



**Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**



# **Hukum Kekekalan Momentum**

Oleh: Tutug Dhanardono  
Aulia Siti Aisjah



Courtesy of NASA

Pesawat ulang alik Columbia, setelah lepas landas, tanggal 1 Februari 2003, dan dinyatakan hilang dalam kecelakaan tragis

*Sumber: Searway, Physics for Scientists and Engineers*

Pesawat lepas landas, karena gaya dorong yang sangat besar dari mesin berbahan bakar cair dan dibantu dengan dua mesin berbahan bakar padat

**Prinsip apa yang menyebabkan pesawat ulang alik mampu lepas landas?**





## HUKUM KEKALKAN MOMENTUM LINIER

Bila benda dengan massa  $m$  bergerak karena pengaruh gaya konstan  $F$ , sehingga timbul percepatan sebesar  $a$  maka berdasar hukum II Newton diperoleh

persamaan:

$$F = m \cdot a \rightarrow a = \frac{v_t - v_o}{\Delta t}$$

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

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v_t - m \cdot v_o$$

$F \cdot \Delta t$  disebut impuls gaya yang bekerja pada suatu benda selama  $\Delta t$ .





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

$F =$  gaya (N)

$\Delta t =$  selang waktu (sekon)

$I =$  impuls gaya (N . S)

Selanjutnya:  $m \cdot v_t =$  momentum benda pada saat t

$m \cdot v_o =$  momentum benda mula-mula

$m \cdot v_t - m \cdot v_o = \Delta p$  (perubahan momentum)

Jadi  $I = \Delta p$  Impuls = perubahan momentum





## Contoh Soal 1

Sebuah mobil dengan massa 200 kg sedang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam (20 m/det), kemudian dipercepat dengan gaya konstan sehingga dalam waktu 5 sekon kecepatannya menjadi 80 km/jam (22,2 m/det).

Tentukan:

- momentum mobil sebelum dipercepat
- impuls gaya selama 5 sekon tersebut!

*Penyelesaian*

a). Momentum awal  $p_o = m \cdot v_o$

$$p_o = 200 \times 20 = 4000 \text{ kg m/det}$$

b). Impuls = momentum

$$I = m(v_t - v_o)$$

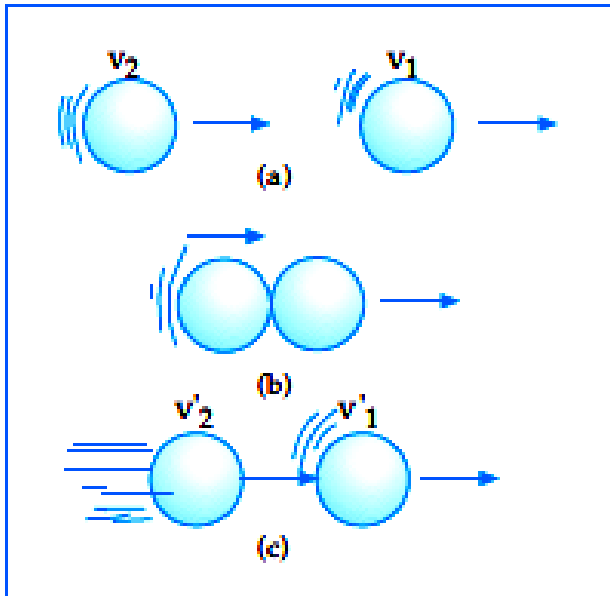
$$I = 200(22,2 - 20)$$

$$I = 440 \text{ kg m/det}$$





## KEKEKALAN MOMENTUM



Dua buah bola yang masing-masing bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  bergerak dengan kecepatan  $v_1$  dan  $v_2$ .

Kemudian kedua benda bertum-bukan.

Setelah bertumbukan kecepatan masing-masing benda menjadi  $v_1'$  dan  $v_2'$ .

Karena tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem tersebut, maka momentum sistem kekal, artinya momentum sebelum dan sesudah tumbukan sama.

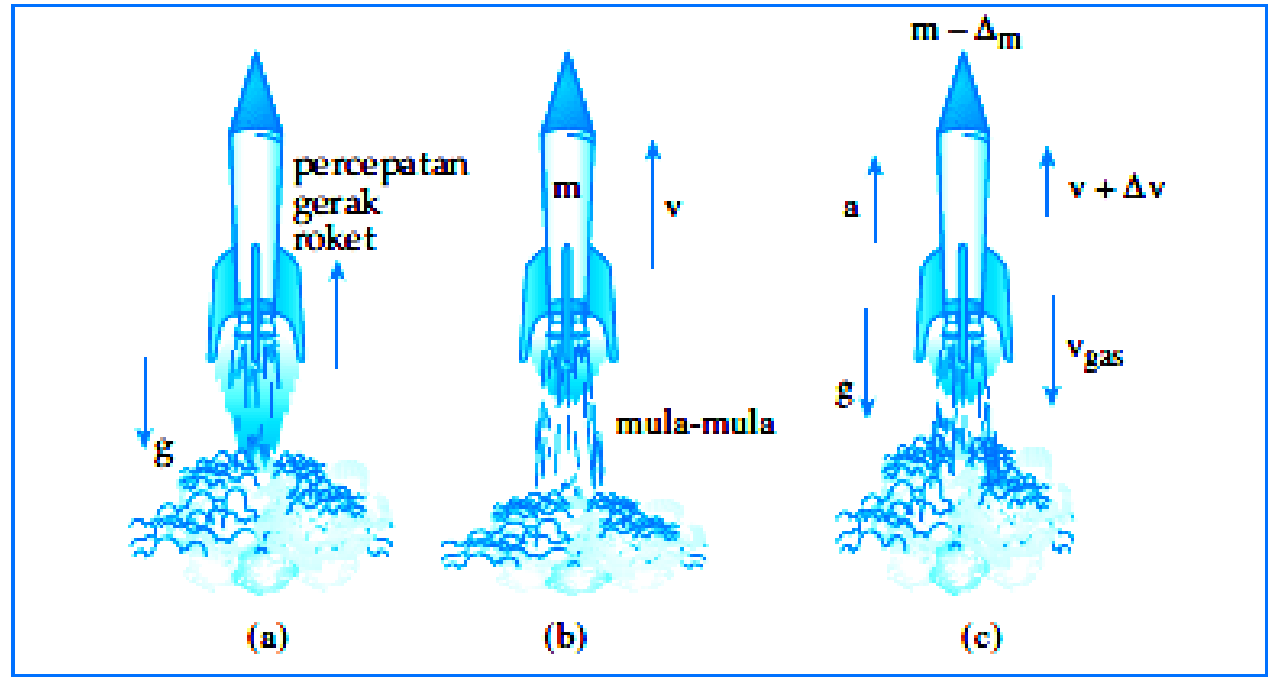
$p$  sebelum tumbukan =  $p$  sesudah tumbukan (HK Kekekalan Momentum)

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





# ROKET



Misalkan mula-mula kecepatan roket  $v$  dan massa roket  $m$ , roket menyemburkan gas sejumlah  $\Delta m$ , sehingga kecepatan bertambah menjadi  $v + \Delta v$ .

Kecepatan semburan gas anggap sebesar  $v_g$  (*Catatan: kecepatan roket dan kecepatan gas diukur relatif terhadap suatu acuan, misalnya bumi*).

Momentum mula-mula roket:  $mv$

Momentum akhir roket:  $(m - \Delta m)(v + \Delta v)$

Momentum gas:  $-\Delta m v_g$





Jika gravitasi diabaikan, maka besarnya pertambahan kecepatan  $\Delta v$  adalah :

$$P_{awal} = P_{akhir}$$

$$mv = (m - \Delta m) (v + \Delta v) - \Delta m v_g$$

$$mv = mv - \Delta m \cdot v + m \cdot \Delta v - \Delta m \cdot \Delta v - \Delta m v_g$$

$\Delta m \cdot \Delta v$  diabaikan karena kecil

$$0 = -\Delta m \cdot v + m \cdot \Delta v - \Delta m v_g \qquad \Delta v = \frac{\Delta m(v + v_g)}{m}$$

Percepatan roket : 
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v + v_g}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$v + v_g$  adalah sama dengan kecepatan roket relatif terhadap gas dan sering ditulis  $v_r$  sehingga persamaan percepatan rata-rata roket adalah:

$$a = \frac{v_r}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} - g$$

bila percepatan gravitasi tidak diabaikan

$$a = \frac{v_r}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$







## Contoh Soal

Sebuah roket menembakkan bahan bakar dengan laju 14.000 kg tiap detik. Hitung percepatan roket ketika kecepatannya 2000 m/det relatif terhadap gas dan massa roket ketika itu adalah 1000 ton. Jika:

- medan gravitasi diabaikan.
- besarnya percepatan akibat gravitasi ditempat itu  $g = 5 \text{ m/det}^2$

*Penyelesaian :*

- Percepatan gravitasi  $g = 0$ ,

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_r \cdot \Delta m}{m \cdot \Delta t} - g \\ &= \frac{2000}{1 \times 10^6} \times 14.000 - 0 \\ &= 28 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

- Medan gravitasi tidak diabaikan  $g = 5 \text{ m/s}^2$ . Percepatan roket dapat dihitung dari hasil  $a$  dikurangi dengan percepatan akibat gravitasi ini.

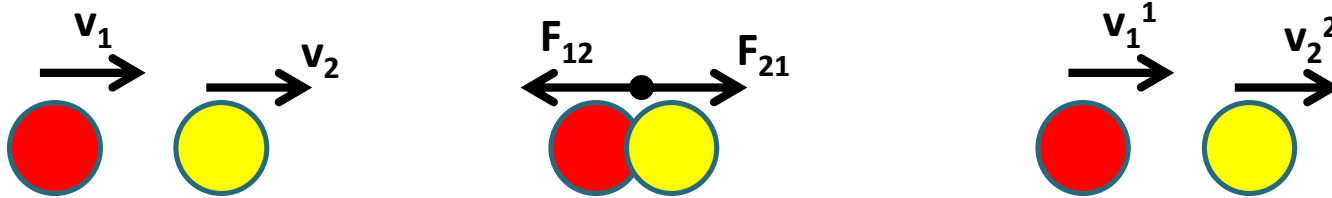
$$\begin{aligned} a_t &= a - g \\ &= 28 - 5 \\ &= 23 \text{ m/det}^2 \end{aligned}$$





## TUMBUKAN

Tumbukan antara kedua benda yang kita bahas adalah tumbukan sentral, yaitu tumbukan antara kedua benda dimana pada saat terjadi tumbukan kecepatan masing-masing benda menuju ke pusat benda masing-masing.



Macam tumbukan yang kita bahas ada 3 macam, yaitu:

1. tumbukan lenting sempurna,
2. tumbukan lenting sebagian, dan
3. tumbukan tidak lenting sama sekali.





## 1. Tumbukan Lenting Sempurna

Pada tumbukan lenting sempurna **tidak terdapat kehilangan energi**, sehingga pada tumbukan lenting sempurna:

- berlaku hukum kekekalan energi kinetik

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1(v_1')^2 + \frac{1}{2}m_2(v_2')^2$$

- berlaku hukum kekekalan momentum

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

- koefisien restitusi:  $e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$  atau  $e = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$

$$e = 1$$





## 2. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting **sebagian terdapat kehilangan energi.**

Pada tumbukan lenting sebagian didapat:

- berlaku hukum kekekalan momentum
- koefisien restitusi:  $0 < e < 1$

## 3. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, setelah tumbukan kedua benda menjadi satu dan bergerak bersama-sama ( $v_1' = v_2' = v'$ )

sehingga pada tumbukan tidak lenting sama sekali:

- berlaku hukum kekekalan momentum

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$$

- koefisien restitusi:  $e = 0$





v26211611

### Contoh Soal

Sebuah peluru dengan massa 20 gram ditembakkan dengan senapan yang bermassa 2 kg. Jika kecepatan peluru saat meninggalkan moncong senapan = 10 m/s, maka berapakah kecepatan senapan setelah menembakkan peluru?

### *Penyelesaian*

$$m_P v_P + m_S v_S = m_P v_P' + m_S v_S'$$

$$0 + 0 = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10 + 2 v_S'$$

$$-2v_S' = 2 \cdot 10^{-1}$$

$$v_S' = -10^{-1} \text{ m/s}$$

Tanda (-) menyatakan arah gerak senapan ke belakang





## Contoh soal

Bola A dan bola B bergerak di atas bidang datar segaris kerja. Bola A dengan massa 2 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan 4 m/s dan bola B dengan massa 1 kg bergerak ke kiri dengan kecepatan 6 m/s. Kedua bola bertumbukan sentral. Hitunglah kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan jika tumbukan kedua bola:

- tidak lenting sama sekali
- lenting sebagian dengan  $e = 0,8$
- lenting sempurna

Penyelesaian :

a.  $v'_A = v'_B = v'$

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

$$8 - 6 = 3 v'$$

$$v' = \frac{2}{3} \text{ m/s} = v'_A = v'_B$$





b.

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

$$0,8 = -\frac{v_A' - v_B'}{4 + 6}$$

$$-8 = v_A' - v_B'$$

$$v_A' = v_B' - 8$$

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

$$8 - 6 = 2(v_B' - 8) + v_B'$$

$$2 = 2v_B' - 16 + v_B'$$

$$18 = 3v_B'$$

$$v_B' = 6 \text{ m/s}$$

$$v_A' = v_B' - 8$$

$$v_A' = 6 - 8$$

$$v_A' = -2 \text{ m/s}$$

c.

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

$$1 = -\frac{v_A' - v_B'}{4 + 6}$$

$$-10 = v_A' - v_B'$$

$$v_A' = v_B' - 10$$

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

$$8 - 6 = 2(v_B' - 10) + v_B'$$

$$2 = 2v_B' - 20 + v_B'$$

$$22 = 3v_B'$$

$$v_B' = 7,3 \text{ m/s}$$

$$v_A' = v_B' - 10$$

$$v_A' = 7,3 - 10$$

$$v_A' = -2,7 \text{ m/s}$$





## Example

Elastic One-Dimensional Collision Between Two Objects Consider the elastic collision of two carts along a track; the incident cart 1 has mass  $m_1$  and moves with initial speed  $v_{1,0}$ . The target cart has mass  $m_2 = 2m_1$  and is initially at rest,  $v_{2,0} = 0$ .

Immediately after the collision, the incident cart has final speed  $v_{1,f}$  and the target cart has final speed  $v_{2,f}$ . Calculate the final velocities of the carts as a function of the initial speed  $v_{1,0}$ .

**Solution** Equating the momentum components before and after the collision gives the relation

$$m_1 v_{x1,0} + m_2 v_{x2,0} = m_1 v_{x1,f} + m_2 v_{x2,f} \dots\dots (1)$$

$$m_1 (v_{x1,0} - v_{x1,f}) = m_2 (v_{x2,f} - v_{x2,0}) \dots\dots (2)$$

Equating the kinetic energy before and after the collision gives the relation

$$m_1 v_{x1,0}^2 + m_2 v_{x2,0}^2 = m_1 v_{x1,f}^2 + m_2 v_{x2,f}^2$$

$$m_1 (v_{x1,0} - v_{x1,f})(v_{x1,0} + v_{x1,f}) = m_2 (v_{x2,f} - v_{x2,0})(v_{x2,f} + v_{x2,0}) \dots\dots (3)$$

From (2) and (3), we get

$$v_{x1,0} + v_{x1,f} = v_{x2,0} + v_{x2,f}$$







$$v_{x1,f} = v_{x2,f} - v_{x1,0} + v_{x2,0} \quad \dots\dots (4)$$

From (1) and (4) :  $m_1 v_{x1,0} + m_2 v_{x2,0} = m_1 v_{x1,f} + m_2 (v_{x1,0} + v_{x1,f} - v_{x2,0})$

We find 
$$v_{x1,f} = v_{x1,0} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_{x2,0} \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \quad \dots\dots (5)$$

and 
$$v_{x2,f} = v_{x2,0} \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} + v_{x1,0} \frac{2m_1}{m_2 + m_1} \quad \dots\dots (6)$$

With  $m_2 = 2m_1$ , we find from (5) and (6)

$$v_{x1,f} = -v_{x1,0} \frac{1}{3} \cdot$$

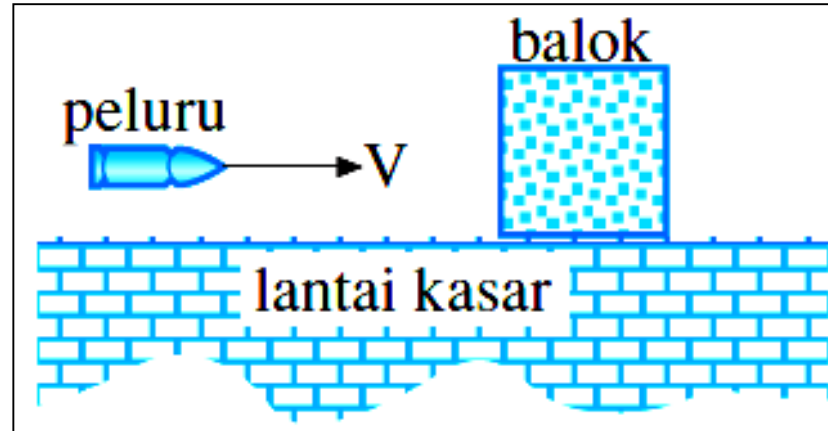
$$v_{x2,f} = v_{x1,0} \frac{2}{3} \cdot$$





## Soal – Tugas 4

Gambar di samping melukiskan sebuah balok yang bermassa 5 kg terletak di atas lantai kasar dengan koefisien gesek = 0,4. Sebuah peluru dengan massa 50 gram bergerak dengan kecepatan 80 m/s kemudian mengenai balok.



Tentukan berapakah jauh balok dapat bergerak jika:

- peluru dipantalkan kembali oleh balok dengan kecepatan 10 m/s
- peluru bersarang dalam balok

Kerjakan soal tersebut di atas dan upload jawaban pada [share.its.ac.id](http://share.its.ac.id), paling lambat 4 Oktober jam 24.00





Terimakasih