

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

### IMPULS, MOMENTUM DAN HUKUM KEKEKALAN MOMENTUM

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini, diharapkan peserta didik dapat:

1. memahami konsep momentum dan konsep impuls;
2. mengetahui hubungan antara momentum dan impuls; dan
3. memformulasikan dan memahami hukum kekekalan momentum.

#### B. Uraian Materi

Momentum dan Impuls merupakan besaran-besaran dalam fisika yang muncul akibat benda bergerak dan berinteraksi (bertumbukan) dengan benda lain. Besaran-besaran tersebut akan mempengaruhi sifat dan karakteristik suatu benda, dan dengan pengetahuan ini akan mampu menjawab permasalahan-permasalahan yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari dan mampu dimanfaatkan untuk kemaslahatan umat manusia.

##### 1. Momentum ( $p$ )

Momentum merupakan salah satu sifat yang pasti dimiliki oleh benda yang bergerak. Momentum dapat *didefinisikan* sebagai tingkat kesukaran untuk menghentikan gerak suatu benda.

Perhatikan gambar kejadian berikut !



Jika mobil dan sepeda memiliki kecepatan yang sama ( $v_m = v_s$ ), terlihat dari gambar di atas bahwa dampak dari kerusakannya ternyata mobil memiliki dampak yang lebih besar dibanding sepeda ketika menabrak pohon. Hal ini membuktikan bahwa mobil yang massanya lebih besar dari pada sepeda ( $m_p > m_s$ ) akan menyebabkan gerak benda tersebut sulit dihentikan sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$p \sim m$$



Jika seseorang pada gambar di atas memiliki peluru yang identik dimana massa peluru 1 sama dengan massa peluru 2 ( $m_{p1} = m_{p2}$ ), tetapi kedua peluru tersebut diberi kecepatan yang berbeda ( $v_{p1} > v_{p2}$ ) aka akan mengakibatkan titik sasaran yang dikenai oleh peluru dengan kecepatan yang besar akan menimbulkan kerusakan yang lebih parah dibanding dengan peluru yang memiliki kecepatan kecil. Hal ini menandakan bahwa semakin besar kecepatan suatu benda, maka semakin sulit benda tersebut dihentikan. Sehingga dapat disimpulkan :

$$p \sim v$$

Berdasarkan analisa di atas, karena momentum ( $p$ ) merupakan tingkat kesukaran untuk menghentikan gerak suatu benda maka persamaan momentum linier dapat ditulis :

$$p = m \cdot v$$

Keterangan :

$p$  = momentum (kg.m.s)

$m$  = massa benda (kg)

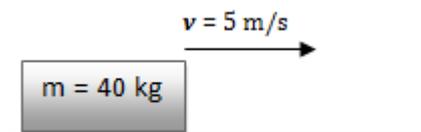
$v$  = Kecepatan benda (m/s)

Momentum merupakan besaran vektor, yang arahnya sarah dengan kecepatan benda tersebut.

### Contoh Soal

Suatu benda bermassa 40 kg dan bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Tentukan momentum yang dimiliki oleh benda tersebut !

### Pembahasan



Benda yang bergerak pasti memiliki momentum, dan berdasarkan konsep dapat ditentukan sebagai berikut

$$p = m \cdot v$$

$$p = 40 \times 5$$

$$p = 200 \text{ kg.m/s}$$

**Jadi**, besar momentum benda tersebut ketika bergerak adalah **200 kg.m/s** searah dengan arah kecepatannya

## 2. Impuls ( $I$ )

Impuls ( $I$ ) merupakan gaya kontak rata-rata  $F$  yang bekerja pada suatu benda yang terjadi dalam selang waktu yang sangat singkat ( $\Delta t \sim 0$ )

Untuk memahami konsep impuls perhatikan gambar berikut !



Berdasarkan gambar di atas, pada bola diberikan gaya sentuh ( $F$ ) dengan selang waktu ( $\Delta t$ ) yang sangat singkat, sehingga menghasilkan efek pada bola tersebut semakin besar. Jika diberikan gaya  $F$  yang sama tetapi selang waktu sentuh  $\Delta t$  yang lebih lama maka akan menimbulkan efek pada bola tersebut kurang maksimal dibandingkan pada keadaan pertama. Efek dari pemberian gaya rata-rata  $F$  pada suatu benda dalam selang waktu  $\Delta t$  tertentu inilah yang disebut sebagai Impuls ( $I$ ). Dan berdasarkan analisa gambar di atas dapat disimpulkan bahwa :

$$F \sim I$$

dan

$$F \sim \frac{1}{\Delta t}$$

Sehingga diperoleh :

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

atau

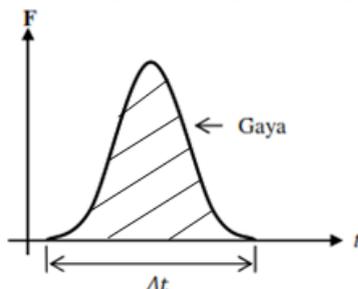
$$I = F \cdot \Delta t$$

$$I = F \cdot (t_2 - t_1)$$

Jika gaya  $F$  yang diberikan pada benda berubah terhadap waktu  $F(t)$ , maka konsep impuls ( $I$ ) dapat ditulis dalam bentuk pengintegralan yaitu :

$$I = \int F(t) \cdot dt$$

Persamaan di atas dapat dianalisa bahwa gaya impulsif  $F$  yang berubah terhadap waktu  $t$ , dapat ditampilkan seperti gambar di bawah ini :



Nilai impuls ( $I$ ) berdasarkan konsep dan grafik  $F-t$  di atas dapat disimpulkan bahwa:

$$\text{Impuls } (I) = \text{luas daerah di bawah grafik } F-t$$

### Keterangan

$I$  = Impuls (N.s atau kg.m.s)

$F$  = Gaya Impulsif (Newton)

$\Delta t$  = Waktu sentuhan antara gaya dan benda (sekon)

Impuls ( $I$ ) termasuk besaran vektor yang arahnya selalu searah dengan gaya impulsif ( $F$ ).

### **Contoh Soal**

Seorang pemain sepakbola melakukan tendangan terhadap bola dengan gaya  $F$  sebesar 20 Newton. Apabila waktu sentuh antara kaki dan bola adalah 0,01 sekon, Tentukan besar impuls yang terjadi pada bola tersebut.

### **Pembahasan**

*Diketahui*

$F = 20$  Newton

$\Delta t = 0,01$  sekon

*Ditanya*  $I = \dots?$

Berdasarkan konsep Impuls diperoleh

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

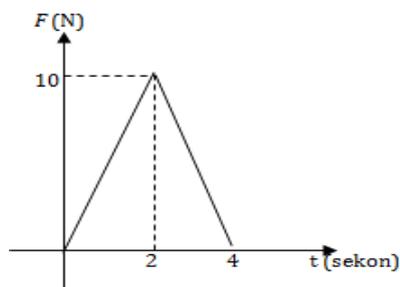
$$I = 20 \times 0,01$$

$$I = 0,2 \text{ N.s}$$

**Jadi**, besar impuls yang bekerja pada bola tersebut adalah **0,2 N.s**, searah dengan arah gaya rata-rata ( $F$ ) yang diberikan pada bola tersebut.

### **Contoh Soal**

Perhatikan grafik  $F-t$  berikut !



Grafik di samping menyatakan gaya yang bekerja pada suatu benda bermassa 2 kg dalam selang waktu 4 sekon. Jika benda tersebut mula-mula diam, Tentukan besarnya impuls selama 4 sekon tersebut

### **Pembahasan**

Berdasarkan konsep impuls dalam grafik  $F-t$  diperoleh

$$\text{Impuls (I) = luas daerah di bawah grafik } F-t$$

Jadi besar nilai impuls dalam kasus ini adalah

$$I = \text{Luas Segitiga}$$

$$I = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$I = \frac{1}{2} \times 4 \times 10$$

$$I = 20 \text{ N.s}$$

**Jadi**, besar impuls yang bekerja pada benda tersebut adalah **20 N.s**

### 3. Hubungan Impuls ( $I$ ) dan Momentum ( $p$ )

Perhatikan kejadian pada gambar berikut !



Suatu bola yang mula-mula bergerak dengan kecepatan  $v_1$  diberi gaya sebesar  $F$ . gaya tersebut bekerja pada bola sehingga mengakibatkan bola tersebut bergerak dipercepat dan kecepatannya berubah menjadi  $v_2$ . Dalam kejadian ini bola akan bergerak dengan percepatan konstan (GLBB) dalam rentang waktu tertentu ( $\Delta t$ ), sehingga berlaku hukum II Newton, dan dapat di tulis :

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F = m \cdot \left( \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \right)$$

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

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

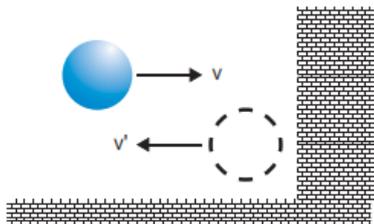
$$\boxed{I = p_2 - p_1} \quad \text{atau} \quad \boxed{I = \Delta p}$$

Jadi berdasarkan penurunan persamaan hubungan antara Impuls ( $I$ ) dan Momentum ( $p$ ) di atas dapat disimpulkan bahwa :

*Impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentum yang dialami benda tersebut, yaitu beda antara momentum akhir dengan momentum awal*

#### Contoh Soal

Perhatikan gambar berikut !



Bola kasti bermassa 150 gram bergerak dengan kecepatan 10 m/s ke dinding dengan arah tegak lurus. Bola kasti menumbuk dinding selama 0,05 sekon dan dipantulkan kembali dengan kecepatan 8 m/s. Tentukan besarnya gaya kontak antara bola dan dinding

#### **Pembahasan**

Diketahui :

- $m = 150 \text{ gram} = 0,15 \text{ kg}$
- $v = 10 \text{ m/s}$  (bergerak kekanan)
- $v' = -8 \text{ m/s}$  (bergerak kekiri)
- $\Delta t = 0,05 \text{ sekon}$

Ditanya :

Gaya kontak antara bola dan dinding ( $F$ )

Berdasarkan konsep hubungan antara Impuls dan Momentum diperoleh

$$I = p_2 - p_1$$

$$I = m v_2 - m v_1$$

$$I = (m (-v')) - (m v)$$

$$F \cdot \Delta t = (0,15 (-8)) - (0,15 \cdot 10)$$

$$F \cdot (0,05) = (-1,2) - (1,5)$$

$$F \cdot (0,05) = -2,7$$

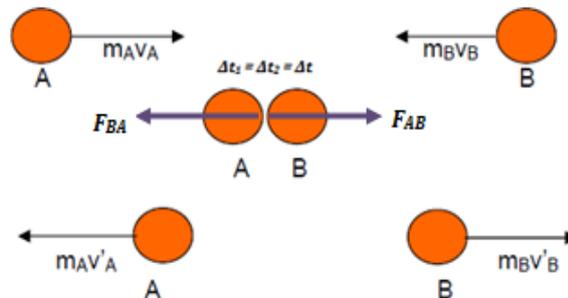
$$F = \frac{-2,7}{0,05}$$

$$F = -54 \text{ Newton}$$

**Jadi**, besar gaya kontak antara bola dan dinding adalah **54 Newton** dengan **arah ke kiri**.

#### 4. Hukum Kekekalan Momentum Linier

Jika terdapat dua buah benda yang bertumbukan maka akan mempengaruhi pergerakan kedua benda tersebut setelah bertumbukan. Perhatikan gambar berikut !



Benda A bermassa  $m_A$  dan benda B bermassa  $m_B$  bergerak berlawanan arah dengan kecepatan  $v_A$  dan  $v_B$ . Ketika kedua bola tersebut bertumbukan dengan selang waktu ( $\Delta t$ ) yang sama. Dari kejadian tersebut dapat dianalisa bola A memberikan gaya pada benda B ( $F_{AB}$ ) dan benda B mengerjakan gaya kepada benda A ( $F_{BA}$ ) yang sama besar tetapi arahnya berlawanan arah dan berlaku hukum III Newton, sehingga dapat ditulis :

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

$$\frac{I_A}{\Delta t} = -\frac{I_B}{\Delta t}$$

$$I_A = -I_B$$

$$\Delta p_A = -\Delta p_B$$

$$p'_A - p_A = -(p'_B - p_B)$$

$$m_A v'_A - m_A v_A = -(m_B v'_B - m_B v_B)$$

$$m_A v'_A - m_A v_A = m_B v_B - m_B v'_B$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$$

$$p_A + p_B = p'_A + p'_B$$

$$\boxed{\sum p = \sum p'}$$

Berdasarkan analisa kejadian tumbukan dua buah benda tersebut dan penurunan persamaan di atas, maka konsep ***hukum kekekalan momentum linier*** dapat dinyatakan :

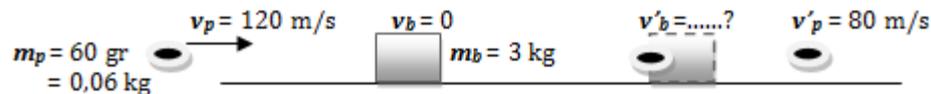
*Dalam peristiwa tumbukan sentral, momentum total sistem sesaat sebelum tumbukan sama dengan momentum total sistem sesaat setelah tumbukan, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem tersebut*

### **Contoh Soal 5**

Sebuah balok kayu bermassa 3 kg yang diam di atas lantai ditembak sebiduk peluru bermassa 60 gram dengan kecepatan 120 m/s. Jika peluru menembus balok dan kecepatannya berubah menjadi 80 m/s. Tentukan kecepatan balok tersebut setelah tembakan

### **Pembahasan**

Perhatikan ilustrasi gambar kejadian kasus berikut



Peluru dan benda mengalami tumbukan, dan berlaku hukum kekekalan momentum

$$\sum p = \sum p'$$

$$p_p + p_b = p'_p + p'_b$$

$$m_p \cdot v_p + m_b \cdot v_b = m_p \cdot v'_p + m_b \cdot v'_b$$

$$(0,06 \times 120) + (3 \times 0) = (0,06 \times 80) + (3 \times v'_b)$$

$$7,2 + 0 = 4,8 + (3 \times v'_b)$$

$$7,2 - 4,8 = (3 \times v'_b)$$

$$2,4 = (3 \times v'_b)$$

$$2,4 = (3 \times v'_b)$$

$$v'_b = \frac{2,4}{3}$$

$$v'_b = 0,8 \text{ m/s}$$

**Jadi**, sesaat setelah peluru menumbuk benda, maka benda tersebut bergerak dengan kecepatan **0,8 m/s**

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

### JENIS-JENIS TUMBUKAN

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini, diharapkan peserta didik dapat:

1. memahami konsep dan nilai dari koefisien restitusi dalam suatu jenis tumbukan;
2. menggunakan atau mengaplikasikan hukum kekekalan momentum dalam berbagai masalah; dan
3. mengetahui jenis-jenis tumbukan dan mampu menyelesaikan berbagai masalah terkait jenis tumbukan.

#### B. Uraian Materi

Berdasarkan hukum kekekalan momentum yang telah dibahas pada kegiatan pembelajaran 1 di modul ini bahwa jika tidak ada gaya luar, momentum linier sistem sesaat sebelum dan sesudah tumbukan adalah konstan. Jadi pada setiap tumbukan, akan berlaku hukum kekekalan momentum linier.

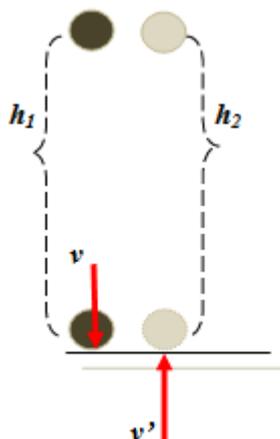
Terdapat parameter lain yang akan mempengaruhi jenis tumbukan yang dialami oleh benda yaitu *koefisien restitusi* ( $e$ ). Koefisien restitusi merupakan derajat sentuhan suatu benda akibat tumbukan yang dapat dihitung dari negatif perbandingan selisih kecepatan benda setelah tumbukan ( $\Delta v'$ ) dengan selisih kecepatan benda sebelum tumbukan ( $\Delta v$ ), sehingga koefisien restitusi dapat ditulis :

$$e = -\frac{\Delta v'}{\Delta v} \quad \text{atau} \quad e = -\frac{(v'_2 - v'_1)}{(v_2 - v_1)}$$

Setelah memahami parameter ini, maka sekarang kita akan membahas berbagai jenis tumbukan, yaitu: *tumbukan lenting sempurna*, *tumbukan lenting sebagian* dan *tumbukan tidak lenting sama sekali*.

##### a. Tumbukan lenting sempurna

Perhatikan gambar kejadian berikut !



Sebuah partikel jatuh bebas dari ketinggian  $h_1$ , dan menumbuk lantai. Kecepatan sesaat partikel sebelum menumbuk bumi adalah  $v$ . Sesaat setelah menumbuk lantai partikel tersebut bergerak vertikal ke atas dengan kecepatan awal  $v'$ . Partikel tersebut mencapai titik tertinggi sebesar  $h_2$ , dimana dari gambar diperoleh  $h_2 = h_1$ . Karena terjadi hal demikian, maka dapat disimpulkan  $v = v'$ .

Peristiwa di atas merupakan contoh dari Tumbukan lenting sempurna.

Berdasarkan analisis di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa suatu benda mengalami tumbukan lenting sempurna jika memiliki syarat sebagai berikut :

1. Berlaku hukum kekekalan momentum
2. Tidak ada energi gerak yang hilang pada benda sebelum dan sesudah terjadinya tumbukan (berlaku hukum kekekalan energi mekanik)
3. Memiliki koefisien restitusi sama dengan 1 ( $e = 1$ )

Tumbukan lenting sempurna akan ditemui jika terjadi tumbukan pada partikel-partikel yang sangat kecil misalnya tumbukan antara proton dan neutron.

**Tantangan untuk Ananda :**

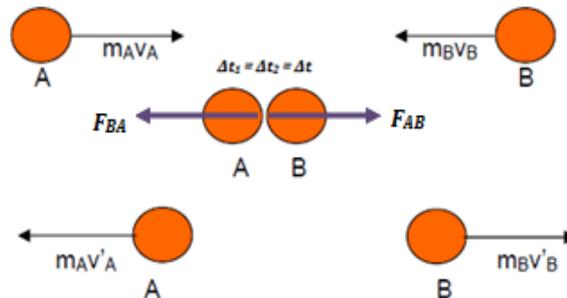
Buktikan bahwa ketika benda mengalami tumbukan lenting sempurna, nilai koefisien restitusi  $e$  sama dengan 1 ( $e = 1$ )

**Contoh Soal**

Dua bola biliar A dan B identik memiliki massa yang sama bergerak saling mendekat. Jika kecepatan dua bola tersebut masing-masing adalah  $v_A = 0,3$  m/s dan  $v_B = 0,2$  m/s dan kedua bola biliar tersebut mengalami tumbukan lenting sempurna, tentukan kecepatan masing-masing bola biliar tersebut setelah tumbukan.

**Pembahasan**

Perhatikan gambar kejadian berikut !



- Berlaku hukum kekekalan momentum linier

$$\sum p = \sum p'$$

$$p_A + p_B = p'_A + p'_B$$

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

$$m \cdot 0,3 + m \cdot (-0,2) = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B$$

$$0,1 = v'_A + v'_B \dots\dots\dots(1)$$

- Memiliki koefisien restitusi  $e = 1$ , sehingga dapat ditulis

$$e = -\frac{\Delta v'}{\Delta v}$$

$$1 = -\frac{\Delta v'}{\Delta v}$$

$$\Delta v = -\Delta v'$$

$$v_B - v_A = -(v'_B - v'_A)$$

$$-0,2 - 0,3 = -(v'_B - v'_A)$$

$$0,5 = v'_B - v'_A \dots\dots\dots(2)$$

- Persamaan (1) dan (2) di eliminasi diperoleh :

$$v'_B - v'_A = 0,5$$

$$v'_B + v'_A = 0,1 \quad +$$

$$\hline 2v'_B = 0,6$$

$$v'_B = 0,3 \text{ m/s (bergerak ke arah kanan)}$$

Dengan mensubstitusi nilai  $v'_B$  pada persamaan 2 maka diperoleh :

$$0,5 = 0,3 - v'_A$$

$$v'_A = -0,2 \text{ m/s (bergerak ke arah kiri)}$$

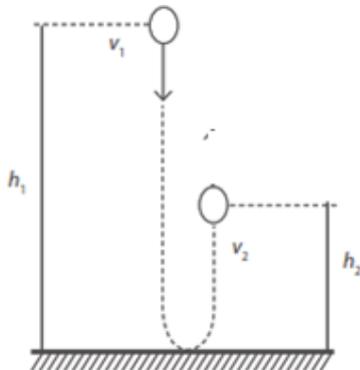
**Jadi**, karena terjadi tumbukan lenting sempurna, maka sesaat setelah bertumbukan bola biliar A memiliki kecepatan **0,2 m/s** bergerak ke kiri dan bola biliar B memiliki kecepatan **0,3 m/s** bergerak ke kanan

**Catatan penting**

Jika terjadi tumbukan sentral yang bersifat lenting sempurna pada bola yang identik (memiliki masa yang sama, yaitu  $m_1 = m_2$ ), maka akan terjadi transfer kecepatan dimana  $v_1 = v_2'$  dan  $v_2 = v_1'$

**b. Tumbukan lenting sebagian**

Perhatikan gambar kejadian berikut !



Sebuah bola jatuh bebas dari ketinggian  $h_1$ , setelah menumbuk lantai bola tersebut mengalami gerak vertikal ke atas dan bola hanya mencapai ketinggian  $h_2$ , dimana  $h_2 < h_1$ . Pada peristiwa ini terjadi tumbukan lenting sebagian, karena pada peristiwa tersebut ada energi gerak yang hilang yang dimiliki oleh bola tersebut, sehingga bola tidak mampu mencapai pada ketinggian semula.

Berdasarkan analisa di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa suatu benda mengalami tumbukan lenting sebagian jika memiliki syarat sebagai berikut :

1. Berlaku hukum kekekalan momentum
2. Tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik, karena pada peristiwa ini ada energi gerak yang hilang pada benda
3. Setelah tumbukan benda bergerak sendiri-sendiri (tidak menyatu)
4. Memiliki nilai koefisien restitusi ( $e$ ) yaitu  $0 < e < 1$

**Tantangan untuk Ananda :**

Buktikan bahwa ketika benda mengalami tumbukan lenting sebagian, nilai koefisien restitusi  $e$  adalah  $0 < e < 1$

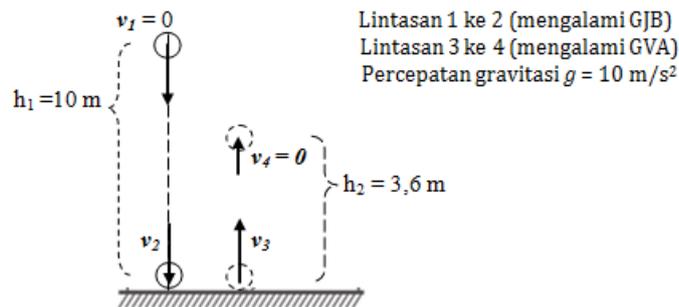
**Contoh Soal**

Bola bermassa 2 kg jatuh bebas dari ketinggian 10 meter di atas lantai. Bola tersebut terpantul dengan ketinggian 3,6 meter. .... :

- Momentum bola sesaat sebelum tumbukan dengan lantai
- Momentum bola sesaat setelah tumbukan dengan lantai
- Impuls yang terjadi pada bola saat tumbukan dengan lantai
- Gaya rata-rata yang dikerjakan lantai pada bola jika sentuhannyaterjadi selama 0,04 sekon
- Koefisien restitusi yang terjadi ketika bola bersentuhan dengan lantai.

**Pembahasan**

Sebelum menjawab perhatikan gambar kejadian berikut !



a. Menentukan momentum bola sesaat sebelum tumbukan dengan lantai ( $p_2$ )

- Menentukan  $v_2$  (lihat lintasan 1 ke 2, mengalami GJB)

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 \cdot g \cdot h_1$$

$$v_2^2 = 0^2 + 2 \cdot 10 \cdot 10$$

$$v_2^2 = 200$$

$$v_2 = \sqrt{200}$$

$$v_2 = 10\sqrt{2} \text{ m/s, dengan arah ke bawah (+)}$$

- Setelah mendapatkan kecepatan benda sesaat sebelum tumbukan ( $v_2$ ), maka dapat dihitung momentum benda pada saat tersebut  $p_2$ , yaitu

$$p_2 = m \cdot v_2$$

$$p_2 = 2 \times 10\sqrt{2}$$

$$p_2 = 20\sqrt{2} \text{ kg.m/s}$$

**Jadi**, besar momentum benda sesaat sebelum menumbuk lantai adalah  $20\sqrt{2} \text{ kg.m/s}$  dengan **arah ke bawah (+) searah dengan keadaan awal benda**

b. Menentukan momentum bola sesaat sebelum tumbukan dengan lantai ( $p_2$ )

- Menentukan  $v_3$  (lihat lintasan 3 ke 4, mengalami GVA)

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

$$v_4^2 = v_3^2 + 2 \cdot g \cdot h_2$$

$$0^2 = v_3^2 + 2 \cdot 10 \cdot 3,6$$

$$v_3^2 = -72$$

$$v_3 = -\sqrt{72}$$

$$v_3 = -6\sqrt{2} \text{ m/s, dengan arah ke atas}$$

- Setelah mendapatkan kecepatan benda sesaat setelah tumbukan ( $v_3$ ), maka dapat dihitung momentum benda pada saat tersebut  $p_3$ , yaitu

$$p_3 = m \cdot v_3$$

$$p_3 = 2 \times (-6\sqrt{2})$$

$$p_3 = -12\sqrt{2} \text{ kg.m/s}$$

**Jadi**, besar momentum benda sesaat setelah menumbuk lantai adalah  $12\sqrt{2} \text{ kg.m/s}$  dengan **arah ke atas**

- c. Menentukan Impuls yang dialami benda (terjadi saat tumbukan)

$$I = \Delta p$$

$$I = p_3 - p_2$$

$$I = (-12\sqrt{2}) - (20\sqrt{2})$$

$$I = -32\sqrt{2} \text{ N.s}$$

**Jadi**, besar Impuls yang terjadi pada benda saat berumbukan dengan lantai adalah  $32\sqrt{2} \text{ N.s}$  dengan **arah ke atas (-)**, karena gaya rata-rata  $F$  yang bekerja pada saat tumbukan adalah ke atas (berlawanan arah dengan arah permulaan gerak benda)

- d. Menentukan Gaya rata-rata yang dikerjakan lantai pada bola jika sentuhannya terjadi selama 0,04 sekon

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

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

$$F = \frac{-32\sqrt{2}}{0,04}$$

$$F = -800\sqrt{2} \text{ Newton}$$

**Jadi**, besar gaya rata-rata yang bekerja pada benda saat tumbukan adalah  $800\sqrt{2} \text{ Newton}$  dengan arah ke atas.

- e. Menentukan restitusi yang terjadi ketika bola bersentuhan dengan lantai.

Koefisien restitusi dapat dinyatakan  $e = -\frac{\Delta v'}{\Delta v}$ , dalam kasus ini sesuai gambar kejadian di atas, maka persamaan dapat di tulis :

$$e = -\left(\frac{v_4 - v_3}{v_2 - v_1}\right)$$

Berdasarkan gambar kejadian kasus dan analisa jawaban "sesi a dan b", telah dapat di peroleh bahwa :

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

$$v_3 = -\sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}$$

$$v_4 = 0$$

Sehingga untuk menentukan koefisien restitusi pada kasus benda di jatuh bebaskan dan memantul dapat di tulis dengan

$$e = -\left(\frac{v_4 - v_3}{v_2 - v_1}\right)$$

$$e = -\left(\frac{0 - \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} - 0}\right)$$

$$e = \left(\frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}}\right)$$

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

$$e = \sqrt{\frac{3,6}{10}}$$

$$e = \sqrt{0,36}$$

$$e = 0,6$$

**Jadi**, besar koefisien restitusi di titik terjadinya tumbukan benda dengan lantai adalah **0,6** dan dengan demikian terjadi tumbukan lenting sebagian.

**Catatan penting :**

Untuk benda di jatuh bebaskan dari ketinggian  $h_1$  tertentu dan memantul dan mencapai ketinggian  $h_2$  (dimana  $h_2 < h_1$ ), maka koefisien restitusi yang bekerja di titik terjadinya tumbukan dapat ditulis :

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

Dan karena terjadi pada titik tumbukan yang sama dapat ditentukan tinggi pantulan-pantulan benda berikutnya, dan dapat ditulis dengan persamaan :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{h_3}{h_2} = \frac{h_4}{h_3}$$

**c. Tumbukan tidak lenting sama sekali**

Perhatikan gambar kejadian berikut !



Peristiwa di atas merupakan contoh terjadinya tumbukan tidak lenting sama sekali. Pada tumbukan jenis ini, setelah terjadi tumbukan, maka kedua benda tersebut menyatu dan bergerak bersama-sama sehingga setelah tumbukan kedua benda tersebut memiliki kecepatan yang sama ( $v_1' = v_2' = v'$ ).

Adapun syarat suatu benda terjadi tumbukan tidak lenting sama sekali yaitu :

1. Berlaku hukum kekekalan momentum
2. Tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik, karena terdapat energi gerak yang hilang pada diri benda
3. Benda menyatu setelah tumbukan sehingga kecepatan setelah tumbukan sama dan bergerak ke arah yang sama ( $v_1' = v_2' = v$ ).
4. Memiliki nilai koefisien restitusi sama dengan nol ( $e = 0$ )

**Tantangan untuk Ananda :**

Buktikan bahwa ketika benda mengalami tumbukan tidak lenting sama sekali, nilai koefisien restitusi  $e$  sama dengan  $0$  ( $e = 0$ )

### C. Rangkuman

1. Koefisien restitusi merupakan parameter yang terjadi pada peristiwa tumbukan suatu benda dengan benda lain yang nilainya diperoleh dari negatif perbandingan selisih kecepatan benda setelah tumbukan ( $\Delta v'$ ) dengan selisih kecepatan benda sebelum tumbukan ( $\Delta v$ ), sehingga koefisien restitusi dapat ditulis :

$$e = -\frac{\Delta v'}{\Delta v} \quad \text{atau} \quad e = -\frac{(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)}$$

2. Jenis-jenis tumbukan suatu benda terbagi atas 3 jenis yaitu :
  - a. Tumbukan lenting sempurna
  - b. Tumbukan lenting sebagian
  - c. Tumbukan tidak lenting sama sekali
3. Tumbukan lenting sempurna memiliki syarat sebagai berikut :
  - a) Berlaku hukum kekekalan momentum
  - b) Tidak ada energi gerak yang hilang pada benda sebelum dan sesudah tumbukan (berlaku hukum kekekalan energi mekanik)
  - c) Memiliki koefisien restitusi sama dengan 1 ( $e = 1$ )
4. Tumbukan lenting sebagian memiliki syarat sebagai berikut :
  - a) Berlaku hukum kekekalan momentum
  - b) Tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik, karena pada peristiwa ini ada energi gerak yang hilang pada benda
  - c) Setelah tumbukan benda bergerak sendiri-sendiri (tidak menyatu)
  - d) Memiliki nilai koefisien restitusi ( $e$ ) yaitu  $0 < e < 1$
5. Tumbukan tidak lenting sama sekali memiliki syarat sebagai berikut :
  - a) Berlaku hukum kekekalan momentum
  - b) Tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik, karena terdapat energi gerak yang hilang pada diri benda
  - c) Benda menyatu setelah tumbukan sehingga kecepatan setelah tumbukan sama dan bergerak ke arah yang sama ( $v_1' = v_2' = v$ ).
  - d) Memiliki nilai koefisien restitusi sama dengan nol ( $e = 0$ )

## D. Latihan Soal

1. Dua benda masing-masing bermassa  $m_1 = 20$  kg dan  $m_2 = 40$  kg bergerak dengan arah berlawanan dengan kecepatan masing-masing  $v_1 = 10$  m/s dan  $v_2 = 4$  m/s. Kedua benda saling bertumbukan. Tentukan kecepatan akhir kedua benda setelah bertumbukan jika terjadi :
  - a. Tumbukan lenting sempurna
  - b. Tumbukan lenting sebagian dengan koefisien restitusi  $e = 0,2$
  - c. Tumbukan tidak lenting sama sekali
2. Benda 1 bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan 5 m/s, sedangkan benda 2 bermassa 3 kg bergerak dengan kecepatan 2 m/s (lihat gambar). Jika kedua benda bergerak berlawanan arah dan menyatu setelah tumbukan, Tentukan besarnya kecepatan kedua benda tersebut !
3. Sebuah ayunan balistik bermassa 4 kg digantung vertikal. Sebuah peluru bermassa 25 gram menumbuk ayunan dan bersarang di dalamnya, sehingga titik pusat massanya naik setinggi 40 cm. Tentukan kecepatan peluru sesaat sebelum menumbuk ayunan !