan 3* menyatakan bahwa pada Tumbukan Lenting Sempurna, laju kedua benda sebelum dan setelah tumbukan sama besar tetapi berlawanan arah, berapapun massa benda tersebut.

9.4. Koefisien Elastisitas Tumbukan Lenting Sempurna

Istilah baru TENTANG koefisien elastisitas ? sebelum menjelaskan apa itu koefisien elastisitas, mari dilihat lagi rumus fisika. Kali ini giliran *persamaan 3*...

Kita tulis lagi persamaan 3 :

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

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

Perbandingan negatif antara selisih kecepatan benda setelah tumbukan dengan selisih kecepatan benda sebelum tumbukan disebut sebagai koefisien elastisitas alias faktor kepegasan (*dalam buku Karangan Bapak Marthen Kanginan disebut koefisien restitusi*). Untuk Tumbukan Lenting Sempurna, besar koefisien elastisitas = 1. ini menunjukkan bahwa total kecepatan benda setelah tumbukan = total kecepatan benda sebelum tumbukan. Lambang koefisien elastisitas adalah e. Secara umum, nilai koefisien elastisitas dinyatakan dengan persamaan :

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

e = koefisien elastisitas = koefisien restitusi, faktor kepegasan, angka kekenyalan, faktor keelastisitasan

9.4.1. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada pembahasan sebelumnya, kita telah belajar bahwa pada Tumbukan Lenting Sempurna berlaku Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik. Nah, bagaimana dengan tumbukan lenting sebagian ?

Pada tumbukan lenting sebagian, Hukum Kekekalan Energi Kinetik tidak berlaku karena ada perubahan energi kinetik terjadi ketika pada saat tumbukan. Perubahan energi kinetik bisa berarti terjadi

pengurangan Energi Kinetik atau penambahan energi kinetik. Pengurangan energi kinetik terjadi ketika sebagian energi kinetik awal diubah menjadi energi lain, seperti energi panas, energi bunyi dan [energi potensial](#). Hal ini yang membuat total energi kinetik akhir lebih kecil dari total energi kinetik awal. Kebanyakan tumbukan yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari termasuk dalam jenis ini, di mana total energi kinetik akhir lebih kecil dari total energi kinetik awal. Tumbukan antara kelereng, tabrakan antara dua kendaraan, bola yang dipantulkan ke lantai dan lenting ke udara, dll.

Sebaliknya, energi kinetik akhir total juga bisa bertambah setelah terjadi tumbukan. Hal ini terjadi ketika energi potensial (misalnya energi kimia atau nuklir) dilepaskan. Contoh untuk kasus ini adalah peristiwa ledakan.

Suatu tumbukan lenting sebagian biasanya memiliki koefisien elastisitas (e) berkisar antara 0 sampai 1. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$0 \leq e \leq 1$$

Di mana nilai koefisien elastisitas (e) dinyatakan dengan persamaan :

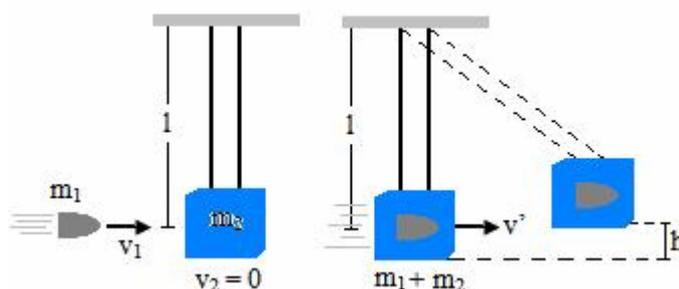
$$e = - \frac{(v_1' - v_2')}{(v_1 - v_2)}$$

Bagaimana dengan Hukum Kekekalan Momentum ? Hukum Kekekalan Momentum tetap berlaku pada peristiwa tumbukan lenting sebagian, dengan anggapan bahwa tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda yang bertumbukan.

9.4.2 Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Bagaimana dengan tumbukan tidak lenting sama sekali ? suatu tumbukan dikatakan Tumbukan Tidak Lenting sama sekali apabila dua benda yang bertumbukan bersatu alias saling menempel setelah tumbukan. Salah satu contoh populer dari tumbukan tidak lenting

sama sekali adalah pendulum balistik. Pendulum balistik merupakan sebuah alat yang sering digunakan untuk mengukur laju proyektil, seperti peluru. Sebuah balok besar yang terbuat dari kayu atau bahan lainnya digantung seperti pendulum. Setelah itu, sebutir peluru ditembakkan pada balok tersebut dan biasanya peluru tertanam dalam balok. Sebagai akibat dari tumbukan tersebut, peluru dan balok bersama-sama terayun ke atas sampai ketinggian tertentu (ketinggian maksimum). *Lihat gambar di bawah...*



Apakah pada Tumbukan Tidak Lenting Sama sekali berlaku hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik ?

Perhatikan gambar di atas. Hukum kekekalan momentum hanya berlaku pada waktu yang sangat singkat ketika peluru dan balok bertumbukan, karena pada saat itu belum ada gaya luar yang bekerja. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

$$m_1 v_1 + m_2 (0) = (m_1 + m_2) v'$$

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v' \text{ persamaan 1}$$

Apakah setelah balok mulai bergerak masih berlaku hukum Kekekalan Momentum ? *Tidak....* Mengapa tidak ? ketika balok (*dan peluru yang tertanam di dalamnya*) mulai bergerak, akan ada gaya luar yang bekerja pada balok dan peluru, yakni gaya gravitasi. Gaya gravitasi cenderung menarik balok kembali ke posisi setimbang. Karena ada gaya luar total yang bekerja, maka hukum Kekekalan Momentum tidak berlaku setelah balok bergerak.

Lalu bagaimana menganalisis gerakan balok dan peluru setelah tumbukan ?

Nah, masih ingatkah dirimu pada Hukum Kekekalan Energi Mekanik ? kita dapat menganalisis gerakan balok dan peluru setelah tumbukan menggunakan hukum Kekekalan Energi Mekanik. Ketika balok mulai bergerak setelah tumbukan, sedikit demi sedikit energi kinetik berubah menjadi energi potensial gravitasi. Ketika balok dan peluru mencapai ketinggian maksimum (h), seluruh Energi Kinetik berubah menjadi Energi Potensial gravitasi. Dengan kata lain, pada ketinggian maksimum (h), Energi Potensial gravitasi bernilai maksimum, sedangkan $EK = 0$.

turunkan persamaannya ya

Catatan :

Ketika balok dan peluru tepat mulai bergerak dengan kecepatan v' , $h_1 = 0$. Pada saat balok dan peluru berada pada ketinggian maksimum, $h_2 = h$ dan $v_2 = 0$.

Persamaan Hukum Kekekalan Energi Mekanik untuk kasus tumbukan tidak lenting sama sekali.

$$EM_1 = EM_2$$

$$EP_1 + EK_1 = EP_2 + EK_2$$

$$0 + EK_1 = EP_2 + 0$$

$$\frac{1}{2} (m_1 + m_2)v'^2 = (m_1 + m_2) g h < \text{persamaan 2}$$

9.5. Hukum Kekekalan Momentum

Pada pokok bahasan Momentum dan Impuls, kita telah berkenalan dengan konsep momentum serta pengaruh momentum benda pada peristiwa [tumbukan](#). Pada kesempatan ini kita akan meninjau momentum benda ketika dua buah benda saling bertumbukan. Ingat ya, *momentum merupakan hasil kali antara massa benda dengan kecepatan gerak benda tersebut*. Jadi momentum suatu benda selalu dihubungkan dengan massa dan kecepatan benda. Kita tidak bisa meninjau momentum suatu benda

hanya berdasarkan massa atau kecepatannya saja. Pahami baik-baik konsep ini ya....



Pernahkah anda menonton permainan biliard ? dapat dilihat gambarnya di samping kiri, biasanya pada permainan billiard, pemain berusaha untuk memasukan bola ke dalam lubang. Bola yang menjadi target biasanya diam. Jika anda perhatikan secara cermat, kecepatan bola biliard yang disodok menuju bola biliard target menjadi berkurang setelah kedua bola biliard bertumbukan.

Sebaliknya, setelah bertumbukan, bola biliard yang pada mulanya diam menjadi bergerak. Berhubung massa bola biliard selalu tetap, maka yang mengalami perubahan adalah kecepatan. Karena bola billiard yang disodok mengalami pengurangan kecepatan setelah tumbukan, maka tentu saja momentumnya juga berkurang. Jika momentum bola billiard yang disodok berkurang, *kemanakah momentumnya pergi ?* bisa di tebak, momentum yang hilang pada bola billiard yang disodok berpindah ke bola billiard target. *Kok bisa ?* Bola billiard target kan pada mulanya diam, sehingga momentumnya pasti nol. Setelah bertumbukkan, bola billiard tersebut bergerak. Karena bergerak, maka tentu saja bola billiard target memiliki momentum. Jadi momentum bola billiard yang disodok tadi berpindah ke bola billiard target. Dengan demikian bisa mengatakan bahwa perubahan momentum pada kedua bola billiard setelah terjadi tumbukan disebabkan karena adanya "*perpindahan momentum*" dari satu bola billiard ke bola biliard lainnya.

Nah, sekarang pahami penjelasan. Pada saat sebelum tumbukan, bola billiard target diam sehingga momentumnya = 0, sedangkan bola billiard yang disodok bergerak dengan kecepatan tertentu; bola billiard yang disodok memiliki momentum. Setelah terjadi tumbukan, kecepatan bola billiard yang disodok berkurang;

karenanya momentumnya juga berkurang. Sebaliknya, bola billiard target yang pada mulanya diam menjadi bergerak setelah terjadi tumbukan. Karena bergerak maka kita bisa mengatakan bahwa momentum bola billiard target "*bertambah*".

Dapatkah disimpulkan bahwa *jumlah momentum kedua bola billiard tersebut sebelum tumbukan = jumlah momentum kedua bola billiard setelah tumbukan* ?

Jika bingung, dibaca perlahan-lahan sambil dipahami ya.... bagi yang belum pernah melihat atau bermain bola billiard, anda pasti kebingungan dengan penjelasan di atas. Oleh karena itu, segera beli dua buah kelereng pada warung atau toko terdekat.... dan lakukan percobaan berikut. Letakkan sebuah kelereng pada permukaan lantai yang datar. Setelah itu, tembakkan kelereng yang diam tersebut menggunakan kelereng lainnya dari jarak tertentu. Jika meleset, ulangi sampai kedua kelereng bertumbukan. Amati secara saksama kecepatan gerak kelereng tersebut.

Setelah kedua kelereng bertumbukan, kelereng yang pada mulanya diam (*tidak memiliki momentum*) pasti bergerak (*memiliki momentum*). Sebaliknya, kelereng yang anda *kutik* tadi pasti kecepatannya berkurang setelah tumbukan (*momentumnya berkurang*). Dengan demikian kita bisa mengatakan bahwa momentum kelereng yang dikutik berkurang karena sebagian momentumnya berpindah ke kelereng target yang pada mulanya diam. *Dapatkah kita menyimpulkan bahwa jumlah momentum kedua kelereng sebelum tumbukan = jumlah momentum kedua kelereng setelah tumbukan* ?

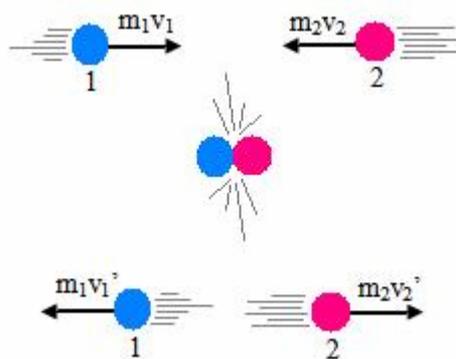
Alangkah baiknya jika dirimu melakukan percobaan menumbukkan dua bola (*mirip bola billiard*) di atas permukaan meja getar. Syukur kalau di laboratorium sekolah-mu ada meja getar. Pada percobaan menumbukkan dua bola di atas permukaan meja getar, kita mengitung kecepatan kedua bola sebelum dan setelah tumbukan. Massa bola tetap, sehingga yang diselidiki adalah kecepatannya. Frekuensi [getaran](#) meja = frekuensi listrik PLN (50 Hertz). Karena telah diketahui frekuensi getaran meja, maka kita bisa menentukan

periode getaran meja. Nah, waktunya sudah diketahui, sekarang tugas kita adalah mengukur panjang jejak bola ketika bergerak di atas meja getar. Karena meja bergetar setiap 0,02 detik ($1/50$), maka ketika bergerak di atas meja, bola pasti meninggalkan jejak di atas meja yang sudah kita lapiasi dengan kertas karbon. Jarak antara satu jejak dengan jejak yang lain; yang ditinggalkan bola setiap 0,02 detik kita ukur. Setelah memperoleh data jarak tempuh bola, selanjutnya kita bisa menghitung kecepatan gerak kedua bola tersebut, baik sebelum tumbukan maupun setelah tumbukan. selanjutnya kita hitung momentum kedua bola sebelum tumbukan ($p = mv$) dan momentum kedua bola setelah tumbukan ($p' = mv'$). Jika percobaan dilakukan dengan baik dan benar, maka kesimpulan yang kita peroleh adalah total momentum dua benda sebelum tumbukan = total momentum kedua benda tersebut setelah tumbukan.

Jika di laboratorium sekolah anda tidak ada meja getar, coba pahami ilustrasi bola biliard atau kelereng di atas secara saksama. Jika sudah paham, anda pasti setuju kalau gurumuda mengatakan bahwa *jumlah momentum kedua benda sebelum tumbukan = jumlah momentum kedua benda setelah tumbukan*. Pada ilustrasi di atas, sebelum tumbukan salah satu benda diam. Pada dasarnya sama saja bila dua benda sama-sama bergerak sebelum tumbukan. Kecepatan gerak kedua benda tersebut pasti berubah setelah tumbukan, sehingga momentum masing-masing benda juga mengalami perubahan. Kecuali jika massa dan kecepatan dua benda sama sebelum kedua benda tersebut saling bertumbukan. Biasanya total momentum kedua benda sebelum tumbukan = total momentum kedua benda setelah terjadi tumbukan.

Penjelasan panjang lebar dan bertele-tele di atas hanya mau mengantar dirimu untuk memahami inti pokok bahasan ini, yakni [Hukum Kekekalan Momentum](#). Tidak peduli berapapun massa dan kecepatan benda yang saling bertumbukan, ternyata momentum total sebelum tumbukan = momentum total setelah tumbukan. Hal ini berlaku apabila tidak ada gaya luar alias gaya eksternal total yang

bekerja pada benda yang bertumbukan. Jadi analisis hanya terbatas pada dua benda yang bertumbukan, tanpa ada pengaruh dari gaya luar. Sekarang perhatikan gambar di bawah ini.



Jika dua benda yang bertumbukan diilustrasikan dengan gambar di atas, maka secara matematis, hukum kekekalan momentum dinyatakan dengan persamaan :

Momentum sebelum tumbukan = momentum setelah tumbukan

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

Keterangan :

m_1 = massa benda 1, m_2 = massa benda 2, v_1 = kecepatan benda 1 sebelum tumbukan, v_2 = kecepatan benda 2 sebelum tumbukan, v_1' = kecepatan benda 1 setelah tumbukan, v_2' = kecepatan benda 2 setelah tumbukan

Jika dinyatakan dalam momentum, maka :

m_1v_1 = momentum benda 1 sebelum tumbukan, m_2v_2 = momentum benda 2 sebelum tumbukan, m_1v_1' = momentum benda 1 setelah tumbukan, m_2v_2' = momentum benda 2 setelah tumbukan

Perlu anda ketahui bahwa *Hukum Kekekalan Momentum* ditemukan melalui percobaan pada pertengahan abad ke-17, sebelum eyang Newton merumuskan hukumnya tentang gerak (*mengenai [Hukum II Newton](#) versi momentum telah saya jelaskan pada pokok bahasan Momentum, Tumbukan dan Impuls*). Walaupun demikian, kita dapat menurunkan persamaan Hukum Kekekalan Momentum dari persamaan

hukum II Newton. Yang kita tinjau ini khusus untuk kasus tumbukan satu dimensi, seperti yang dilustrasikan pada gambar di atas.

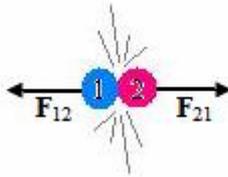
Kita tulis kembali persamaan hukum II Newton :

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Sekarang kita kalikan kedua ruas dengan Δt , sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\sum F \Delta t = \Delta p$$

Ketika bola 1 dan bola 2 bertumbukan, bola 1 memberikan gaya pada bola 2 sebesar F_{21} , di mana arah gaya tersebut ke kanan (*perhatikan gambar di bawah*)



Momentum bola 2 dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \Delta p_2 &= F_{21} \Delta t \\ \Delta p'_2 - \Delta p_2 &= F_{21} \Delta t \\ m_2 v'_2 - m_2 v_2 &= F_{21} \Delta t \rightarrow \text{persamaan 1} \end{aligned}$$

Berdasarkan Hukum III Newton (*Hukum aksi-reaksi*), bola 2 memberikan gaya reaksi pada bola 1, di mana besar $F_{12} = -F_{21}$. (*Ingat ya, besar gaya reaksi = gaya aksi. Tanda negatif menunjukkan bahwa arah gaya reaksi berlawanan dengan arah gaya aksi*)

Momentum bola 1 dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= F_{12} \Delta t = -F_{21} \Delta t \\ \Delta p'_1 - \Delta p_1 &= F_{12} \Delta t = -F_{21} \Delta t \\ m_1 v'_1 - m_1 v_1 &= F_{12} \Delta t = -F_{21} \Delta t \rightarrow \text{persamaan 2} \end{aligned}$$

Karena $F_{12} \Delta t = -F_{21} \Delta t$, maka kita dapat menggabungkan persamaan 1 dan persamaan 2

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

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

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

Persamaan ini juga bisa ditulis dalam bentuk :

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

Ini adalah persamaan Hukum Kekekalan Momentum. Hukum Kekekalan Momentum berlaku jika gaya total pada benda-benda yang bertumbukan = 0. Pada penjelasan di atas, gaya total pada dua benda yang bertumbukan adalah $F_{12} + (-F_{21}) = 0$. Jika nilai **gaya total** dimasukkan dalam persamaan momentum :

$$\Delta p = \Sigma F \Delta t$$

$$\Delta p = (F_{12} - F_{21}) \Delta t$$

$$\Delta p = 0$$

Hal ini menunjukkan bahwa apabila gaya total pada sistem = 0, maka momentum total tidak berubah. Yang dimaksudkan dengan sistem adalah benda-benda yang bertumbukan. Apabila pada sistem tersebut bekerja gaya luar (*gaya-gaya yang diberikan oleh benda di luar sistem*), sehingga gaya total tidak sama dengan nol, maka hukum kekekalan momentum tidak berlaku.

Dengan demikian, kita dapat menyimpulkan bahwa :

Jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda yang bertumbukan, maka jumlah momentum benda-benda sebelum tumbukan sama dengan jumlah momentum benda-benda setelah tumbukan.

Ini adalah pernyataan hukum kekekalan momentum

Prinsip Kerja Roket



Dorongan roket dan jet merupakan penerapan yang menarik dari hukum III Newton dan Kekekalan momentum. Roket memiliki tangki yang berisi bahan bakar hidrogen cair dan oksigen cair. Bahan bakar tersebut dibakar dalam ruang pembakaran sehingga menghasilkan gas lalu dibuang melalui mulut pipa yang terletak dibelakang roket. Akibatnya terjadi perubahan momentum pada gas selama selang waktu tertentu. Berdasarkan hukum II Newton, perubahan momentum selama suatu selang waktu tertentu = gaya total. Jadi bisa dikatakan bahwa terdapat gaya total pada gas yang disemburkan roket ke belakang. Gaya total tersebut merupakan gaya aksi yang diberikan oleh roket kepada gas, di mana arahnya ke bawah. Sebagai tanggapan, gas memberikan gaya reaksi kepada roket, di mana besar gaya reaksi = gaya aksi, hanya arahnya berlawanan. Gaya reaksi yang diberikan oleh gas tersebut yang mendorong roket ke atas.

Referensi :

1. Giancoli, Douglas C., 2001, *Fisika Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga.
2. Halliday dan Resnick, 1991, *Fisika Jilid I, Terjemahan*, Jakarta : Penerbit Erlangga.
3. Kanginan, Marthen, 2000, *Fisika 2000, SMU kelas 1, Caturwulan 2*, Jakarta : Penerbit Erlangga.
4. Tipler, P.A., 1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga.
5. Young, Hugh D. & Freedman, Roger A., 2002, *Fisika Universitas (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga