

## BAB VIII

## MOMENTUM DAN IMPULS

## 8.1. Pendahuluan

Bila anda berada di dalam sebuah bus yang sedang bergerak cepat, kemudian direm mendadak, anda merasakan bahwa badan anda terlempar ke depan. Hal ini akibat adanya sifat kelembaman, yaitu sifat untuk mempertahankan keadaan semula yaitu dalam keadaan bergerak. Hal yang sama juga dirasakan oleh si sopir yang berusaha mengerem bus tersebut. Apabila penumpang busnya lebih banyak, pada saat sopir bus memberhentikan/mengerem bus secara mendadak, harus memberikan gaya yang lebih besar. Dalam bab ini akan dibicarakan mengenai momentum, yang merupakan salah satu besaran yang dimiliki oleh setiap benda yang bergerak.

Di dalam fisika, dikenal dua macam momentum, yaitu momentum linear ( $p$ ) dan momentum angular ( $L$ ). Pada bab ini hanya akan dibahas momentum linear. Selain momentum linear akan dibahas juga besaran Impuls gaya ( $I$ ) dan hukum kekekalan momentum linear, serta tumbukan.

## 8.2. Pengertian Momentum

Istilah momentum yang akan dipelajari pada bab ini adalah momentum linear ( $p$ ), yang didefinisikan sebagai berikut : Momentum suatu benda yang bergerak adalah hasil perkalian antara massa benda dan kecepatannya. Oleh karena itu, setiap benda yang bergerak memiliki momentum. Secara matematis, momentum linear ditulis sebagai berikut:

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v} \quad 8.1$$

$\mathbf{p}$  adalah momentum (besaran vektor),  $m$  massa (besaran skalar) dan  $\mathbf{v}$  kecepatan (besaran vektor). Bila dilihat persamaan (8.1), arah dari momentum selalu searah dengan arah kecepatannya.

Satuan Momentum

Menurut Sistem Internasional (SI)

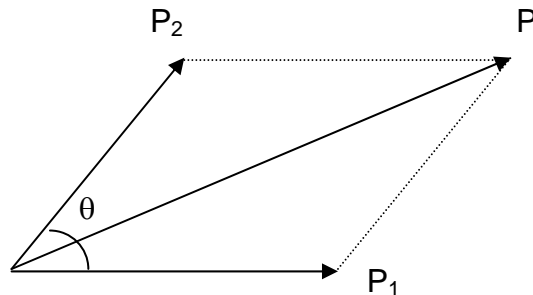
Satuan momentum  $\mathbf{p}$  = satuan massa x satuan kecepatan  
 = kg x m/s  
 = kg . m/s

Jadi, satuan momentum dalam SI adalah : kg.m/s

Momentum adalah besaran vektor, oleh karena itu jika ada beberapa vektor momentum dijumlahkan, harus dijumlahkan secara vektor. Misalkan ada dua buah vektor momentum  $\mathbf{p}_1$  dan  $\mathbf{p}_2$  membentuk sudut  $\alpha$ , maka jumlah momentum kedua vektor harus dijumlahkan secara vektor, seperti yang

terlihat dari gambar vektor gambar 9.1. Besar vektor  $\mathbf{p}$  dirumuskan sebagai berikut :

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \theta} \quad 8.2$$



Gambar 8.1 : Penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor

### 8.2.1. Hubungan Momentum dengan energi kinetik

Energi kinetik suatu benda yang bermassa  $m$  dan bergerak dengan kecepatan  $v$  adalah

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad 8.3$$

Besarnya ini dapat dinyatakan dengan besarnya momentum linear  $p$ , dengan

mengalikan persamaan energi kinetik dengan  $\frac{m}{m}$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv^2 \times \frac{m}{m} = \frac{1}{2} \frac{m^2v^2}{m} = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m} \quad 8.4$$

Contoh Soal :

1. Sebuah mobil dengan massa 2000 kg, mula-mula bergerak lurus dengan kecepatan awal 20 m/s ke utara. Setelah beberapa saat, mobil tersebut direm dan setelah 10 detik kecepatannya berkurang menjadi 5 m/s. Tentukan
  - a. Momentum awal mobil
  - b. Momentum mobil setelah direm. (setelah 10 detik)
  - c. Perubahan momentumnya setelah direm

Diketahui :

$m$	= 2000 kg	$v$	= 5 m/s
$v_0$	= 20 m/s	$t$	= 10 s

Ditanya :  $p_0$ ?  $p_t$ ? dan  $\Delta p$ ?

Jawab

Karena momentum merupakan besaran vektor, maka harus ditetapkan terlebih dahulu arah positifnya (pemilihan ini boleh sembarang). Misalkan arah ke utara kita ambil sebagai arah positif. Oleh karena itu

a. Momentum awal mobil :

$$\begin{aligned} p_0 &= m v_0 \\ &= 2000 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} \\ &= 40000 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

arah  $p_0$  ke utara

b. Momentum akhir :

$$\begin{aligned} p_t &= m v_t \\ &= 2000 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} \\ &= 10000 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

arah  $p_t$  ke utara

c. Perubahan momentum bisa dinotasikan sebagai  $\Delta p$  :

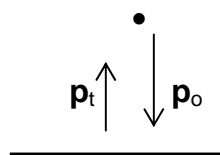
$$\begin{aligned} \Delta p &= p_t - p_0 \\ &= 10000 \text{ kg m/s} - 40000 \text{ kg m/s} \\ &= -30000 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

perubahan momentum mempunyai tanda negatif, berarti arahnya ke selatan

Catatan :

Bila kita ambil arah selatan sebagai arah positif dan utara sebagai arah negatif tanda  $p_0$  akan negatif, artinya ke utara (sesuai dengan jawaban a. yaitu arah ke utara) tanda  $p_t$  akan negatif, artinya arahnya ke utara (sesuai dengan jawaban b. yaitu arah ke utara) tanda  $\Delta p$  akan positif, artinya arahnya ke selatan (sesuai dengan jawaban c. yaitu arah ke selatan)

2. Sebuah bola dengan massa 0,5 kg jatuh dari suatu ketinggian di atas lantai. Laju benda pada saat menumbuk lantai sebesar 40 m/s dan bola memantul vertikal ke atas dengan laju 30 m/s.



Sebuah bola yang jatuh dan terpantul kembali

Tentukan

- Momentum bola pada saat menumbuk lantai
- Momentum bola pada saat memantul kembali
- Perubahan momentum bola sesudah dan sebelum menumbuk lantai

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 0,5 \text{ kg} \\ v_0 &= 40 \text{ m/s (arah kebawah)} \\ v_t &= -30 \text{ m/s (arah keatas)} \end{aligned}$$

Ditanya :  $p_0$ ?  $p_t$ ?  $\Delta p$ ?

Jawab

Bila kita ambil arah ke bawah sebagai arah positif, maka

a. Momentum awal bola pada saat menumbuk lantai

$$\begin{aligned} p_0 &= m v \\ &= 0,5 \text{ kg} \times 40 \text{ m/s} \\ &= 20 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

arah  $p_0$  ke bawah

b. momentum akhir :

$$\begin{aligned} p_t &= m v_t \\ &= 0,5 \text{ kg} \times (-30 \text{ m/s}) \\ &= -15 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

tanda negatif menyatakan arah  $p_t$  ke atas

c. perubahan momentum bisa dinotasikan sebagai  $\Delta p$

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_t - p_0 \\ &= -15 \text{ kg m/s} - 20 \text{ kg m/s} \\ &= -35 \text{ kg m/s} \\ &\text{(arah ke atas)} \end{aligned}$$

3. Mobil dengan massa 500 kg bergerak dengan kecepatan tetap  $v$ . energi kinetiknya  $E_k = 100\,000$  joule. Tentukan momentum dan kecepatan tersebut  $v$  (dengan satuan km/jam).

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 500 \text{ kg} \\ E_k &= 100\,000 \text{ joule} \end{aligned}$$

Ditanya :  $p$ ?  $v$ ?

Jawab :

Hubungkan  $E_k$  dengan  $p$  adalah :  $E_k = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m}$

$$\begin{aligned} \text{Momentumnya } p &= \sqrt{2 \cdot m E_k} \\ &= \sqrt{2500 \times 100000} \\ &= 10.000 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

$$\text{kecepatannya } v$$

$$p = mv$$

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{p}{m} \\
 &= \frac{10000}{500} \\
 &= 20 \text{ m/s} \\
 &= 72 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

4. Dua buah bola masing-masing mempunyai massa 2 kg dan 3 kg. Bola pertama bergerak ke utara dengan 4 m/s dan bola kedua ke barat dengan 10 m/s. Berapakah besar momentum total kedua benda tersebut ?

Diket :

$$\begin{array}{llll}
 m_1 &= 2 \text{ kg} & v_1 &= 4 \text{ m/s} & \text{(arah utara)} \\
 m_2 &= 3 \text{ kg} & v_2 &= 10 \text{ m/s} & \text{(arah barat)}
 \end{array}$$

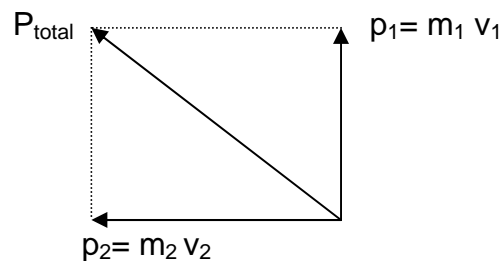
Ditanya :  $p_{\text{total}}$ ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= m_1 v_1 \\
 &= 2 \cdot 4 \\
 &= 8 \text{ kg.m/s (arah utara)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_2 &= m_2 v_2 \\
 &= 3 \cdot 10 \\
 &= 30 \text{ kg.m/s (arah barat)}
 \end{aligned}$$

Besar momentum total perhatikan gambar :



$$\begin{aligned}
 p_{\text{total}} &= \sqrt{p_1^2 + p_2^2} \\
 &= \sqrt{8^2 + 30^2} \\
 &= \sqrt{64 + 900} \\
 &= 31,05 \text{ kg.m/s}
 \end{aligned}$$

5. Sebuah bola A sebelum dan sesudah tumbukan adalah  $p_A = p$  dan  $p'_A = 4p$ . Momentum B sebelum dan sesudah tumbukan adalah  $p_B$  dan  $p'_B$ . Berapakah perubahan momentum bola B ?

Jawab :

Momentum A sebelum dan sesudah tumbukan adalah  $p_A=p$  dan  $p'_A = 4p$ .  
 Momentum B sebelum dan sesudah tumbukan adalah  $p_B$  dan  $p'_B$ . Dengan menggunakan hukum kekekalan momentum diperoleh :

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

Perubahan momentum bola B adalah  $\Delta p_B$  :

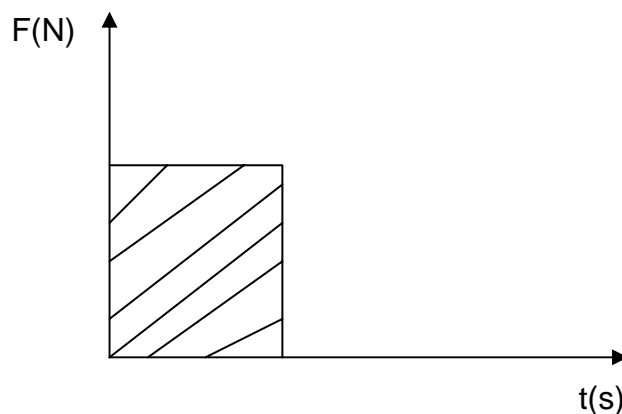
$$\begin{aligned} \Delta p_B &= p'_B - p_B = p_A - p_A \\ &= p - 3p \\ &= -2p \end{aligned}$$

### 8.3. Impuls

Impuls didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dan lamanya gaya tersebut bekerja. Secara matematis dapat ditulis:

$$I = F \cdot \Delta t \tag{8.5}$$

Besarnya gaya disini konstan. Bila besarnya gaya tidak konstan maka penulisannya akan berbeda (akan dipelajari nanti). Oleh karena itu dapat menggambarkan kurva yang menyatakan hubungan antara F dengan t. Bila pada benda bekerja gaya konstan F dari selang waktu  $t_1$  ke  $t_2$  maka kurva antara F dan t adalah



Gambar 8.2 Kurva yang menyatakan hubungan antara F dengan t.  
 Luas daerah yang diarsir menyatakan besarnya Impuls.

Luasan yang diarsir sebesar  $F \times (t_2 - t_1)$  atau I, yang sama dengan Impuls gaya. Impuls gaya merupakan besaran vektor, oleh karena itu perhatikan arahnya

Satuan Impuls

$$\begin{aligned}
 \text{Satuan Impuls I} &= \text{satuan gaya} \times \text{satuan waktu} \\
 \text{Satuan I} &= \text{newton} \times \text{sekon} \\
 &= \text{N} \cdot \text{s} \\
 &= \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{s} \\
 &= \text{kg} \cdot \text{m/s}
 \end{aligned}$$

Contoh Soal :

1. Sebuah bola bergerak dengan kecepatan 20 m/s kemudian dipukul dengan pemukul bola dengan gaya 2000 newton selama 0,001 sekon. Tentukan besarnya Impuls gaya pada bola.

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 v &= 20 \text{ m/s} \\
 F &= 2\,000 \text{ N} \\
 t &= 0,001 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Ditanya : I ?

Jawab :

Besarnya Impuls :

$$\begin{aligned}
 I &= F \cdot \Delta t \\
 &= 2000 \text{ newton} \times 0,001 \text{ sekon} \\
 &= 2 \text{ N.s}
 \end{aligned}$$

2. Sebuah benda bermassa 1 kg, sedang bergerak lurus beraturan dengan kecepatan 20 m/s tiba-tiba ada gaya yang bekerja pada benda searah dengan gerak benda sebesar 50 newton selama 0,2 detik. Tentukan:

Tentukan:

- Besarnya impuls gaya pada benda ?
- Momentum benda sebelum dan sesudah dikenai gaya ?
- Perubahan momentum ?

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 m &= 1 \text{ kg} & F &= 50 \text{ N} \\
 v &= 20 \text{ m/s} & t &= 0,2 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Ditanya : I? p<sub>1</sub>? p<sub>2</sub>? Δp?

Jawab:

- a. Besar impuls gaya

$$\begin{aligned}
 I &= F \cdot \Delta t \\
 &= 50 \text{ newton} \times 0,2 \text{ sekon} \\
 &= 10 \text{ N.s}
 \end{aligned}$$

b. Momentum bola sebelum dikenai gaya

$$\begin{aligned} \mathbf{p}_1 &= m \mathbf{v}_1 \\ &= 1 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} \\ &= 20 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

Untuk mencari momentum benda sesudah dikenai gaya dicari dahulu berapa besar kecepatan benda sesudah dikenai gaya.

Mula-mula benda bergerak lurus beraturan, setelah dikenai gaya benda bergerak GLBB selama 0,2 detik

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{F}{m} \\ &= \frac{50}{1} = 50 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_2 &= \mathbf{a} \cdot t + \mathbf{v}_1 \\ &= 50 \cdot 0,2 + 20 \\ &= 10 + 20 = 30 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Momentum benda setelah dikenai gaya

$$\begin{aligned} \mathbf{p}_2 &= m \mathbf{v}_2 \\ &= 1 \text{ kg} \cdot 30 \text{ m/s} \\ &= 30 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

c. Perubahan momentum

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{p} &= \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 \\ &= m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1 \end{aligned}$$

Arah kedua momentum sama, oleh karena itu

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{p} &= 30 \text{ kg m/s} - 20 \text{ kg m/s} \\ &= 10 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

perhatikan jawaban a dan c. hasilnya sama. Impuls gaya sama dengan perubahan momentum.

3. Sebuah bola pingpong bermassa 0,1 kg dipukul hingga melejit dengan kecepatan 50 m/s meninggalkan pemukulnya. Jika perbedaan waktu kontak antara pemukul dengan bola 0.002 s, berapakah gaya rata-rata yang dikerjakan pada pemukul ?

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 0,1 \text{ kg} \\ v_1 &= 0 \\ v_2 &= 50 \text{ m/s} \\ \Delta t &= 0,002 \text{ s} \end{aligned}$$



Ditanya : F?

Jawab :

Gaya rata-rata yang dikerjakan pemukul adalah :

$$\begin{aligned}
 I &= F \cdot \Delta t \\
 &= \mathbf{p_2 - p_1} \\
 F \cdot \Delta t &= m \mathbf{v_2} - m \mathbf{v_1} \\
 F &= \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} \\
 &= \frac{0,1(50 - 0)}{0.002} \\
 &= 2\,500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4. Sebuah bola basket bermassa 0.5 kg dilempar ke keranjangnya dengan kecepatan 5 m/s. Bola besentuhan dengan keranjang selama 0.001 s dan memantul dengan kecepatan 10 m/s. Berapah gaya rata – rata yang dialami bola tersebut ?

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 m &= 0,5 \text{ kg} \\
 v_1 &= 5 \text{ m/s} \\
 v_2 &= -10 \text{ m/s (arah pantul)} \\
 \Delta t &= 0,001 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Ditanya : F ?

Jawab :

Gaya rata-rata yang dialami bola adalah :

$$\begin{aligned}
 I &= F \cdot \Delta t \\
 &= \mathbf{p_2 - p_1} \\
 F \cdot \Delta t &= m \mathbf{v_2} - m \mathbf{v_1} \\
 F &= \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} \\
 &= \frac{0,5(-10 - 5)}{0.001} \\
 &= -7500 \text{ N (searah dengan arah pantul)}
 \end{aligned}$$

5. Sebuah kelereng bermassa 20 gr menumbuk dinding dengan kelajuan 60 m/s dengan sudut pantul 30° dan memantul dengan kecepatan dan sudut yang sama. Tentukan besar dan arah impuls yang terjadi pada benda tersebut ?

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 m &= 20 \text{ gr} &= 0,02 \text{ kg} \\
 v_1 = v_2 &= 60 \text{ m/s} \\
 \theta &= 30^\circ
 \end{aligned}$$

Ditanya : I ?       $\theta$  impuls?

Jawab :

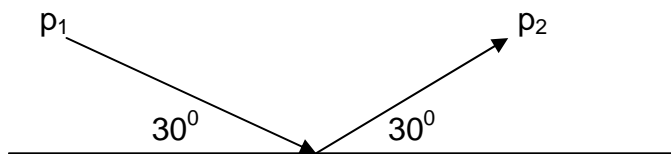
$$\begin{aligned}
 \text{Momentum awal} &= \text{Momentum akhir} \\
 p_2 &= p_1 \\
 &= p \\
 &= m \mathbf{v}_1 \\
 &= (0,02)(60) \\
 &= 1.2 \text{ kg.m/s}
 \end{aligned}$$

Gambar vektor I =  $p_2 - p_1$   
 pada gambar (b) dengan sudut :

$$\begin{aligned}
 \theta &= 180^\circ - 30^\circ - 30^\circ \\
 &= 120^\circ \\
 \text{Cos } 120^\circ &= -0,5
 \end{aligned}$$

Besarnya Impuls dihitung dengan rumus resultan :

$$\begin{aligned}
 I &= \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \theta} \\
 &= \sqrt{p^2 + p^2 + 2p \cos 120^\circ} \\
 &= \sqrt{p^2} \\
 &= \sqrt{1.2^2} \\
 &= 1.2 \text{ N.s}
 \end{aligned}$$

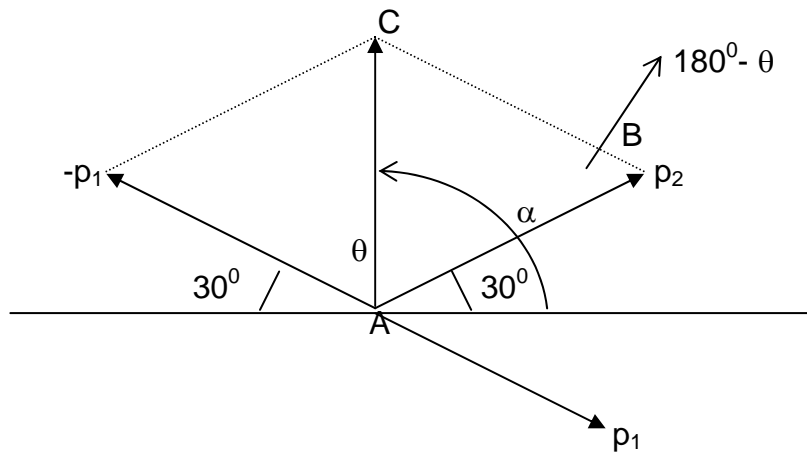


Gambar (a)

Arah impuls ( $\alpha$ ) dihitung dengan mempergunakan rumus sinus dalam segitiga ABC. Perhatikan gambar (b)

$$\begin{aligned}
 \frac{p_1}{\sin \angle BAC} &= \frac{I}{\sin(180 - \theta)} \\
 \sin \angle BAC &= \frac{p_1 \sin(180 - \theta)}{I} \\
 \sin \angle BAC &= \frac{p \sin(180 - \theta)}{p} \\
 \sin \angle BAC &= 180 - \theta \\
 &= 180^\circ - 120^\circ = 60^\circ
 \end{aligned}$$

Jadi  $\alpha = -\text{BAC} + 30^\circ = 90^\circ$ , membentuk sudut  $90^\circ$  terhadap sumbu X+



Gambar (b)

### 8.4. Impuls sama dengan perubahan Momentum

Sebuah benda bermassa  $m$  mula-mula bergerak dengan kecepatan  $\mathbf{v}_1$  dan kemudian pada benda bekerja gaya sebesar  $\mathbf{F}$  searah kecepatan awal selama  $\Delta t$ , dan kecepatan benda menjadi  $\mathbf{v}_2$ . Untuk menjabarkan hubungan antara Impuls dengan perubahan momentum, akan kita ambil arah gerak mula-mula sebagai arah positif dengan menggunakan Hukum Newton II.

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m \mathbf{a} \\ &= m (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) \Delta t \\ \mathbf{F} \Delta t &= m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1 \end{aligned}$$

Ruas kiri merupakan impuls gaya dan ruas kanan menunjukkan perubahan momentum. Impuls gaya pada suatu benda sama dengan perubahan momentum benda tersebut. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$\mathbf{F} \Delta t = m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1 \tag{8.6}$$

$$\begin{aligned} I &= \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 \\ I &= \Delta \mathbf{p} \end{aligned} \tag{8.7}$$

Contoh Soal :

1. Seorang anak menendang seongkah batu dalam keadaan diam (massa batu 2 kg) sehingga batu tersebut memperoleh kecepatan sebesar 20 m/s. kaki anak tersebut menyentuh batu selama 0,01 sekon. Hitung besar gaya yang bekerja pada batu tersebut, akibat tendangan anak tersebut.

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 2 \text{ kg} & v_0 &= 0 & v_1 &= 20 \text{ m/s} \\ \Delta t &= 0,1 \text{ s} \end{aligned}$$

Ditanya : F?

Jawab:

Ambil arah tendangan sebagai arah positif, oleh karena itu kecepatan batu setelah ditendang diambil positif (+)

Besar impuls gaya yang bekerja pada batu sama dengan perubahan momentum

$$\begin{aligned}
 \mathbf{F} \Delta t &= m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1 \\
 \mathbf{F} &= \frac{(m.v_2 - m.v_1)}{\Delta t} \\
 &= \frac{(2\text{kg} \times 20\text{m/s} - 2\text{kg} \cdot 0\text{m/s})}{0.01\text{s}} \\
 &= 4000 \text{ kg m/s}^2 \\
 &= 4000 \text{ newton}
 \end{aligned}$$

Arah gaya (+), berarti arah gaya searah dengan arah tendangan anak.

2. Energi kinetik suatu benda bermassa  $m$  dan bergerak dengan kecepatan  $v$  sebesar  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ . Nyatakan Energi kinetik tersebut dengan besarnya momentum.

Diketahui :

$$m = m$$

$$v = v$$

Ditanya : hubungan  $E_k$  dan  $p$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\
 &= \frac{1}{2}mv^2 \times \frac{m}{m} \\
 &= \frac{1}{2} \frac{m^2 v^2}{m} \\
 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{m}
 \end{aligned}$$

3. Sebuah bola bermassa 100 gram dijatuhkan dari ketinggian  $h_0 = 180$  cm di atas lantai. Setelah menumbuk lantai, bola memantul kembali setinggi  $h_1 = 125$  cm ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

Tentukan:

- Momentum bola sesaat sebelum menumbuk lantai
- Momentum bola sesaat setelah menumbuk lantai
- Gaya rata-rata pada bola, bila tumbukan berlangsung selama 0,01 sekon

Penyelesain :

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 100 \text{ gr} &= 0,1 \text{ kg} \\ h_0 &= 180 \text{ cm} &= 1,8 \text{ m} \\ h_1 &= 125 \text{ cm} &= 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya :  $p_0$ ?  $p_1$ ?  $F$ ?

Jawab

Untuk mencari momentum bola, harus terlebih dahulu dicari kecepatannya. Ambil arah ke bawah sebagai arah positif. Benda berada pada ketinggian  $h_0$  mempunyai energi potensial :

$$E_p = m g h_0$$

Benda bergerak ke bawah dan mengubah energi potensial menjadi energi kinetik.

$$E_k = \frac{1}{2} m v_0^2$$

Oleh karena itu :

$$m g h_0 = \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$\begin{aligned} v_0 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0} \\ &= \sqrt{(2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,8 \text{ m})} \\ &= 6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$v_0$  = kecepatan bola sesaat setelah menumbuk

Hal yang sama untuk benda setelah menumbuk lantai

$$\begin{aligned} m g h_1 &= \frac{1}{2} m v_1^2 \\ v_1 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} \\ &= \sqrt{(2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \times 1,25 \text{ m})} \\ &= 5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$v_1$  = kecepatan bola sesaat setelah menumbuk

maka :

a. momentum bola sesaat sebelum menumbuk lantai :

$$\begin{aligned} p_0 &= m v_0 \\ &= 0,1 \text{ kg} \times 6 \text{ m/s} \\ &= 0,6 \text{ kg m/s, (arah ke bawah)} \end{aligned}$$

b. momentum bola sesaat setelah menumbuk lantai:

$$\begin{aligned} p_1 &= m v_1 \\ &= 0,1 \text{ kg} (-5 \text{ m/s}) \\ &= -0,5 \text{ kg m/s, (arah ke atas)} \end{aligned}$$

c. besar gaya pada bola :

$$\begin{aligned} \mathbf{F} \Delta t &= m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{F} 0,01 \text{ s} &= 0,1 \text{ kg } (-5 \text{ m/s}) - 0,1 \text{ kg } (+6 \text{ m/s}) \\ \mathbf{F} 0,01 \text{ s} &= -0,5 \text{ kg m/s} - 0,6 \text{ kg m/s} \\ \mathbf{F} 0,01 \text{ s} &= -1,1 \text{ kg m/s} \\ \mathbf{F} &= -\frac{1,1}{0,01} \text{ kg.m/s}^2 \\ &= -110 \text{ kg m/s}^2 \text{ (arah keatas)} \end{aligned}$$

4. Sebuah bola dilempar menuju pemukul ke arah kanan dengan kecepatan 25 m/s, setelah dipukul bola menuju arah kekiri dengan kecepatan 20 m/s. Jika massa bola 0.2 kg, hitunglah :
- Impuls yang diterima bola ?
  - Berapakah gaya rata-rata yang diberikan pemukul ke bola jika pemukul dan bola bersentuhan selama 0.5 ms ?
  - Hitung percepatan rata-rata bola selama bersentuhan dengan kayu ?

Diketahui :

Kita tetapkan arah kekanan (+) dan kekiri (-)

Massa bola	$m$	$= 0.2 \text{ kg}$
Kecepatan awal	$v_1$	$= +25 \text{ m/s}$
Kecepatan akhir	$v_2$	$= -20 \text{ m/s}$
Selang waktu	$\Delta t$	$= 0.5 \text{ ms}$ $= 0.5 \times 10^{-3} \text{ s}$

Ditanya : I?F?a?

Jawab :

a. Impuls yang diterima bola :

$$\begin{aligned} I &= p_2 - p_1 \\ &= mv_2 - mv_1 \\ &= m(v_2 - v_1) \\ &= 0.2(-20 - 25) \\ &= 0.2(-45) \\ &= -9 \text{ N.s (arah kiri)} \end{aligned}$$

b. Selang waktu  $\Delta t = 0.5 \text{ ms} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ s}$   
Gaya rata-rata kayu pemukul terhadap bola :

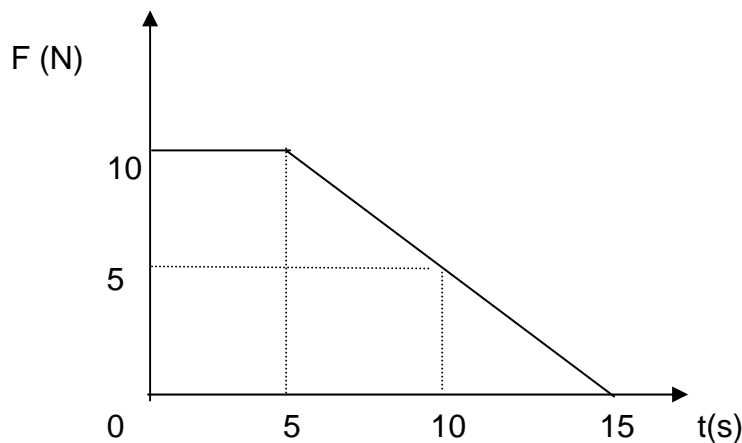
$$\begin{aligned} I &= F \cdot \Delta t \\ F &= \frac{I}{\Delta t} \\ &= \frac{-9 \text{ N.s}}{0.5 \times 10^{-3} \text{ s}} \\ &= -18 \text{ 000 N (arah kiri)} \end{aligned}$$

c. Percepatan rata-rata :

$$\begin{aligned}
 F &= m \cdot a \\
 a &= \frac{F}{m} \\
 &= \frac{-18000N}{0.2kg} \\
 &= -90\,000 \text{ m/s}^2 \text{ (arah kiri)}
 \end{aligned}$$

5. Gambar di bawah ini menunjukkan hubungan antara resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda terhadap waktu. Hitung perubahan momentum benda setelah :

a. 5 s ?    b. 10 s ?    c. 15 s ?



Jawab

Perubahan momentum sama dengan Impuls gaya. Berarti, perubahan momentumnya sama dengan luasan daerah pada kurva **F** sebagai fungsi t

a. perubahan momentum setelah 5 s sama dengan luas daerah I, yang merupakan trapesium dengan sisi – sisi 10 newton, dan lebar 5 s.

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi perubahan momentumnya} &= \text{Luas trapesium (daerah I)} \\
 &= \text{tingga} \times \text{lebar} \\
 &= 10 \times 5 \\
 &= 50 \text{ kg m/s}
 \end{aligned}$$

b. perubahan momentum setelah 10 s

$$\begin{aligned}
 \Delta I &= \text{Luas daerah I} + \text{Luas daerah II} \\
 \text{Luas daerah II} &= (5 \times 5) + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 5 \\
 &= 37,5 \text{ kg m/s}
 \end{aligned}$$

Jadi perubahan momentum setelah : 10 s

$$= 50 \text{ kg m/s} + 37.5 \text{ kg m/s}$$

$$= 87,5 \text{ kg m/s}$$

c. perubahan momentum setelah 15 s

$$\Delta I = \text{Luas daerah I} + \text{Luas daerah II} + \text{Luas daerah III}$$

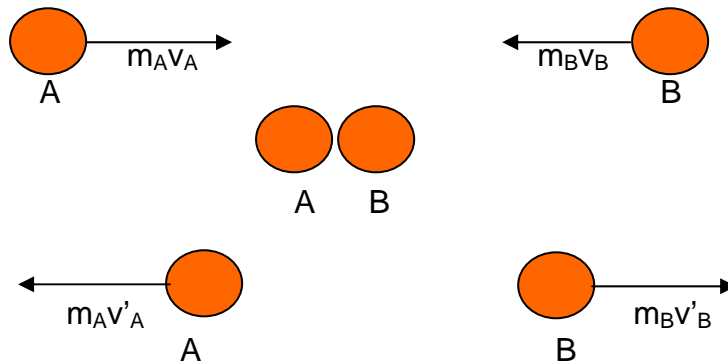
$$= 50 \text{ kg m/s} + 37,5 \text{ kg m/s} + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 5 \text{ kg m/s}$$

$$= 50 \text{ kg m/s} + 37,5 \text{ kg m/s} + 12,5 \text{ kg m/s}$$

$$= 100 \text{ kg m/s}$$

### 8.5 Tumbukan dan Hukum Kekekalan Momentum

Pada sebuah tumbukan selalu melibatkan paling sedikit dua buah benda. Misal bola biliar A dan B. Sesaat sebelum tumbukan bola A, bergerak mendatar ke kanan dengan momentum  $m_A v_A$ , dan bola B bergerak ke kiri dengan momentum  $m_B v_B$



Gambar 8.3 Tumbukan dua buah benda

Momentum sebelum tumbukan adalah :

$$p = m_A v_A + m_B v_B$$

dan momentum sesudah tumbukan

$$p' = m_A v'_A + m_B v'_B$$

Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka pada momentum juga berlaku hukum kekekalan dimana momentum benda sebelum dan sesudah tumbukan sama. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa

Pada peristiwa tumbukan, jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan tetap asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda tersebut.

Pernyataan ini yang dikenal sebagai Hukum Kekekalan Momentum Linier. Secara matematis untuk dua benda yang bertumbukan dapat dituliskan



$$\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B = \mathbf{p}_A' + \mathbf{p}_B'$$

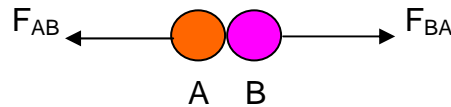
atau

$$m_A \mathbf{v}_A + m_B \mathbf{v}_B = m_A \mathbf{v}_A' + m_B \mathbf{v}_B' \quad 8.8$$

$\mathbf{p}_A, \mathbf{p}_B$  = momentum benda A dan B sebelum tumbukan  
 $\mathbf{p}_A', \mathbf{p}_B'$  = momentum benda A dan B sesudah tumbukan  
 perlu diingat bahwa penjumlahan di atas adalah penjumlahan vector

### 8.5.1 Menurunkan hukum kekekalan momentum dengan menggunakan Hukum Newton III

Perhatikan gambar berikut :



Pada tumbukan dua buah benda selama benda A dan B saling kontak maka benda B mengerjakan gaya pada bola A sebesar  $F_{AB}$ . Sebagai reaksi bola A mengerjakan gaya pada bola B sebesar  $F_{BA}$ . Kedua gaya sama besar tapi berlawanan arah dan sama besar (Hukum Newton III). Secara matematis dapat ditulis

$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$$

Kedua gaya ini terjadi dalam waktu yang cukup singkat yaitu  $\Delta t$ . Bila kedua ruas dikali dengan  $\Delta t$  akan diperoleh

$$\mathbf{F}_{AB} \Delta t = -\mathbf{F}_{BA} \Delta t \quad 8.9$$

Ruas kiri dan kanan merupakan besaran Impuls gaya.

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_B &= -\mathbf{I}_A \\ \Delta \mathbf{p}_B &= -\Delta \mathbf{p}_A \\ (\mathbf{p}_B' - \mathbf{p}_B) &= -(\mathbf{p}_A' - \mathbf{p}_A) \\ m_B \mathbf{v}_B' + m_B \mathbf{v}_B &= m_A \mathbf{v}_A' + m_A \mathbf{v}_A \\ m_A \mathbf{v}_A + m_B \mathbf{v}_B &= m_A \mathbf{v}_A' + m_B \mathbf{v}_B' \\ \mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B &= \mathbf{p}_A' + \mathbf{p}_B' \end{aligned} \quad 8.10$$

Jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan sama. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum kekekalan Momentum Linear.

Contoh Soal :

1. Seorang penembak amatir memegang senapan dengan bebas (tidak dipegang erat-erat) yang bermassa 4 kg dan menembakkan peluru bermassa 5 gram dan keluar dari senapan dengan kecepatan 300 m/s. tentukan hentakan senapan ketika peluru ditembakkan.

Diketahui:

Pada peristiwa ini dianggap terjadi tumbukan antara peluru dan senapan dan berlaku hukum kekekalan momentum.

Ambil arah gerak keluarnya peluru sebagai arah positif. Benda 1 adalah senapan dan benda 2 adalah peluru. Mula-mula kecepatan senapan dan peluru sama dengan nol, oleh karena itu :

Diketahui :

$$\begin{aligned} m_1 &= 4 \text{ kg} \\ m_2 &= 5 \text{ gr} = 0,005 \text{ kg} \\ v_1 &= 0 \\ v_2 &= 0 \\ \mathbf{v}_2^I &= 300 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ditanya :  $v_1^I$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned} m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 &= m_1 \mathbf{v}_1^I + m_2 \mathbf{v}_2^I \\ 4 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} + 0,005 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} &= 4 \text{ kg} \mathbf{v}_1^I + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\ 0 + 0 &= 4 \text{ kg} \mathbf{v}_1^I + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\ 4 \text{ kg} \mathbf{v}_1^I &= -0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\ \mathbf{v}_1^I &= -1,5/4 \text{ m/s} \\ &= -0,375 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Tanda (-) menyatakan bahwa kecepatan hentakan senapan berlawanan arah dengan arah kecepatan peluru keluar.

2. Seorang nelayan yang bermassa 50 kg, menaiki sebuah perahu yang bergerak ke timur dengan kecepatan 2 m/s. massa perahu 250 kg. Tentukan kecepatan perahu jika
  - a. Orang tersebut meloncat ke depan (searah gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.
  - b. Orang tersebut meloncat ke belakang (berlawanan dengan gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.
  - c. Orang tersebut meloncat ke utara (tegak lurus gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.

Diketahui :

Karena penjumlahan pada hukum kekekalan momentum merupakan penjumlahan vektor, maka harus ditentukan terlebih dahulu arah positif yang kita ambil. Ambil arah gerak perahu (ke timur) sebagai arah positif.

- $m_1$  dan  $m_2$  = massa perahu dan orang
- $v_1$  dan  $v_2$  = kecepatan perahu dan orang, sebelum orang loncat
- $v_1^1$  dan  $v_2^1$  = kecepatan perahu dan orang, sesudah orang loncat

Jawab :

- a. Jika orang meloncat ke depan dengan kecepatan 4 m/s  
Kecepatan orang meloncat diberi tanda negatif karena berlawanan dengan arah positif yang kita ambil.

$$\begin{aligned} m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1^1 + m_2 v_2^1 \\ 250 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} &= 250 \text{ kg} v_1^1 + 50 \text{ kg} (-4) \text{ m/s} \\ 600 \text{ kg m/s} &= 250 \text{ kg} v_1^1 - 200 \text{ kg m/s} \\ v_1^1 &= \frac{400}{250} \text{ m/s} \\ &= 1,6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

searah dengan arah gerak mula-mula

- b. Jika orang meloncat ke belakang dengan kecepatan 4 m/s

$$\begin{aligned} M_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1^1 + m_2 v_2^1 \\ 250 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} &= 250 \text{ kg} v_1^1 + 50 \text{ kg} (-4) \text{ m/s} \\ 600 \text{ kg m/s} &= 250 \text{ kg} v_1^1 - 200 \text{ kg m/s} \\ v_1^1 &= \frac{800}{250} \text{ m/s} \\ &= 3,2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

searah dengan arah gerak mula-mula

- c. Jika orang meloncat ke utara dengan kecepatan 4 m/s  
Untuk menyelesaikan masalah ini, kita gunakan hukum kekekalan momentum pada arah x (barat ke timur) dan y (selatan – utara)  
Kecepatan orang meloncat diberi tanda negatif kerana berlawanan dengan arah positif yang kita ambil

Pada arah x :

$$\begin{aligned} m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} &= m_1 v_{1x}^1 + m_2 v_{2x}^1 \\ 250 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} &= 250 \text{ kg} v_{1x}^1 + 50 \text{ kg} (-4) \text{ m/s} \\ 600 \text{ kg m/s} &= 250 \text{ kg} v_{1x}^1 \\ v_{1x}^1 &= \frac{600}{250} \text{ m/s} \\ &= 2,4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Searah dengan arah gerak mula-mula. Arah ini merupakan komponen kecepatan perahu pada arah x.

Pada arah y: ambil arah utara sebagai arah positif

$$\begin{aligned}
 m_1 \mathbf{v}_{1y} + m_2 \mathbf{v}_{2y} &= m_1 \mathbf{v}_{1y}^I + m_2 \mathbf{v}_{2y}^I \\
 250 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} &= 250 \text{ kg} \mathbf{v}_{1y}^I + 50 \text{ kg} \cdot 4 \text{ m/s} \\
 &= 250 \text{ kg} \mathbf{v}_{1y}^I - 200 \text{ kg m/s} \\
 \mathbf{v}_{1y}^I &= \frac{-200}{250} \text{ m/s} \\
 &= -0,8 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Arah ke selatan berlawanan arah dengan gerak loncat orang. Arah ini merupakan komponen kecepatan perahu pada arah y.

Kecepatan perahu  $\mathbf{v}_1^I$  merupakan resultan dari kedua komponen tersebut

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{v}_1^I)^2 &= (\mathbf{v}_{1x}^I)^2 + (\mathbf{v}_{1y}^I)^2 \\
 &= (2,4 \text{ m/s})^2 + (0,8 \text{ m/s})^2 \\
 (\mathbf{v}_1^I)^2 &= 6,4 \\
 \mathbf{v}_1^I &= 2,53 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3. Sebuah peluru pecah menjadi dua bagian dengan perbandingan 2:5, sesaat sesudah ledakan bagian yang lebih kecil terlempar dengan kecepatan 25 m/s. Dengan kecepatan berapah bagian yang lebih besar terlempar ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 m_1 : m_2 &= 2 : 5 \\
 \text{berarti } m_1 &= 2 \text{ m} \\
 m_2 &= 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{kecepatan kekiri (-) } v_1 = -25 \text{ m/s}$$

Momentum peluru sebelum pecah :

$$\begin{aligned}
 p &= (m_1+m_2)v \quad (v=0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Momentum kedua benda sesudah tumbukan :

$$\begin{aligned}
 p_1^I &= m_1 v_1^I \\
 &= 2 \text{ m}(-25) \\
 &= -50 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_2^I &= m_2 v_2^I \\
 &= 5 \text{ m} \cdot v_2^I \quad (v_2^I \text{ yang ditanyakan})
 \end{aligned}$$

Hukum kekekalan momentum :

$$\begin{aligned}
 p_1 + p_2 &= p_1^l + p_2^l \\
 0 &= -50.m + 5.m v_2^l \\
 50.m &= 5.m v_2^l \\
 v_2^l &= +10 \text{ m/s ( bergerak kearah kanan) }
 \end{aligned}$$

### 8.6 Jenis-jenis Tumbukan

Jika ada dua benda yang bertumbukan dan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda, maka berlaku hukum kekekalan momentum. Akan tetapi energi kinetik totalnya biasanya berubah. Hal ini akibat adanya perubahan energi kinetik menjadi bentuk kalor dan atau bunyi pada saat tumbukan. Jenis tumbukan ini disebut *tumbukan tidak lenting sebagian*. Bila setelah tumbukan kedua benda bergabung, disebut *tumbukan tidak lenting sempurna*. Ada juga tumbukan dengan energi kinetik total tetap. Tumbukan jenis ini disebut *tumbukan lenting (sempurna)*. Jadi secara garis besar jenis-jenis tumbukan dapat diklasifikasikan ke dalam:

1. Tumbukan lenting (sempurna)
2. Tumbukan tidak lenting sebagian
3. Tumbukan tidak lenting sempurna

#### 1. Tumbukan Lenting (sempurna)

Pada tumbukan lenting sempurna berlaku

- a. Hukum kekekalan momentum
- b. Hukum kekekalan Energi Kinetik

Bila kita uraikan dari kedua syarat

- a. Hukum kekekalan momentum

$$\begin{aligned}
 m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 &= m_1 \mathbf{v}_1^l + m_2 \mathbf{v}_2^l \\
 m_1 \mathbf{v}_1 - m_1 \mathbf{v}_1^l &= m_2 \mathbf{v}_2^l - m_2 \mathbf{v}_2 \\
 m_1 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_1^l) &= m_2 (\mathbf{v}_2^l - \mathbf{v}_2) \quad (*) \quad (8.10)
 \end{aligned}$$

- b. Hukum kekekalan energi kinetik

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 &= \frac{1}{2} m_1 v_1^{l2} + \frac{1}{2} m_2 v_2^{l2} \\
 m_1 \mathbf{v}_1^2 - m_1 \mathbf{v}_1^{l2} &= m_2 \mathbf{v}_2^{l2} - m_2 \mathbf{v}_2^2 \\
 m_1 (\mathbf{v}_1^2 - \mathbf{v}_1^{l2}) &= m_2 (\mathbf{v}_2^{l2} - \mathbf{v}_2^2) \\
 m_1 (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_1^l) (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_1^l) &= m_2 (\mathbf{v}_2^l + \mathbf{v}_2) (\mathbf{v}_2^l - \mathbf{v}_2) \quad (**) \quad (8.11)
 \end{aligned}$$

bila persamaan (\*\*) dibagi dengan persamaan (\*) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_1^l) &= (\mathbf{v}_2^l + \mathbf{v}_2) \\
 \text{atau} \\
 (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) &= - (\mathbf{v}_2^l - \mathbf{v}_1^l) \quad (8.12)
 \end{aligned}$$

Dengan kata lain kecepatan relatif kedua benda sebelum tumbukan sama dengan harga minus dari kecepatan relatif kedua benda setelah tumbukan.

Untuk keperluan lebih lanjut didefinisikan  $e = \frac{-(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)}$  (8.13)

berlaku jika  $v_1, v_1', v_2, v_2'$  pada satu arah sumbu yang sama.

Harga  $v$  yang dimasukkan disini harus memperhatikan arah (tanda + atau -)

$e$  ini yang kemudian disebut koefisien restitusi

Untuk tumbukan lenting (sempurna)	$e = 1$
Untuk tumbukan tidak lenting sebagian	$0 < e < 1$
Untuk tumbukan tidak lenting sempurna	$e = 0$

### 2. Tumbukan Tidak Lenting Sebagian

Pada jenis tumbukan ini berlaku Hukum kekekalan momentum dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik karena terjadi perubahan  $E_k$ . koefisien restitusi  $e$  adalah pecahan.

Hukum kekekalan momentum

dan  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$   
 $0 < e < 1$

Tidak berlaku hukum kekekalan energi, berarti ada energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan sebesar  $\Delta E_k$ .

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2\right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2\right) \quad (8.14)$$

### 3. Tumbukan Tidak Lenting Sempurna

Pada jenis tumbukan ini berlaku Hukum kekekalan momentum dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik karena terjadi perubahan  $E_k$ . koefisien restitusi  $e = 0$ .

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

$$0 = -(v_2' - v_1')$$

$$v_1' = v_2' \quad (8.15)$$

kecepatan akhir kedua benda sama dan searah. Berarti kedua benda bergabung dan bergerak bersama-sama.

Besar energi kinetik yang hilang  $\Delta E_k$

$$\Delta E_k = \left( \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left( \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \right) \quad (8.16)$$

dimana :  $v_1' = v_2'$

Contoh Soal :

1. Dua buah benda A dan B masing-masing bermassa 2 kg dan 4 kg bergerak saling mendekat dengan kecepatan berturut-turut 4 m/s dan 3 m/s. Setelah tumbukan, massa A bergerak berlawanan dengan arah semula dengan kecepatan 5 m/s. tentukan:
  - a. Kecepatan benda B setelah tumbukan
  - b. Koefisien restitusinya
  - c. Energi kinetik sistem yang hilang selama tumbukan

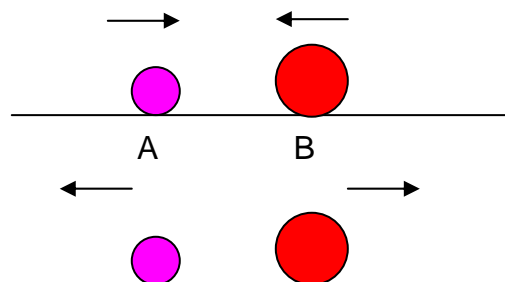
Diketahui :

$$\begin{aligned} m_A &= 2 \text{ kg} & v_A' &= -5 \text{ m/s} \\ m_B &= 4 \text{ kg} \\ v_A &= 4 \text{ m/s} \\ v_B &= -3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ditanya :  $v_B'$ ?  $e$ ?  $\Delta E_k$ ?

Jawab :

Ambil arah kekanan sebagai arah positif



- a. Kecepatan benda B setelah tumbukan:

$$\begin{aligned} m_A v_A + m_B v_B &= m_A v_A' + m_B v_B' \\ 2 \text{ kg} \cdot 4 \text{ m/s} + 4 \text{ kg} \cdot (-3 \text{ m/s}) &= 2 \text{ kg} (-5 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} v_B' \\ 4 \text{ kg} v_B' &= 6 \text{ kg m/s} \\ v_B' &= 1,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Tanda positif menyatakan bahwa arah kecepatan benda B setelah tumbukan ke kanan

b. Koefisien restitusi e

Ambil arah ke kanan sebagai arah positif

$$e = \frac{-(v'_B - v'_A)}{(v_B - v_A)}$$

pada rumus ini, harus diperhatikan tanda (+) atau (-) pada kecepatan.

$$e = \frac{-(1.5 - (-5))}{(-3 - 4)} = 0,93$$

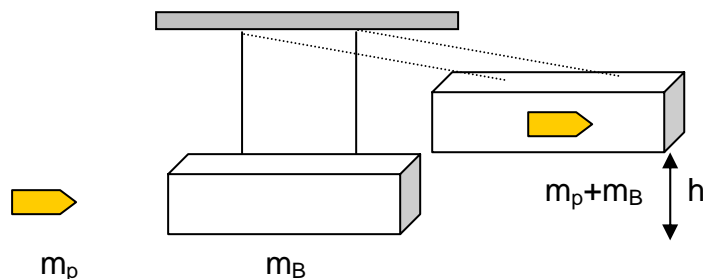
perhatikan tanda sistem plus dan minusnya

c. Energi kinetik yang hilang selama tumbukan

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 3^2\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 1,5^2\right) \\ &= 34 - 29,5 \\ &= 4,5 \text{ joule} \end{aligned}$$

2. Sebutir peluru ditembakkan dengan kelajuan  $v_0$  m/s, pada sebuah ayunan balistik. Peluru tertanam di dalam balok dan balok terayun setinggi 5 cm. Jika massa peluru 20 gram dan massa balok 2 kg, serta  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup>. Hitung

- $v_0$
  - Kecepatan balok sesaat setelah peluru mengenai ayunan
- Diketahui :



- Massa peluru :  $m_p = 0,02$  kg  
 Massa balok :  $m_B = 2$  kg  
 $h = 0,05$  m

Ditanya :  $v_0$ ?  $v_B$ ?



Jawab :

Pada saat menumbuk balok, berlaku hukum kekekalan momentum. Peluru bersarang dibalok, oleh karena itu kecepatan balok dan peluru setelah tumbukan sama :

$$\begin{aligned} m_p \mathbf{v}_p + m_B \mathbf{v}_B &= m_p \mathbf{v}_p' + m_B \mathbf{v}_B' \\ 0,02 \text{ kg} \cdot v_0 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} &= 0,02 \text{ kg} \mathbf{v}_p' + 2 \text{ kg} \mathbf{v}_B' \end{aligned}$$

Balok terayun/terangkat setinggi  $h = 0,05 \text{ m}$

Jumlah energi kinetik dan energi potensial dititik A dan B sama (Hukum kekekalan energi)

Ambil titik A sebagai bidang potensial nol. Maka dengan memasukkan harga  $h_A = 0$ ,  $v_A = 0$ ,  $v_B = 0,05 \text{ m/s}$ , dan  $h_B = 0$  ke dalam persamaan kekekalan energi mekanik.

$$\begin{aligned} mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 &= mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2 \\ -\frac{1}{2}mv_A^2 &= gh_B \\ v_A^2 &= 2gh_B \\ v_A^2 &= 2(9,8)(0,05) \\ &= 0,98 \\ v_A &= \sqrt{0,98} \\ &= 0,99 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kecepatan ini sama dengan kecepatan balok dan sesaat setelah peluru bersarang di balok. Dengan memasukkan harga tersebut ke hukum kekekalan momentum.

$$\begin{aligned} 0,02 \text{ kg} \cdot v_0 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} &= 0,02 \text{ kg} \mathbf{v}_p' + 2 \text{ kg} \mathbf{v}_B' \\ 0,02 \text{ kg} \cdot v_0 \text{ m/s} &= 0,02 \text{ kg} \cdot 0,99 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \cdot 0,99 \text{ m/s} \\ v_0 &= 99,99 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. kecepatan balok sesaat setelah peluru mengenai balok

$$\begin{aligned} v_A &= v_B \\ &= \sqrt{0,98} \\ &= 0,99 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Balok dengan massa 5 kg, mula-mula diam, ditembak oleh sebutir peluru yang bermassa 50 gr, peluru tertanam didalam balok. Jika energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan adalah 750 J. hitunglah kecepatan peluru menumbuk balok ?

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Massa peluru} \quad m_1 &= 50 \text{ gr} = 0,05 \text{ kg} \\ \text{Masa balok} \quad m_2 &= 5 \text{ kg} \quad v_2 = 0 \text{ (karena balok diam)} \end{aligned}$$

$$\Delta E_k = 750 \text{ J}$$

Energi kinetik yang hilang pada saat tumbukan :

$$\Delta E_k = E_k - E_k^I$$

Energi kinetik sebelum tumbukan :

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.05) v_1^2 + \frac{1}{2} (5)(0) \\ &= 0.025 v_1^2 \end{aligned}$$

Energi kinetik setelah tumbukan :

$$\begin{aligned} E_k^I &= \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.05) v^2 + \frac{1}{2} (5) v^2 \\ &= 0.025 v^2 + 2.5 v^2 \\ &= 2.525 v^2 \end{aligned}$$

( $v_1=v_2= v$  ) karna peluru tertanam dalam balok

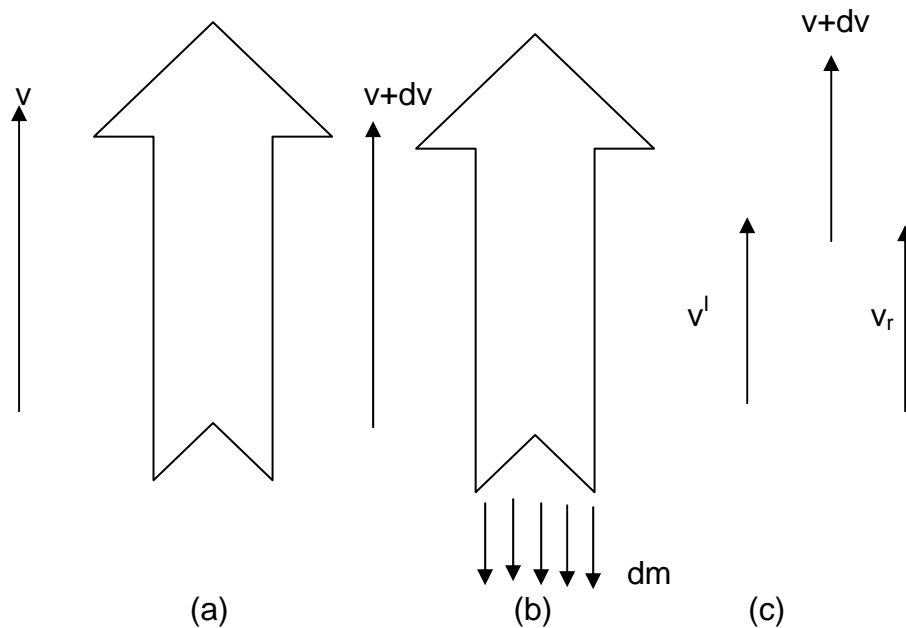
Hukum kekekalan momentum memberikan :

$$\begin{aligned} m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1^I + m_2 v_2^I \\ 0.05 v_1 + 0 &= 0.05 v^I + 5 v^I \\ 0.05 v_1 &= 5.05 v^I \\ v^I &= 0.0099 v_1 \\ \Delta E_k &= E_k - E_k^I \\ 750 &= 0.025 v_1^2 - 2.525 v^2 \\ 750 &= 0.025 v_1^2 - 2.525(0.0099 v_1)^2 \\ &= 0.02475 v_1^2 \\ 0.02475 v_1^2 &= 750 \\ v_1^2 &= 30299.939 \\ v_1 &= 550.445 \text{ m/s} \end{aligned}$$

### 8.7. Prinsip Peluncuran Roket

Bila kita meniup balon, kemudian balon dilepaskan, akan kita amati bahwa balon tersebut akan terdorong ke arah yang berlawanan dari arah udara yang keluar dari balon. Prinsip terdorongnya roket akibat pancaran bahan bakar yang terbakar keluar, mirip dengan terdorongnya balon tersebut.

Bahan bakar yang ada di roket terbakar dan keluar/menyembur, mengakibatkan roket terdorong ke atas. Gaya rata-rata yang dikerjakan gas pada roket disebut gaya dorong. Pada roket ini momentum sistem sebelum dan sesudah gas keluar tetap, dengan kata lain berlaku hukum kekekalan momentum



Agar supaya ketinggian yang dicapai roket makin besar, biasanya dipakai roket dengan beberapa tingkat. Perhatikan gambar (a),(b) dan (c)

Pada gambar (a) : menunjukkan sebuah roket yang terbang vertikal keatas dengan kecepatan  $v$ , massa mula-mula  $m$

Pada gambar (b) : setelah waktu  $\Delta t$ , bahan bakar keluar sebanyak  $dm$ , kecepatan gas relatif terhadap bumi  $v'$ , dan relatif terhadap roket  $v_r$ ,

Pada momentum berlaku :

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

$$F \cdot \Delta t = p_{\text{sesudah gas keluar}} - p_{\text{sebelum gas keluar}}$$

$$= (m-dm)(v+dv) + v'dm - mv$$

$$= mv + mdv - vdm - dmdv + v'dm - mv$$

$$= mdv + dm(v' - v), \text{ karena } dmdv \text{ mendekati nol}$$

lihat gambar (c)

$$v_r = v' - v$$

$$v' = v_r + v$$

sehingga :

$$F \cdot \Delta t = mdv + dm(v_r + v - v)$$

$$= mdv + v_r dm$$

$$\frac{mdv}{dt} = F - v_r \frac{dm}{dt}$$

Secara matematis besarnya gaya dorong dapat ditulis sebagai

$$F = v_r \cdot \frac{dm}{dt} \tag{8.17}$$

$F$  = gaya dorong (newton)

$v_r$  = kecepatan semburan gas relatif terhadap roket (m/s)

$$\frac{dm}{dt} = \text{laju massa gas buang (kg/s)}$$

Jika masa roket mula-mula  $m_0$  dan kecepatan awal  $v_0 = 0$ , setelah bahan bakar roket habis massa roket  $m_a$ , serta kecepatan roket  $v_a$ , maka secara matematis hubungan besar-besaran tersebut adalah

$$m_a = m_0 e^{\frac{-v_a}{v_r}} \quad (8.18)$$

Contoh soal

1. Sebuah roket mempunyai berat 15.000 kg sebelum bahan bakar dinyalakan. Setelah bahan bakar habis beratnya 5000 kg. Bahan bakar terbakar keluar dengan kelajuan massanya 146 kg/s dan kecepatan semburan gasnya = 1500m/s relatif roket. Anggap kecepatan tersebut konstan selama bahan bakar terbakar. Hitunglah :

- Besar gaya dorong roket
- Besar kecepatan roket setelah bahan bakar habis

Diketahui :

$$m_0 = 15\,000 \text{ kg}$$

$$m_a = 5\,000 \text{ kg}$$

$$v_r = 1\,500 \text{ m/s}$$

$$\frac{dm}{dt} = 146 \text{ kg/s}$$

Ditanya :  $F$ ?  $v_a$ ?

Jawab

- Besar gaya dorong roket rata-rata

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= v_r \cdot \frac{dm}{dt} \\ &= 1500 \text{ m/s} \times 146 \text{ kg/s} \\ &= 219.000 \text{ newton} \end{aligned}$$

- Besar kecepatan akhir roket  $v_a$  (setelah bahan bakar habis)

$$\begin{aligned} m_a &= m_0 e^{\frac{-v_a}{v_r}} \\ \mathbf{v}_a &= -v_{rel} \ln \frac{m_a}{m_0} \\ &= -1500 \ln \left( \frac{5000}{15000} \right) \\ &= -1.500 \ln \left( \frac{1}{3} \right) \\ &= -1.500 (-1,0986) \\ &= 1648 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. Gas buang roket keluar dengan laju massa 100 kg/s. Kecepatan semburan gas adalah 250 km/s. Hitunglah gaya maju pada roket ?

Diketahui :

$$\frac{dm}{dt} = 100 \text{ kg/s}$$

$$v = 250 \text{ km/s}$$

Ditanya : F ?

Jawab :

Impuls sama dengan besarnya perubahan momentum :

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

$$= \Delta p$$

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

Hasilkali :  $\frac{dm}{dt}$  dan  $v$  adalah :

$$\frac{dm}{dt} v = \frac{dmv}{dt}$$

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

$$\text{Jadi } F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$= \frac{dm}{dt} v$$

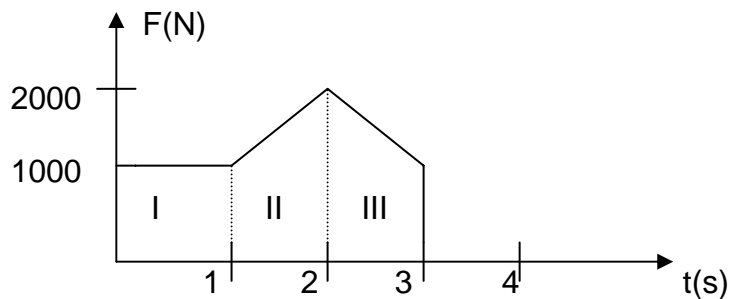
$$= (100)(250)$$

$$= 25\,000 \text{ N}$$

**Soal – soal :**

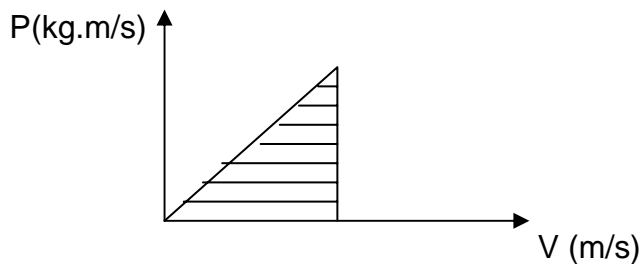
1. Partikel bermassa  $m$  (skalar) bergerak dengan kecepatan  $\mathbf{v}$  (vektor) mempunyai momentum  $\mathbf{p}$  (vektor). Arah momentum  $\mathbf{p}$  selalu searah dengan arah  $v$ . Jelaskan !
2. Momentum sebuah mobil yang melakukan gerak melingkar beraturan dengan kelajuan tetap, selalu berubah. Jelaskan !
3. Perubahan momentum persatuan waktu mempunyai dimensi sama dengan gaya. Buktikan!
4. Dua benda yang bergerak saling mendekat, bertumbukan sentral. Energi kinetik total sistem berubah menjadi nol. Berarti kedua benda berhenti. Apakah hal ini mungkin terjadi?
5. Pada saat orang menembak dengan menggunakan senapan, kita amati bahwa orang tersebut tersentak ke belakang. Mengapa?
6. Dengan impuls yang sama anda menendang bola kaki dan batu bermassa sama. Anda merasakan lebih sakit menendang batu. Jelaskan!
7. Jika energi kinetik suatu benda tetap, belum tentu momentum linearnya tetap. Jelaskan!
8. Tentukan momentum dari: Sebuah mobil bermassa 2000 kg yang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam !
9. Besar suatu gaya mendatar adalah  $F = 50 + 2t$  bekerja pada sebuah benda dalam selang waktu  $t = 0$  s sampai  $t = 4$  s. Dimana  $t$  dalam s dan  $F$  dalam N.
  - a. Buatlah grafik  $F$  terhadap  $t$  untuk  $t = 0$  s sampai  $t = 4$  s
  - b. Hitunglah impuls yang dikerjakan oleh gaya  $F$  pada benda dengan mempergunakan grafik dari soal a ?
  - c. Jika akibat gaya ini benda mendapat kecepatan sebesar 50 m/s berapakah massa benda tersebut ?
10. Sebuah mobil tangki bensin bermassa  $2 \times 10^4$  kg yang bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Berapakah gaya yang dikerjakan oleh mobil tersebut ?
11. Sebuah elektron bermassa  $9 \times 10^{-31}$  kg yang bergerak dengan kecepatan  $3 \times 10^6$  m/s. Berapakah momentum dari elektron tersebut ?

12. Sebanyak  $10^{23}$  butir elektron tiap 0.1 s menumbuk layar monitor komputer dengan kecepatan rata-rata  $10^8$  m/s. Berapakah gaya yang dikerjakan oleh elektron tersebut (massa 1 elektron  $9 \times 10^{-31}$  kg) ?
13. Sebuah mobil dengan massa 500 kg bergerak lurus dengan kecepatan 36 m/s. Setelah beberapa saat bergerak, mobil tersebut menumbuk sebuah tembok dan langsung berhenti. Hitunglah :
- Momentum mobil sebelum menumbuk ?
  - Momentum mobil setelah menumbuk ?
  - Perubahan momentum sesudah dan sebelum menumbuk ?
14. Resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda ditunjukkan oleh grafik dibawah ini. Tentukanlah perubahan momentum benda setelah :
- 1 s
  - 2 s
  - 3 s



15. Sebuah peluru bermassa 10 gr ditembakkan dari sebuah senapan bermassa 2 kg dengan kecepatan 500 m/s. Hitunglah :
- Kecepatan senapan mendorong bahu penembak ?
  - Jika dorongan senapan dapat dihentikan pada jarak 4 m berapakah gaya rata-rata yang dikerjakan senapan pada bahu penembak ?
16. Sebuah bola bermassa 5 kg diberi gaya sebesar 15 N sehingga kecepatannya bertambah dari 12 m/s menjadi 20 m/s. Hitunglah :
- Impuls yang terjadi pada benda tersebut ?
  - Waktu yang dibutuhkan oleh gaya untuk beraksi ?
17. Seorang atlet menembak menembakkan peluru sebanyak 5 butir setiap detik . Kecepatan peluru keluar dari ujung senapan adalah 1500 m/s. Jika massa setiap peluru adalah 25 gr, berapakah gaya rata-rata yang dikerjakan senapan pada atlet tersebut ?
18. Sebuah benda meledak menjadi dua bagian, bagian pertama mendapat energi kinetik 4 kali dari bagian kedua. Berapakah perbandingan massa bagian pertama dan kedua, jika sebelum meledak benda berada pada keadaan diam?
19. Perbandingan massa dua pecahan sebuah granat yang meladak adalah 4 : 2 dan ternyata bagian yang massanya lebih kecil terpejal dengan kecepatan 50 m/s. Hitunglah :

- a. Kecepatan benda yang mempunyai massa lebih besar ?  
 b. Perbandingan anergi kinetik kedua benda tersebut ?
20. Sebuah perahu berisi satu orang penumpang massa orang 50 kg dan massa perahu 500 kg bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Pada suatu sa'at penumpangnya meloncat dari perahu dengan kecepatan 3 m/s terhadap perahu. Hitunglah kecepatan perahu sesa'at setelah penumpangnya meloncat jika :
- a. Meloncat searah perahu ?  
 b. Meloncat berlawanan arah dengan perahu ?
21. Sebuah perahu dayung berisi dua orang atlet massa perahu beserta kedua orang atlet adalah 250 kg, perahu bergerak keutara dengan kecepatan 5 m/s. Massa setiap atlet adalah 50 kg. Berapakah kecepatan perahu sesaat sesudah :
- a. Seorang atlet melompat dari perahu kearah selatan ?  
 b. Seorang pria meloncat kerah timur dengan kecepatan 2.5 m/s ?  
 c. Seorang pria meloncat kearah utara dengan kecepatan 5 m/s ?
22. Grafik yang menyatakan hubungan antara P dan V seperti gambar di bawah ini



Gambar

Luasan yang diarsir menunjukkan harga besaran energi kinetik. Buktikan!

23. Sebuah peluru dengan massa 10 gr ditembakkan dengan kecepatan 750 m/s mengenai dan menembus balok yang bermassa 75 kg yang diam diatas bidang datar yang licin. Kecepatan peluru setelah menembus balok adalah 75 m/s. Berapakah kecepatan balok karena tertembus peluru ?
24. Sebuah bola bermassa 0.5 kg menumbuk lenting sempurna sebuah bola lain yang mula-mula diam. Sesudah tumbukan bola kedua bergerak dengan kelajuan seperempat kelajuan awal bola pertama. Tentukanlah :
- a. Massa bola kedua ?  
 b. Berapa energi kinetik yang dipindahkan kebola kedua ?



25. Sebuah kelereng jatuh kelantai dari ketinggian  $h_1$ , bola memantul sampai mencapai ketinggian  $h_2$ , dimana  $h_2 < h_1$ . Buktikanlah bahwa koefisien restitusi antara bola dan lantai adalah  $e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$

26. Sebuah partikel bermassa  $m$  diberi gaya konstan  $F$ . setelah menempuh jarak  $s$ , kecepatan partikel berubah dari  $v_0$  menjadi  $v$ . Buktikan bahwa rumus di bawah ini benar ?

$$F s = \frac{1}{2m} (p^2 - p_0^2)$$

Jika  $p = m v$  dan  $p_0 = m v_0$

27. Hukum Newton II :  $F = m a$ , hanya berlaku jika massa benda konstan. Dalam kasus roket, massanya berubah. Buktikan rumus dibawah ini untuk massa yang berubah :

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$$

28. Resultan gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan perubahan momentum persatuan waktu. Turunkan rumus  $F = ma$ , untuk massa yang konstan ?

29. Mobil dengan massa 400 kg bergerak dengan kecepatan tetap 72 km/jam. Hitung momentum linear dari mobil tersebut !

30. Sepeda motor yang bermassa 100 kg bergerak dengan kecepatan tetap  $v$  dan mempunyai energi kinetik 45.000 joule. Tentukan momentum dan harga  $v$  dalam satuan km/jam !

31. Sebuah bola dengan massa 0,5 kg dilemparkan vertikal ke atas dari titik A, dengan kecepatan awal 40 m/s. Bola kembali lagi di titik A, jika harga  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Tentukan besar dan arah:  
 a. Momentum bola pada saat ditembakkan !  
 b. Momentum bola pada saat kembali di A !  
 c. Perubahan momentum bola !  
 d. Ketinggian maksimum yang dicapai bola !

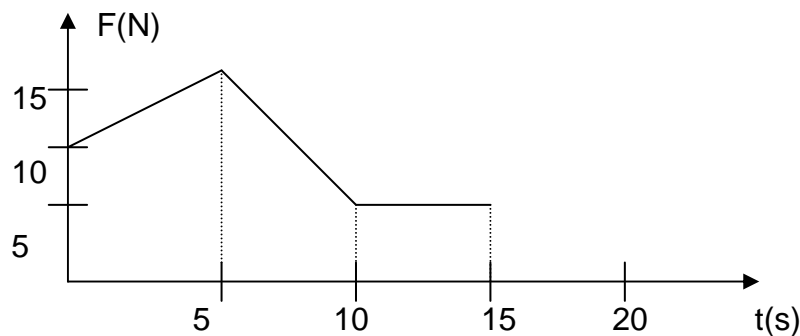
32. Benda dengan massa 4 kg mula-mula berada dalam keadaan diam, benda pada bidang horisontal. Benda diberi gaya konstan sejajar bidang sebesar 40 newton selama 5 detik. Tentukan:  
 a. Momentum awal benda dan momentum benda pada detik ke 5 ?  
 b. Perubahan momentum selama 5 detik tersebut ?  
 c. Perubahan energi kinetiknya ?

33. Sebuah bola bermassa 4 kg bergerak dengan kecepatan 10 m/s bertumbukan lenting sempurna dengan benda lain yang bermassa 2 kg

yang sedang bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Hitunglah kecepatan benda setelah tumbukan jika :

- a. Bergerak searah ?
- b. Bergerak berlawanan arah ?

34. Sebuah mobil dengan massa 500 kg sedang bergerak dengan kecepatan tetap 72 km/jam, mobil dihentikan dengan gaya konstan (menginjak rem dan berhenti) selama 4 detik. Tentukan besar dan arah impuls gaya !
35. Sebuah benda bermassa 5 kg dengan kecepatan 25 m/s menumbuk lempeng baja dengan sudut  $45^\circ$  dan memantul dengan sudut yang sama, tentukanlah Impuls yang dikerjakan lempeng baja pada benda ?
36. Hubungan antara gaya yang bekerja pada suatu benda bermassa  $m$  dan waktu, terlihat pada gambar di bawah ini.



GAMBAR

Tentukan

- a. Besar Impuls gaya pada 5 s pertama, 5 s kedua dan 5 s ke tiga !
  - b. Perubahan momentum pada 5 s pertama, 5 s kedua dan 5 s ke tiga !
  - c. Perubahan energi kinetik pada 5 s pertama, 5 s kedua dan 5s ke tiga !
37. Sebuah benda A bergerak lurus dengan momentum  $mv$ , menumbuk bola B yang bergerak sejaris dengan benda A. Jika setelah tumbukan bola A mempunyai momentum  $-4mv$ , berapakah pertambahan momentum benda B ?
38. Sebuah bola dengan massa 2 kg, dilemparkan horisontal ke arah tembok dengan kecepatan 40 m/s dan bola memantul kembali dengan kecepatan 30 m/s. Tentukan:
- a. Perubahan momentumnya !
  - b. Besar dan arah gaya rata-rata yang bekerja pada bola, jika bola menyentuh tembok selama 0,01 detik !
  - c. Besar dan arah gaya rata-rata pada tembok !
39. Sebuah gerbong kereta api listrik mempunyai massa 5000 kg berada dalam keadaan diam. Gerbong tersebut ditabrak oleh sebuah mobil truk

yang bermuatan penuh yang massanya 10000 kg. Setelah terjadi tabrakan gerbong dan truk menjadi bersatu dan bergerak bersama searah dengan arah truk mula-mula dengan kecepatan 0.6 m/s berapakah kecepatan mobil truk sebelum tumbukan ?

40. Sebuah balok bermassa 5 kg tergantung vertikal. Sebutir peluru yang bermassa 20 gr menumbuk balok dengan kecepatan 50 m/s, kemudian bersarang didalam balok dan balok naik.. Energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan adalah 500 Joule. Berapakah tinggi ayunan balok akan naik ?
41. Balok bermassa 5 kg mula-mula dalam keadaan diam. Balok tersebut ditembak dengan peluru bermassa 60 gram dengan kecepatan 400 m/s. setelah tumbukan peluru bersarang di dalam balok. Balok terangkat setinggi h. Hitunglah :
- Kecepatan peluru dan balok setelah tumbukan !
  - Ketinggian h !
  - Energi kinetik yang hilang !
42. Peluru bermassa 10 gr ditembakkan kedalam sebuah ayunan balistik bermassa 1.5 kg. Pada saat ayunan mencapai tinggi maksimum kawat membentuk sudut  $45^\circ$  dengan bidang vertikal. Jika panjang kawat yang dipergunakan 20 cm dan percepatan gravitasi bumi adalah 9.8 m/s. Hitunglah kecepatan peluru pada saat ditembakkan?
43. Peluru dengan massa 4 gr ditembakkan dengan kecepatan 500 m/s, menembus sebuah balok yang mula-mula diam, kecepatan peluru berkurang menjadi 150 m/s setelah menembus balok jika masa balok 4 kg. Balok bergerak sejauh 20 cm dari tempat semula. Hitunglah :
- Kecepatan balok setelah tumbukan ?
  - Koefisien gesekan antara balok dengan lantai ?
44. Sebuah balok mempunyai massa 2 kg, berada diatas lantai yang kasar. dengan koefisien gesek antara balok dengan lantai adalah 0.2. Peluru yang massanya 10 gr ditembakkan sehingga mengenai balok tersebut, peluru bersarang didalam balok. Balok bergeser sejauh 75 cm. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s<sup>2</sup>. Hitunglah kecepatan peluru pada saat menumbuk balok ?
45. Peluru dengan massa 20 gram, ditembakkan pada sebuah balok yang sedang diam di atas lantai tanpa gesekan. Kecepatan 2000 m/s dan menembus balok, kecepatannya menjadi 200 m/s. Jika massa balok 20 kg, tentukan :
- Kecepatan balok sesaat setelah peluru keluar dari balok !
  - Kehilangan  $E_k$  sistem yang terjadi !
46. Dua bola dengan massa  $m_1 = 3$  kg dan  $m_2 = 2$  kg, bergerak saling mendekat pada satu garis lurus. Kecepatan masing-masing  $v_1 = 5$  m/s dan

$v_2 = 2$  m/s. Tentukan besar dan arah kecepatan masing-masing bola jika koefisien restitusinya 0,8 !

47. Dua buah benda titik bermassa  $m_1 = 2$  kg dan  $m_2 = 4$  kg terletak pada sebuah bidang datar yang licin. Apabila kedua benda diberi gaya sehingga benda bergerak dengan kecepatan  $v_1=2$  m/s dan  $v_2= 5$  m/s dengan arah saling tegak lurus. Hitunglah Impuls yang bekerja pada kedua benda ?
48. Dua benda dengan massa sama yaitu 4 kg bergerak saling mendekat dengan laju masing-masing 10 m/s dan 6 m/s. setelah tumbukan keduanya menyatu dan bergerak dengan laju yang sama. Tentukan:
- Laju kedua benda setelah tumbukan !
  - Energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan !
49. Pesawat antariksa harus mempunyai kecepatan sangat tinggi untuk bisa mencapai orbit yaitu sekitar 1000 m/s. Jika massa pesawat 10000 kg. Kecepatan tertinggi semburan yang keluar dari roket adalah 5000 m/s. Berapakah massa bahan bakar yang dibutuhkan oleh roket untuk meluncur menuju orbitnya ?
50. Sebuah roket mula-mula mempunyai berat 40.000 kg. kecepatan relatif semburan gas terhadap roket sebesar 1000 m/s dan massa bahan bakar yang keluar mempunyai kecepatan 50 kg/s. Jika massa bahan bakar total 30.000 kg. (abaikan percepatan gravitasi dan gaya gesek udara). Tentukanlah :
- Gaya dorong roket ?
  - Kecepatan roket sesaat setelah bahan bakar habis ?