

Kode FIS.08

Momentum dan Impuls



**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2004**

Kode FIS.08

Momentum dan Impuls

Penyusun

Drs. Supardiono, MSc..

Editor:

Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.

Drs. Munasir, M.Si.

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENEGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

2004

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi (*CBT: Competency Based Training*).

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sains dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang

sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

DAFTAR ISI

✍	Halaman Sampul	i
✍	Halaman Francis	ii
✍	Kata Pengantar	iii
✍	Daftar Isi	v
✍	Peta Kedudukan Modul	vii
✍	Daftar Judul Modul	viii
✍	Glosary	ix

I. PENDAHULUAN

A.	Deskripsi	1
B.	Prasarat	1
C.	Petunjuk Penggunaan Modul	1
D.	Tujuan Akhir	2
E.	Kompetensi	3
F.	Cek Kemampuan	4

II. PEMELAJARAN

A.	Rencana Belajar Peserta Diklat	6
----	--------------------------------------	---

B. Kegiatan Belajar

1.	Kegiatan Belajar	7
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	7
b.	Uraian Materi	7
c.	Rangkuman	35
d.	Tugas	37
e.	Tes Formatif	42
f.	Kunci Jawaban	45
g.	Lembar Kerja	47

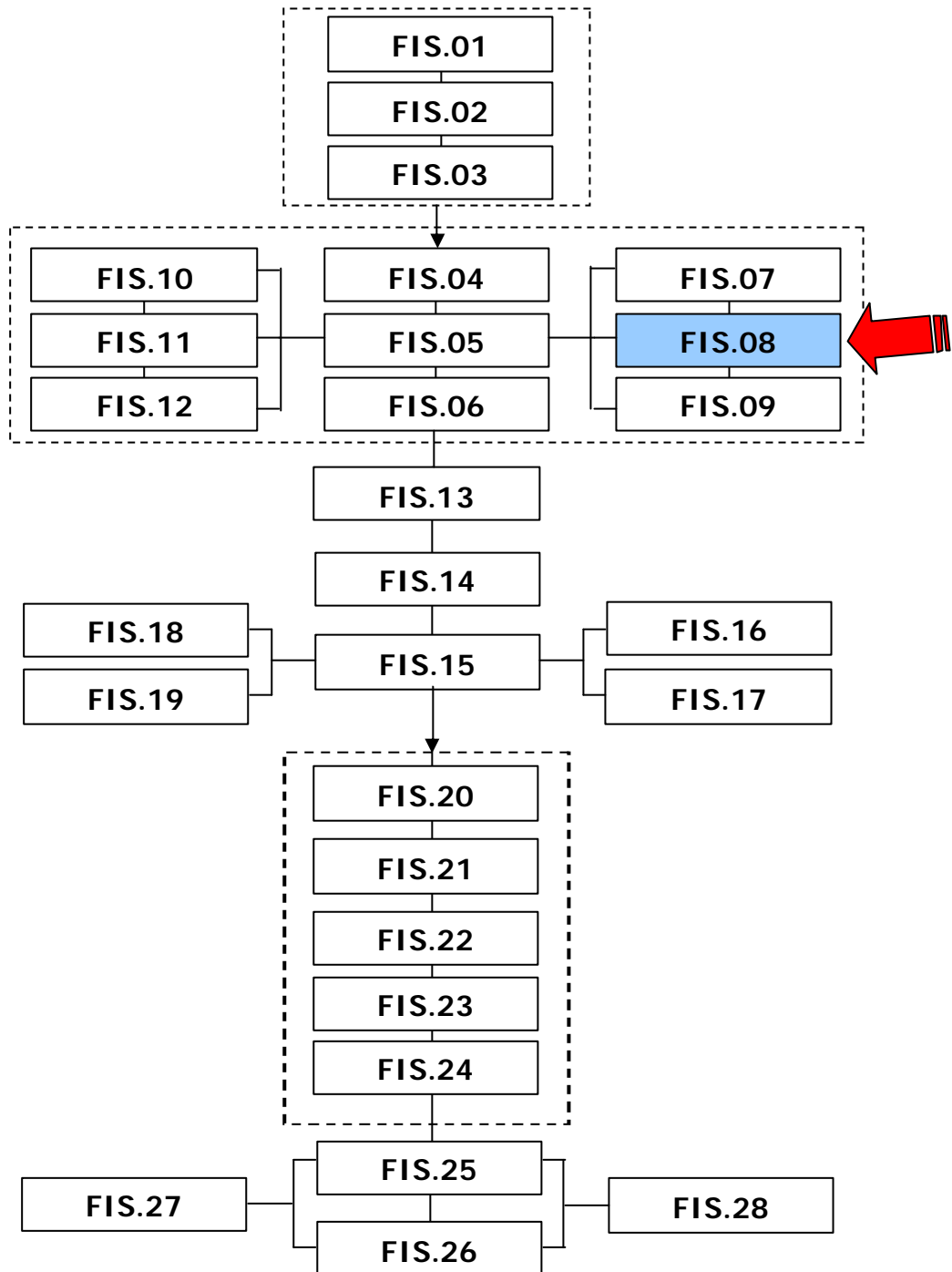
III. EVALUASI

A.	Tes Tertulis	49
B.	Tes Praktik	51

KUNCI JAWABAN

A. Tes Tertulis	52
B. Lembar Penilaian Tes Praktik	53
IV. PENUTUP	56
DAFTAR PUSTAKA	57

Peta Kedudukan Modul



DAFTAR JUDUL MODUL

No.	Kode Modul	Judul Modul
1	FIS.01	Sistem Satuan dan Pengukuran
2	FIS.02	Pembacaan Masalah Mekanik
3	FIS.03	Pembacaan Besaran Listrik
4	FIS.04	Pengukuran Gaya dan Tekanan
5	FIS.05	Gerak Lurus
6	FIS.06	Gerak Melingkar
7	FIS.07	Hukum Newton
8	FIS.08	Momentum dan Tumbukan
9	FIS.09	Usaha, Energi, dan Daya
10	FIS.10	Energi Kinetik dan Energi Potensial
11	FIS.11	Sifat Mekanik Zat
12	FIS.12	Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar
13	FIS.13	Fluida Statis
14	FIS.14	Fluida Dinamis
15	FIS.15	Getaran dan Gelombang
16	FIS.16	Suhu dan Kalor
17	FIS.17	Termodinamika
18	FIS.18	Lensa dan Cermin
19	FIS.19	Optik dan Aplikasinya
20	FIS.20	Listrik Statis
21	FIS.21	Listrik Dinamis
22	FIS.22	Arus Bolak-Balik
23	FIS.23	Transformator
24	FIS.24	Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik
25	FIS.25	Semikonduktor
26	FIS.26	Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor)
27	FIS.27	Radioaktif dan Sinar Katoda
28	FIS.28	Pengertian dan Cara Kerja Bahan

GLOSSARY

ISTILAH	KETERANGAN
Momentum	Ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak.
Impuls	Perubahan momentum yang dialami benda.
Koefisien Restitusi	Ukuran Kelentingan atau elastisitas suatu tumbukan.
Ayunan Balistik	Suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan proyektil yang bergerak cepat, misalnya kecepatan sebuah peluru.

BAB I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Dalam modul ini anda akan mempelajari tentang momentum dan impuls. Momentum adalah ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak. Makin sukar memberhentikan benda, makin besar momentumnya. Kesukaran memberhentikan suatu benda bergantung pada massa dan kecepatan. Sedangkan impuls berkaitan dengan perubahan momentum. Impuls juga didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan selang waktu singkat bekerjanya gaya pada benda. Konsep momentum ini penting karena konsep ini juga menunjukkan kekekalan, seperti halnya kekekalan energi mekanik. Konsep kekekalan momentum dan impuls dapat membantu kita untuk menjelaskan masalah keseharian dan teknologi. Kejadian yang berkaitan dengan peristiwa tumbukan dapat dijelaskan dengan hukum kekekalan momentum dan impuls. Ada tiga jenis tumbukan berdasarkan elastisitasnya (kelentingannya), yaitu tumbukan lenting sempurna, tak lenting sama sekali dan lenting sebagian.

B. Prasyarat

Agar dapat mempelajari modul ini anda harus telah menguasai vektor, materi gerak dan gaya, dan materi usaha dan energi. Materi gerak meliputi gerak lurus dan gerak lengkung, yaitu gerak parabola dan gerak melingkar. Selain gaya yang berkaitan dengan hukum-hukum Newton, anda harus menguasai juga gaya gesek.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

- ? Pelajari daftar isi serta skema kedudukan modul dengan cermat dan teliti, karena dalam skema modul akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari ini diantara modul-modul yang lain.

- ? Kerjakan pertanyaan dan soal dalam cek kemampuan sebelum mempelajari modul ini. Jika anda mengalami kesulitan, pelajari materi dan contoh soal.
- ? Pahami setiap materi teori dasar yang akan menunjang penguasaan suatu pekerjaan dengan membaca secara teliti. Kerjakan evaluasi atau tugas di akhir materi sebagai sarana latihan, apabila perlu dapat anda konsultasikan pada guru.
- ? Kerjakan tes formatif dengan baik , benar dan jujur sesuai dengan kemampuan anda, setelah mempelajari modul ini.
- ? Catatlah kesulitan yang anda dapatkan dalam modul ini untuk ditanyakan kepada guru pada saat kegiatan tatap muka.
- ? Bacalah referensi lain yang berhubungan dengan materi modul agar anda mendapatkan pengetahuan tambahan.

D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan anda dapat:

- ✍ Menghitung resultan dua buah vektor momentum dengan cara analitis.
- ✍ Menghitung impuls jika diberikan grafik gaya terhadap waktu.
- ✍ Merumuskan hubungan antara impuls dan momentum.
- ✍ Menggunakan hubungan antara impuls dan momentum untuk menghitung besarnya gaya-gaya impuls yang terjadi pada tumbukan.
- ✍ Menggunakan hukum kekekalan momentum untuk memecahkan soal.
- ✍ Memecahkan soal-soal tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian dan tumbukan tak lenting sama sekali.
- ✍ Melakukan percobaan sederhana tentang tumbukan.

E. Kompetensi

Kompetensi : MOMENTUM DAN IMPLUS
 Program Keahlian : Program Adaptif
 Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.08
 Durasi Pembelajaran : 10 jam @ 45 menit

SUB KOMPETENSI	KRITERIA KINERJA	LINGKUP BELAJAR	MATERI POKOK PEMBELAJARAN		
			SIKAP	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN
1. Menerapkan hubungan antara impuls dan momentum	? Kecepatan tumbukan diterangkan dengan hukum kekekalan momentum	? Materi kompetensi ini membahas tentang: - Menentukan impuls dan momentum - Hukum kekekalan momentum	? Teliti menjelaskan hubungan antara impuls dan momentum	? Pengertian impuls dan momentum ? Hukum kekekalan momentum ? Hukum kekekalan energi ? Tumbukan	? Memberikan contoh peristiwa impuls, momentum dan tumbukan ? Menghitung impuls dan momentum

F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Jelaskan yang anda ketahui tentang:
 - a. Momentum
 - b. Impuls
 - c. Hukum kekekalan momentum
 - d. Tumbukan lenting sempurna
 - e. Tumbukan tak lenting sama sekali
 - f. Tumbukan lenting sebagian
 - g. Koefisien restitusi
2. Dua buah benda memiliki energi kinetik sama, tetapi massanya berbeda. Apakah momentum kedua benda tersebut sama? Jelaskan jawaban anda!
3. Momentum adalah besaran vektor. Apakah pernyataan tersebut benar? Berikan alasan jawaban anda.
4. Seorang tentara menembak dengan senjata laras panjang. Mengapa tentara tersebut meletakkan gagang senjata pada bahunya? Berikan penjelasan anda berkaitan dengan impuls dan momentum.
5. Anda bersepeda motor dengan kelajuan tinggi, tiba-tiba sepeda motor berhenti mendadak dan anda terpelanting melampaui setir. Mengapa anda dapat terpelanting melampaui setir?
6. Dua buah benda terbuat dari bahan yang mudah melekat dan massa kedua benda sama, bergerak saling berlawanan arah dengan kelajuan sama dan bertumbukan. Sesaat setelah tumbukan kedua benda saling melekat dan kemudian berhenti. Apakah jumlah momentum kedua benda kekal, sebelum dan sesudah tumbukan? Bagaimana dengan energi kinetiknya?

7. Pada tumbukan tak lenting sama sekali, semua energi kinetik kedua benda yang bertumbukan akan hilang. Apakah pernyataan tersebut benar? Berikan alasan anda dan contohnya.
8. Sebuah mobil A bermassa 1,5 ton bergerak ke timur dengan kelajuan 90 km/jam dan sebuah mobil B bermassa 2,5 ton bergerak ke utara dengan kelajuan 72 km/jam. Hitunglah besar dan arah:
 - a. Momentum mobil A dan mobil B
 - b. Resultan momentum mobil A dan mobil B
9. Jika benda yang massanya 2 kg bergerak sejauh 20 meter dalam waktu 4,0 detik, maka berapakah rata-rata momentumnya?
10. Sebuah bola bermassa 200 gram jatuh bebas dari ketinggian 20 meter dari tanah. Setelah menumbuk tanah bola terpantul dengan kelajuan setengah dari kelajuan saat menumbuk tanah. Waktu sentuh bola menumbuk tanah adalah 0,2 detik. Hitunglah:
 - a. Perubahan momentum bola pada saat menumbuk tanah
 - b. Impuls yang dikerjakan tanah pada bola
 - c. Gaya rata-rata yang bekerja pada bola selama tumbukan berlangsung.
11. Sebuah bola kasti bermassa 150 gram dilemparkan mendatar ke arah sumbu X positif dengan kelajuan 10 m/s. Seorang pemain yang memegang pemukul bola memukul bola tersebut hingga bola berbalik arah dengan kelajuan 16 m/s. Hitunglah gaya rata-rata yang dikerjakan pemukul pada bola, jika pemukul menyentuh bola dalam waktu 0,02 detik.
12. Seorang pemain golf memukul bola golf bermassa 50 gram dengan stik sehingga bola bergerak dengan kelajuan 40 m/s. Hitunglah perubahan momentum bola golf dan gaya rata-rata yang dikerjakan stik golf, jika waktu sentuh antara bola golf dengan stik 0,01 detik.

BAB I. PEMBELAJARAN

A. Rencana Belajar Siswa

Kompetensi : Menerapkan momentum dan impuls

Sub Kompetensi :

☞ Memahami momentum dan impuls pada kecepatan tumbukan

☞ Menerapkan hubungan antara impuls dan momentum

Jenis Kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat Belajar	Alasan Perubahan	Tanda Tangan Guru

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar 1

a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar ini, diharapkan anda dapat:

- ☞ Menghitung resultan dua buah vektor momentum dengan cara analitis.
- ☞ Menghitung impuls jika diberikan grafik gaya terhadap waktu.
- ☞ Merumuskan hubungan antara impuls dan momentum.
- ☞ Menggunakan hubungan antara impuls dan momentum untuk menghitung besarnya gaya-gaya impuls yang terjadi pada tumbukan.
- ☞ Menggunakan hukum kekekalan momentum untuk memecahkan soal.
- ✎ Memecahkan soal-soal tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian dan tumbukan tak lenting sama sekali
- ✎ Melakukan percobaan sederhana tentang tumbukan

b. Uraian Materi

a) Pengertian Momentum

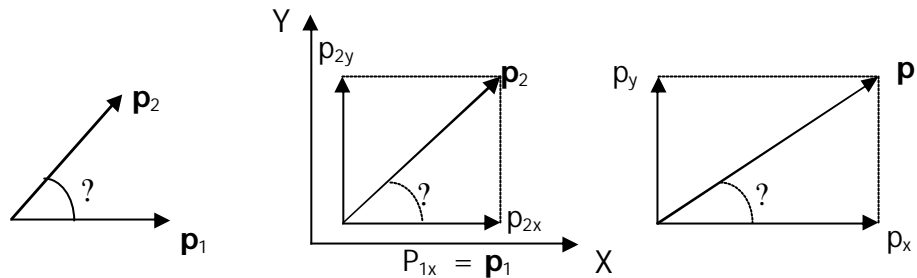
- ✎ Momentum adalah ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak.
- ✎ Momentum dilambangkan \mathbf{p} didefinisikan sebagai *hasil kali* massa m dan kecepatan \mathbf{v} .

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

- ✎ Momentum merupakan besaran vektor yang memiliki *besar* dan *arah*. Arah momentum adalah searah dengan arah kecepatan. Satuan momentum dalam SI adalah $\mathbf{kg\ m\ s^{-1}}$.

- ✍ Penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor (karena momentum adalah besaran vektor). Penjumlahan dua momentum \mathbf{p}_1 dan \mathbf{p}_2 yang membentuk sudut θ ditulis

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$$



- ✍ Langkah-langkah menentukan besar dan arah hasil jumlah (resultan)

- ☞ Tetapkan \mathbf{p}_1 pada sumbu X dan tentukan komponen-komponen \mathbf{p}_1 dan \mathbf{p}_2 dalam arah X dan Y.

$$p_{1x} = p_1; p_{1y} = 0; p_{2x} = p_2 \cos \theta; p_{2y} = p_2 \sin \theta$$

- ☞ Jumlahkan komponen-komponen X dan Y dari kedua momentum.

$$p_x = p_{1x} + p_{2x}; p_y = p_{2y}$$

- ☞ Besar dan arah vektor resultan momentum \mathbf{p} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

- ✍ Besar resultan $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$

- ✍ Arah resultan $\tan \theta = \frac{p_y}{p_x}$

(untuk menentukan arah θ harus diperhatikan tanda p_x dan p_y yang akan menentukan letak kuadran dari \mathbf{p})

Contoh 1:

Dua sepeda motor A dan B massanya masing-masing 80 kg dan 100 kg bergerak pada lintasan lurus dengan kelajuan 15

m/s dan 16 m/s. Hitung besar dan arah momentum resultan A dan B, jika:

- sepeda motor A dan B bergerak ke utara
- sepeda motor A bergerak ke utara sedangkan B ke selatan
- sepeda motor A bergerak ke utara sedangkan B ke timur.

Jawab:

Massa A, $m_A = 80\text{kg}$; massa B, $m_B = 100\text{kg}$

Kelajuan A, $v_A = 15\text{ m/s}$; kelajuan B, $v_B = 16\text{ m/s}$

Besar momentum A dan B adalah:

$$p_A = m_A v_A = (80\text{kg})(15\text{m/s}) = 1200\text{kgm/s}$$

$$p_B = m_B v_B = (100\text{kg})(16\text{m/s}) = 1600\text{kgm/s}$$

- a) Kedua sepeda motor bergerak searah (arah utara), maka

$$p = p_A + p_B = 1200 + 1600 = 2800\text{kgm/s}$$

- b) Sepeda motor A bergerak ke utara (momentum *positif*), sedangkan B ke selatan (momentum *negatif*)

$$p = p_A - p_B = 1200 - 1600 = -400\text{kgm/s}$$

- c) Momentum A ke arah utara dan momentum B ke arah timur, maka kedua momentum saling tegak lurus.

Besar momentum resultan:

$$p = \sqrt{p_A^2 + p_B^2} = \sqrt{1200^2 + 1600^2} = 2000\text{kgm/s}$$

$$\text{Arah momentum resultan: } \tan \theta = \frac{p_B}{p_A} = \frac{1600}{1200} = \frac{4}{3}$$

$$\text{sehingga } \theta = \text{arc tan } \frac{4}{3} = 53^\circ$$

b) Pengertian Impuls

Impuls **I** didefinisikan sebagai hasil kali gaya **F** dengan selang waktu singkat bekerjanya gaya pada benda Δt .

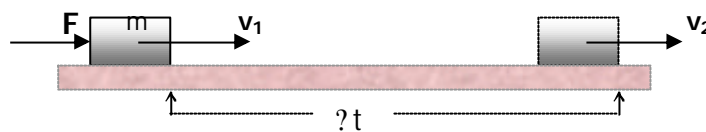
Secara matematika dapat ditulis:

$$I = F \cdot t$$

Impuls merupakan besaran vektor. Arah impuls adalah searah dengan arah gaya.

Satuan impuls = satuan gaya \times satuan waktu = $N \cdot s = (kg \ m \ s^{-2}) \cdot s = kg \ m \ s^{-1}$.

Satuan impuls $N \cdot s$ sama dengan satuan momentum $kg \ m \ s^{-1}$. Hal ini berarti ada hubungan antara impuls dengan momentum. Perhatikan contoh berikut:



Sebuah benda bermassa m dipukul dengan gaya F yang berlangsung dalam waktu singkat Δt , sehingga dapat mengubah kecepatan benda dari v_1 menjadi v_2 , seperti gambar di atas.

Menurut hukum II Newton:

$$F = m a = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}, \text{ sehingga diperoleh hubungan:}$$

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

Ruas kiri persamaan merupakan besaran impuls. Sedangkan untuk ruas kanan persamaan menyatakan $m v_2$ adalah momentum sesudah gaya impuls bekerja dan $m v_1$ adalah momentum sebelum gaya impuls bekerja. Dengan demikian ruas kanan persamaan $m v_2 - m v_1$ merupakan perubahan momentum (dilambangkan Δp).

Impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentum yang dialami benda.

$$I = \Delta p$$

atau

$$F \cdot \Delta t = \Delta p$$

Contoh 2:

Dalam permainan softball, sebuah bola bermassa 150 gram dilempar mendatar ke timur dengan kelajuan 10 m/s. Setelah dipukul bola bergerak ke barat dengan kelajuan 15 m/s. Kayu pemukul dan bola bersentuhan selama 0,75 ms. Tentukan:

- a) Impuls yang diberikan oleh kayu pemukul pada bola.
- b) Gaya rata-rata yang diberikan kayu pemukul pada bola.
- c) Percepatan rata-rata bola selama bersentuhan dengan kayu pemukul.

Jawab:

Arah mendatar (ke timur dan ke barat) dapat diwakilkan vektor satu dimensi dengan memberikan tanda positif dan negatif, sehingga arah mendatar ke *timur* sebagai acuan arah *positif*.

massa bola $m = 150 \text{ gram} = 0,15 \text{ kg}$

kecepatan awal $\mathbf{v}_1 = + 10 \text{ m/s}$ (*arah ke timur*)

kecepatan akhir $\mathbf{v}_2 = - 15 \text{ m/s}$ (*arah ke barat*)

selang waktu $\Delta t = 0,75 \text{ ms} = 0,75 \times 10^{-3} \text{ s}$

- a) Impuls yang diberikan kayu pemukul pada bola sama dengan perubahan momentum bola.

$\mathbf{I} = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 = m\mathbf{v}_2 - m\mathbf{v}_1 = m(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) = 0,15(-15 - 10) = -3,75 \text{ Ns}$
Tanda negatif menyatakan bahwa impuls berarah mendatar ke barat.

- b) Gaya rata-rata kayu pemukul pada bola:

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{I}}{\Delta t} = \frac{-3,75 \text{ Ns}}{0,75 \times 10^{-3} \text{ s}} = -5 \times 10^3 \text{ N}$$

tanda negatif menyatakan arah gaya pemukul mendatar ke barat.

- c) Karena massa bola tidak berubah, maka percepatan \mathbf{a} dapat dihitung dengan:

$$\mathbf{a} = \mathbf{F} / m = -5000 / 0,15 = -33333 \text{ m s}^{-2}$$

tanda negatif menyatakan arah percepatan bola mendarat ke barat.

Contoh 3:

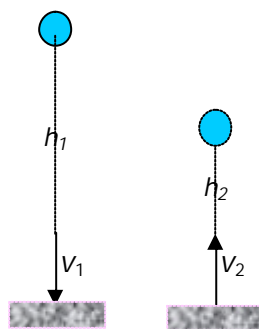
Sebuah bola bermassa 200 gram jatuh bebas dari ketinggian 3,2 m di atas tanah dan setelah menumbuk tanah bola memantul kembali setinggi 1,8 m. Tumbukan berlangsung selama 0,02 detik dan percepatan gravitasi 10 ms^{-2} . Tentukan:

- a) Momentum bola sesaat sebelum dan sesudah tumbukan.
- b) Impuls yang dikerjakan tanah terhadap bola.
- c) Gaya rata-rata yang dikerjakan tanah terhadap bola.

Jawab:

Benda yang bergerak jatuh bebas memiliki kecepatan awal nol (energi kinetik nol) dan menumbuk tanah dengan ketinggian nol (energi potensial nol), sehingga terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik.

$$\frac{m v^2}{2} = m g h, \text{ sehingga } v = \sqrt{2 g h}$$



Jika arah ke atas dipilih sebagai arah positif, maka kecepatan bola sesaat sebelum dan sesudah tumbukan adalah:

$$v_1 = \sqrt{2 g h_1} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 3,2} = \sqrt{64} = 8 \text{ m/s (arah ke bawah)}$$

$$v_2 = \sqrt{2 g h_2} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1,8} = \sqrt{36} = 6 \text{ m/s (arah ke atas)}$$

massa bola $m = 200 \text{ gram} = 0,2 \text{ kg}$ selang waktu $t = 0,02$ detik.

a) Momentum bola sesaat sebelum tumbukan

$$p_1 = mv_1 = 0,2(8) \text{ kgm/s} = 1,6 \text{ kgm/s}$$

momentum bola sesaat sesudah tumbukan

$$p_2 = mv_2 = 0,2(6) \text{ kgm/s} = 1,2 \text{ kgm/s}$$

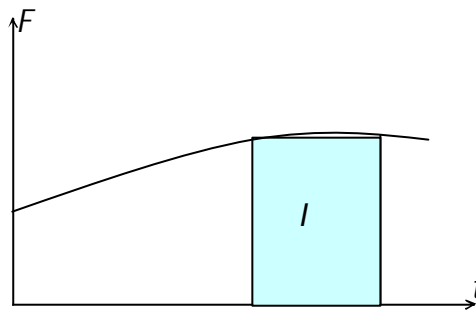
b) Impuls yang dikerjakan tanah terhadap bola sama dengan perubahan momentum bola

$$I = p_2 - p_1 = 1,2 - (1,6) = 2,8 \text{ kgm/s}$$

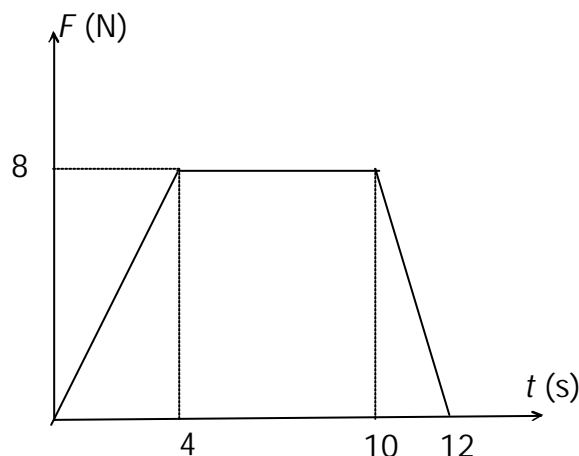
c) Gaya rata-rata yang dikerjakan tanah terhadap bola:

$$F = \frac{I}{t} = \frac{2,8}{0,02} = 140 \text{ N}$$

✍ Jika diberikan grafik hubungan gaya terhadap waktu (grafik $F-t$), maka besarnya impuls dapat dihitung dari luas daerah di bawah grafik $F-t$ (seperti terlihat pada gambar di samping).



Contoh 4:



Gambar di samping menunjukkan grafik hubungan antara resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda terhadap waktu. Jika mula-mula benda dalam keadaan diam dan massa benda 2 kg, tentukan:

a) Impuls yang dilakukan pada benda setelah 12 s.

- b) Momentum benda setelah 12 s.
 c) Kelajuan benda setelah 12 s.

Jawab:

- a) Impuls sama dengan luas daerah di bawah grafik $F - t$ pada gambar di atas. Luas daerah ini sama dengan luas **trapesium**.

Impuls = luas trapesium = (jumlah sisi sejajar \times tinggi) / 2

$$I = \frac{\{(12 - 0) + (10 - 4)\} \times 8}{2} = 72 \text{ Ns}$$

- b) Momentum mula-mula $p_1 = m_1 v_1 = 0$, sebab $v_1 = 0$ (benda mula-mula diam). Impuls sama dengan perubahan momentum, sehingga:

$$I = p_2 - p_1 = 72 - p_2 = 0 \Rightarrow p_2 = 72 \text{ Ns}$$

- c) Kelajuan benda setelah 12 s dapat dihitung dari momentumnya, yaitu:

$$v_2 = \frac{p_2}{m} = \frac{72}{2} = 36 \text{ m s}^{-1}$$

c) Hukum Kekekalan Momentum

✍ Interaksi antara dua benda, misalnya pada peristiwa tumbukan, ledakan, peluru yang ditembakkan dari senapan, orang melompat dari perahu, orang bersepatu roda sambil melempar benda, dan sebagainya, berlaku hukum kekekalan momentum. Pernyataan *hukum kekekalan momentum* adalah sebagai berikut: *Jumlah momentum benda-benda sesaat sebelum dan sesudah berinteraksi (misal tumbukan) adalah tetap, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda itu.* Jika dinyatakan secara matematis, yaitu:

$$\mathbf{p}_1 ? \mathbf{p}_2 ? \mathbf{p}_1' ? \mathbf{p}_2', \text{ atau}$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 ? m_2 \mathbf{v}_2 ? m_1 \mathbf{v}_1' ? m_2 \mathbf{v}_2'$$

dengan ketentuan:

$\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$? momentum benda 1 dan 2 sesaat sebelum berinteraksi (tumbukan),

$\mathbf{p}_1', \mathbf{p}_2'$? momentum benda 1 dan 2 sesaat sesudah berinteraksi (tumbukan),

$\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$? kelajuan benda 1 dan 2 sesaat sebelum berinteraksi (tumbukan),

$\mathbf{v}_1', \mathbf{v}_2'$? kelajuan benda 1 dan 2 sesaat sesudah berinteraksi (tumbukan),

m_1, m_2 ? massa benda 1 dan 2.

✍ Momentum adalah besaran vektor, untuk interaksi atau tumbukan pada satu garis lurus (satu dimensi), maka arah vektor cukup dinyatakan dengan tanda positif atau negatif. Misalkan arah ke kanan diberi tanda positif dan ke kiri bertanda negatif. Untuk benda yang sebelum berinteraksi dalam keadaan diam, maka baik kecepatan maupun momentumnya bernilai nol. Untuk momentum dalam bidang, maka penjumlahannya mengikuti aturan penjumlahan vektor.

Contoh 5:

Sebuah peluru bermassa 10 gram ditembakkan mendatar dengan kecepatan 200 m/s. Jika massa senapan 2 kg, tentukan kecepatan senapan mendorong bahu penembak.

Jawab:

Sistem dalam soal ini adalah interaksi antara peluru (berindeks 1) dan senapan (berindeks 2). Massa peluru

$m_1 = 10 \text{ gram} = 0,01 \text{ kg}$, massa senapan $m_2 = 2 \text{ kg}$.

☞ Sesaat sebelum interaksi: $v_1 = v_2 = 0$ (senapan dan peluru diam), sehingga jumlah momentumnya

$$p = p_1 + p_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0.$$

☞ Sesaat setelah interaksi: kelajuan peluru $v_1' = 200 \text{ m/s}$, sehingga jumlah momentumnya:

$$p' = p_1' + p_2' = m_1 v_1' + m_2 v_2' = (0,01)(200) + 2 v_2' = 2 + 2 v_2'$$

☞ Berlaku hukum kekekalan momentum:

$$p = p'$$

$0 = 2 + 2 v_2'$, sehingga $v_2' = -1 \text{ m/s}$ (tanda negatif menyatakan bahwa senapan terpental berlawanan dengan arah gerak peluru)

Contoh 6:

Sebuah mobil dan sebuah truk yang bergerak saling mendekat pada suatu jalan lurus mendatar bertabrakan sentral dan saling menempel sesaat setelah tabrakan. Sesaat sebelum tabrakan terjadi, mobil bergerak dengan kelajuan 20 m/s dan truk 10 m/s. Massa mobil 1200 kg dan massa truk 3800kg. Tentukan besar dan arah kelajuan mobil dan truk setelah tabrakan.

Jawab:

Sistem dalam soal ini adalah mobil (berindeks 1) dan truk (berindeks 2) yang saling bertabrakan (bertumbukan). Massa mobil $m_1 = 1200 \text{ kg}$, dan massa truk $m_2 = 3800 \text{ kg}$.

☞ Sesaat sebelum tumbukan:

$v_1 = 20 \text{ m/s}$ (arah gerak mobil sebagai arah positif),

$v_2 = -10 \text{ m/s}$ (arah gerak truk berlawanan dengan mobil)

Jumlah momentumnya:

$$p = p_1 + p_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$$

$$p = (1200)(20) + (3800)(-10) = -14000 \text{ kgm/s}$$

☞ Sesaat setelah tumbukan:

Mobil dan truk saling menempel, sehingga keduanya memiliki kecepatan sama, yaitu v' .

Jumlah momentumnya:

$$p = p_1' + p_2' = m_1 v' + m_2 v' = (m_1 + m_2)v' = (1200 + 3800)v' = 5000v'$$

☞ Berlaku hukum kekekalan momentum:

$$p = p'$$

$-14000 = 5000 v'$, sehingga $v' = -2,8 \text{ m/s}$ (tanda negatif menyatakan bahwa kecepatan mobil dan truk adalah $2,8 \text{ m/s}$ dalam arah berlawanan dengan gerak mobil sebelum tumbukan)

Contoh 7:

Dua orang bermassa sama masing-masing 60 kg berada dalam sebuah perahu bermassa 300 kg yang sedang bergerak ke timur dengan kelajuan tetap 3 m/s . Tentukan kecepatan perahu itu sesaat setelah:

a) satu orang terjatuh dari perahu

b) satu orang melompat ke arah barat dengan kelajuan 4 m/s .

Jawab:

Sistem dalam soal ini adalah perahu ditambah satu penumpang (berindeks 1), massanya

$m_1 = 300\text{kg} + 60\text{kg} = 360\text{kg}$ dan satu penumpang lain yang terjatuh (melompat), bermassa $m_2 = 60\text{kg}$.

☞ Sesaat sebelum interaksi:

$v_1 = v_2 = 3\text{m/s}$, (perahu dan dua penumpang bergerak bersama ke arah timur)

Jumlah momentumnya:

$$p = p_1 + p_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = (360)(3) + (60)(3) = 1260\text{kgm/s}$$

☞ Sesaat setelah interaksi:

a) satu orang terjatuh dari perahu, maka laju orang jatuh $v_2' = 0$, sedangkan kecepatan perahu dan satu orang penumpang lainnya adalah v_1'

Jumlah momentumnya:

$$p' = p_1' + p_2' = m_1 v_1' + m_2 v_2' = (360) v_1' + (60)(0) = (360) v_1'$$

Berlaku hukum kekekalan momentum:

$$p = p'$$

$1260 = 360v_1'$, sehingga $v_1' = 3,5\text{m/s}$ (arah perahu sama sebelum interaksi, yaitu ke arah timur)

b) satu orang melompat ke barat dengan kecepatan $v_2' = -3\text{m/s}$ (arah timur bertanda positif dan arah barat bertanda negatif), sedangkan kecepatan perahu dan satu orang penumpang lainnya adalah v_1' .

Jumlah momentumnya:

$$p' = p_1' + p_2' = m_1 v_1' + m_2 v_2' = (360)v_1' + (60)(3) \\ = (360)v_1' + 180$$

Berlaku hukum kekekalan momentum:

$$p = p'$$

$$1260 = 360v_1' + 180$$

$1440 = 360v_1'$, sehingga $v_1' = 4$ m/s (*arah perahu sama sebelum interaksi, yaitu ke arah timur*)

d) Tumbukan

➤ Pada kasus tumbukan di mana gaya luar tidak bekerja pada sistem tersebut, maka berlaku hukum kekekalan momentum, sedangkan hukum kekekalan energi kinetik tidak selalu berlaku, bergantung pada jenis tumbukannya. Pada umumnya energi kinetik akan berkurang setelah terjadi tumbukan, karena sebagian energi kinetik diubah menjadi energi kalor, energi bunyi, atau energi bentuk yang lain saat terjadi tumbukan.

➤ Jenis-jenis tumbukan:

- a. Tumbukan lenting sempurna;
- b. Tumbukan tak lenting sama sekali;
- c. Tumbukan tak lenting (lenting sebagian).

1) Tumbukan Lenting Sempurna

➤ Pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum *kekekalan momentum* dan hukum *kekekalan energi kinetik*.

➤ Contoh peristiwa yang mengalami tumbukan lenting sempurna adalah tumbukan antara partikel-partikel gas dalam wadahnya dan antara partikel gas dengan dinding wadahnya, tumbukan antara partikel-partikel atomik dan subatomik. Tumbukan antara bola-bola biliar hampir mendekati lenting sempurna.

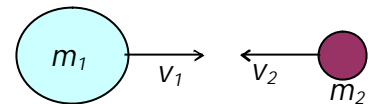
➤ Perhatikan proses tumbukan di bawah ini.

✍ Benda bermassa m_1 dan m_2 yang sedang bergerak saling mendekat dengan kecepatan v_1 dan v_2 sepanjang suatu garis lurus, (seperti gambar a) di samping. Keduanya bertumbukan lenting sempurna dan kecepatan masing –masing sesaat setelah tumbukan adalah v_1' dan v_2' , (seperti gambar b). Arah kecepatan dapat positif atau negatif bergantung pada arah benda ke kanan atau ke kiri.

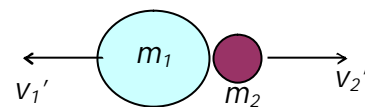
Menurut hukum kekekalan momentum akan dihasilkan hubungan:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \text{ ----- (i)}$$

Dari persamaan tersebut tampak bahwa, jika kecepatan sesaat sebelum tumbukan v_1 dan v_2 diketahui, sedangkan kecepatan sesaat sesudah tumbukan v_1' dan v_2' yang tak diketahui, tidak dapat



a) sesaat sebelum tumbukan



b) sesaat setelah tumbukan

diselesaikan dengan satu persamaan saja. Oleh karena itu, diperlukan satu persamaan lagi yang menghubungkan v_1' dan v_2' .

Dalam tumbukan lenting sempurna selain berlaku hukum kekekalan momentum juga berlaku hukum kekekalan energi kinetik, yaitu jumlah energi kinetik sesaat sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama besarnya, sehingga memberikan persamaan:

$$Ek_1 + Ek_2 = Ek_1' + Ek_2'$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \text{ ----- (ii)}$$

Dari persamaan (i) dan (ii) dapat diturunkan hubungan baru antara v_1 , v_2 , v_1' , dan v_2' sebagai berikut:

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

atau

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

dengan,

$v_2 - v_1$, adalah kecepatan relatif benda 2 dilihat oleh benda 1 sesaat sebelum tumbukan, sedangkan $v_1' - v_2'$, adalah kecepatan relatif benda 2 dilihat oleh benda 1 sesaat setelah tumbukan. Dapat disimpulkan bahwa dalam tumbukan lenting sempurna, *kecepatan relatif sesaat setelah tumbukan sama dengan minus kecepatan relatif sesaat sebelum tumbukan.*

Untuk menyelesaikan soal-soal yang berkaitan dengan tumbukan lenting sempurna dipakai *persamaan hukum kekekalan momentum* dan *persamaan kecepatan relatif*.

Ingat anda harus memberikan tanda *positif* atau *negatif* pada kecepataannya.

Contoh 8 :

Dua buah bola bermassa masing-masing 50 gram dan 80 gram bergerak saling mendekat masing-masing dengan kelajuan 10 cm/s dan 20 cm/s. Jika terjadi tumbukan lenting sempurna, maka tentukan kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan.

Jawab:

Untuk menyelesaikan soal yang berkaitan dengan tumbukan lenting sempurna, digunakan persamaan hukum kekekalan momentum dan kecepatan relatif, yaitu:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad \text{dan} \quad v_2' - v_1' = -(v_2 - v_1)$$

massa bola 1, $m_1 = 50$ gram,

massa bola 2, $m_2 = 80$ gram,

kecepatan sebelum tumbukan:

kecepatan bola 1, $v_1 = 10 \text{ cm/s}$ (arah ke kanan)

kecepatan bola 2, $v_2 = 20 \text{ cm/s}$ (arah ke kiri)

Persamaan hukum kekekalan momentum:

$$\begin{aligned} m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \\ (50)(10) + (80)(-20) &= (50)v_1' + (80)v_2' \\ 110 &= 5v_1' + 8v_2' \end{aligned} \quad (*)$$

Persamaan kecepatan relatif:

$$\begin{aligned} v_2' - v_1' &= -(v_2 - v_1) \\ v_2' - v_1' &= -(20 - 10) \\ v_2' - v_1' &= -30 \end{aligned} \quad (**)$$

Dari persamaan (*) dan persamaan (**) dapat dihitung kecepatan v_1' dan v_2' , yaitu dengan menyisipkan $v_2' = 30 - v_1'$ dari persamaan (**) ke persamaan (*), sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} 5v_1' + 8(30 - v_1') &= 110 \\ 13v_1' &= 110 - 240 \\ 13v_1' &= -130 \quad v_1' = -10 \text{ cm/s, sehingga} \\ v_2' &= 30 - v_1' = 30 - (-10) = 20 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Ternyata kecepatan bola sebelum dan sesudah tumbukan besarnya sama dan arahnya berlawanan, baik untuk bola 1 maupun bola 2.

2) Tumbukan Tak Lenting Sama Sekali

- ✍ Pada tumbukan tak lenting sama sekali berlaku hukum kekekalan momentum, tetapi *hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku*.
- ✍ Setelah terjadi tumbukan kedua benda bersatu dan bergerak bersama dengan kecepatan yang sama, sehingga:
 $v_2' = v_1' = v'$
- ✍ Hukum kekekalan momentum menjadi:

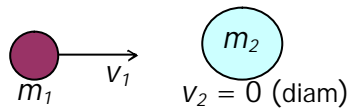
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

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

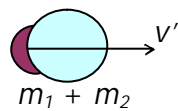
Contoh 9:

Sebuah benda bermassa m_1 dan bergerak dengan kecepatan v_1 menumbuk benda lain bermassa m_2 yang diam ($v_2 = 0$). Setelah tumbukan kedua benda bersatu dan bergerak dengan kecepatan v' . Tentukan perbandingan jumlah energi kinetik sistem sebelum tumbukan dengan jumlah energi kinetik sistem setelah tumbukan.

Jawab:



a) sesaat sebelum tumbukan



b) sesaat setelah tumbukan

Sesaat sebelum tumbukan:

o Momentum sistem:

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$p = m_1 v_1 \dots\dots\dots(i),$$

sebab $v_2 = 0$

o Energi kinetik sistem:

$$Ek = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$Ek = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{(m_1 v_1)^2}{2 m_1}$$

Sisipkan persamaan (i) ke persamaan di atas diperoleh

$$Ek = \frac{p^2}{2 m_1}$$

Sesaat setelah tumbukan:

o Momentum sistem:

$$p' = (m_1 + m_2) v' , \text{ sesuai hukum kekekalan momentum}$$

$$p' = p , \text{ maka } (m_1 + m_2) v' = p \dots\dots\dots(ii)$$

Energi kinetik sistem:

$$Ek' = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)(v')^2 = \frac{[(m_1 + m_2)v']^2}{2(m_1 + m_2)},$$

sisipkan persamaan (ii) akan diperoleh:

$$Ek' = \frac{p^2}{2(m_1 + m_2)}$$

Perbandingan energi kinetik sebelum dan setelah tumbukan adalah:

$$\frac{Ek'}{Ek} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

Dari persamaan terakhir tersebut terlihat bahwa energi kinetik setelah tumbukan *lebih kecil* dari pada energi kinetik sebelum tumbukan. Hal ini menunjukkan adanya energi kinetik yang berubah menjadi bentuk energi lain.

Contoh 10:

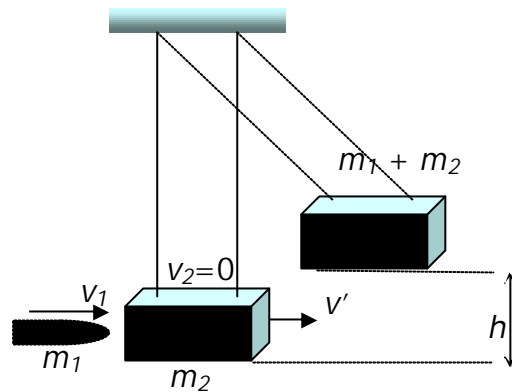
Suatu ayunan balistik digunakan untuk mengukur kecepatan sebuah peluru yang bergerak cepat. Peluru bermassa m_1 ditembakkan ke dalam suatu balok besar bermassa m_2 yang tergantung pada beberapa utas kawat ringan. Peluru tertanam dalam balok, dan keseluruhan sistem balok-peluru berayun hingga mencapai ketinggian h .

- Tentukan kecepatan awal peluru v_1 sesaat sebelum mengenai balok dalam variabel m_1 , m_2 , dan h .
- Jika massa peluru 10 gram, massa balok 1,5 kg, ketinggian vertikal yang dicapai 10 cm dan percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$, maka tentukan kecepatan awal peluru v_1 .

Jawab:

- Menentukan kecepatan awal peluru:

Tumbukan peluru dengan balok termasuk tumbukan tak lenting sama sekali, karena setelah tumbukan peluru tertanam dalam balok, maka digunakan persamaan:



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

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

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_2) v'}{m_1} \dots\dots\dots (i)$$

☞ Kelajuan sistem peluru-balok sesaat setelah tumbukan v' dihitung dengan menerapkan hukum kekekalan energi mekanik untuk kedudukan sistem sesaat setelah tumbukan dengan kedudukan sistem pada saat mencapai ketinggian maksimum h . Dalam hal ini terjadi perubahan energi kinetik (sesaat setelah tumbukan) menjadi energi potensial pada ketinggian maksimum. Diperoleh hubungan:

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

$$v' = \sqrt{2 g h}$$

Jika nilai v' ini disisipkan ke dalam persamaan (i) di atas, maka akan diperoleh hubungan kecepatan awal peluru dengan ketinggian vertikal maksimum ayunan h , yaitu:

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \sqrt{2 g h}$$

b) Menghitung kecepatan awal peluru jika diketahui massa peluru $m_1 = 10 \text{ gram} = 0,01 \text{ kg}$, massa balok $m_2 = 1,5 \text{ kg}$, ketinggian maksimum $h = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ adalah:

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \sqrt{2 g h} = \frac{(0,01 + 1,5)}{0,01} \sqrt{2 (9,8)(0,1)}$$

$$v_1 = \frac{(0,01 + 1,5)}{0,01} \sqrt{2 (9,8)(0,1)} = 151 \sqrt{1,96} = 151(1,4) = 211,4 \text{ m/s}$$

Contoh 11:

Sebuah mobil bermassa 2000 kg yang bergerak dengan kelajuan 15 m/s bertabrakkan sentral dengan mobil bermassa 1000 kg yang bergerak dengan kelajuan 20 m/s dan berlawanan arah dengan mobil pertama. Setelah tabrakan kedua mobil bergerak bersama.

- Hitung kecepatan kedua mobil setelah tabrakan
- Hitung energi kinetik yang hilang.

Jawab:

Massa mobil I, $m_1 = 2000\text{kg}$, kecepatannya $v_1 = 15\text{m/s}$ (diambil arah positif).

Massa mobil II, $m_2 = 1000\text{kg}$ kecepatannya $v_2 = 20\text{m/s}$ (berlawanan arah dengan mobil I).

- Tumbukan kedua mobil adalah tak lenting sama sekali, karena setelah tumbukan kedua mobil bergerak bersama dengan kecepatan $v_1' = v_2' = v'$.

Berlaku hukum kekekalan momentum:

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

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(2000)(15) + (1000)(-20)}{2000 + 1000} = \frac{10000}{3000} = 3,3\text{m/s}$$

(arah sesuai dengan arah mobil I)

- Energi kinetik sebelum tabrakan:

$$Ek = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} (2000)(15)^2 + \frac{1}{2} (1000)(-20)^2$$

$$Ek = 225000 + 200000 = 425000 \text{ Joule}$$

Energi kinetik setelah tumbukan:

$$Ek' = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) (v')^2 = \frac{1}{2} (2000 + 1000) \left(\frac{10}{3}\right)^2 = 1500 \left(\frac{100}{9}\right) = 16667 \text{ Joule}$$

Energi kinetik yang hilang:

$$Ek_{\text{hilang}} = Ek - Ek' = 425000 - 16667 = 408333 \text{ Joule}$$

3) Tumbukan Lenting Sebagian

- Sebagian besar tumbukan adalah tumbukan lenting sebagian yang berada di antara dua keadaan ekstrem, yaitu tumbukan lenting sempurna dan tumbukan tak lenting sama sekali.
- Untuk menjelaskan tumbukan lenting sebagian, perlu dijelaskan lebih dahulu tentang *koefisien restitusi*.
- Koefisien restitusi** adalah negatif perbandingan antara kecepatan relatif sesaat setelah tumbukan dengan kecepatan relatif sesaat sebelum tumbukan (*diberi lambang e*).

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

- Tumbukan lenting sempurna memiliki koefisien restitusi $e = 1$, karena $v_2' = v_1'$.
- Sedangkan tumbukan tak lenting sama sekali memiliki koefisien restitusi $e = 0$, karena $v_2' = v_1'$ atau $v_2' - v_1' = 0$.
- Karena tumbukan lenting sebagian berada di antara dua ekstrem, yaitu tumbukan tak lenting sama sekali dan tumbukan lenting sempurna, maka jelaslah bahwa koefisien restitusinya adalah $0 < e < 1$, misalnya $e = \frac{1}{3}$, $e = \frac{1}{4}$, dan $e = \frac{1}{2}$.

Contoh 12:

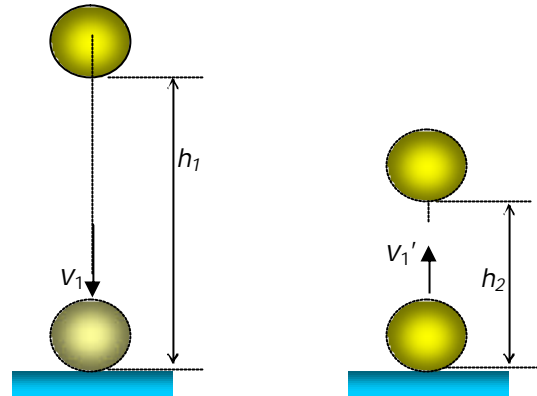
Sebuah bola tenis jatuh bebas dari ketinggian h_1 di atas lantai dan setelah menumbuk lantai bola terpantul kembali setinggi h_2 .

- Tentukan koefisien restitusi sebagai fungsi h_1 dan h_2 .
- Jika $h_1 = 2\text{ m}$ dan $h_2 = 0,5\text{ m}$, hitung koefisien restitusi tumbukan tersebut.

Jawab:

- Tumbukan antara bola tenis dengan lantai. Bola tenis (berindeks 1) dan lantai (berindeks 2).

- ? Sesaat sebelum tumbukan dan sesaat setelah tumbukan lantai tetap diam, sehingga $v_2' = v_2 = 0$.



- ? Dari contoh 2, pada materi pengertian impuls telah ditunjukkan bahwa kelajuan bola tenis sesaat sebelum dan setelah tumbukan dengan lantai memenuhi persamaan: $v = \sqrt{2gh}$.

- ? Kecepatan bola tenis sesaat sebelum tumbukan dan sebelum tumbukan adalah:

$v_1 = \sqrt{2gh_1}$ dan $v_1' = \sqrt{2gh_2}$ (Arah ke atas ditetapkan positif), sehingga v_1 negatif karena arahnya ke bawah.

- a) Koefisien restitusi tumbukan antara bola tenis dengan lantai ditentukan dengan menggunakan persamaan:

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

$$e = \frac{[0 - (\sqrt{2gh_2})]}{0 - (\sqrt{2gh_1})} = \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}}$$

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

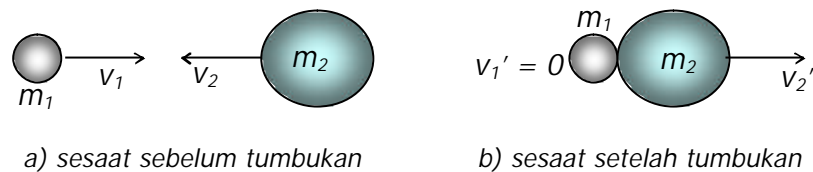
- b) Untuk $h_1 = 2\text{m}$ dan $h_2 = 0,5\text{m}$, maka koefisien restitusi tumbukan adalah:

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{0,5}{2}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

Contoh 13:

Dua bola bermassa 3 kg dan 6 kg sedang bergerak dengan kecepatan masing-masing 4 m/s dan 1 m/s dan saling mendekat sepanjang garis yang menghubungkan titik-titik pusat kedua bola. Sesudah tumbukan bola 3 kg berhenti. Tentukan koefisien restitusi tumbukan antara kedua bola.

Jawab:



- ✍ Massa bola I, $m_1 = 3$ kg, massa bola II, $m_2 = 6$ kg
- ✍ Kecepatan sesaat sebelum tumbukan:
Bola I, $v_1 = + 4$ m/s (*arah ke kanan sebagai arah positif*)
Bola II, $v_2 = - 1$ m/s (*arah ke kiri sebagai arah negatif*)
- ✍ Kecepatan sesaat setelah tumbukan:
Bola I, $v_1' = 0$ (*setelah tumbukan bola I berhenti*)
- ✍ Untuk menentukan besar koefisien restitusi, dihitung lebih dahulu kecepatan bola II sesaat setelah tumbukan dengan menggunakan hukum kekekalan momentum:
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$
$$(3)(4) + (6)(-1) = (3)(0) + (6) v_2'$$
$$6 - (6) v_2' = 3 \quad v_2' = 1 \text{ m/s (arah ke kanan)}$$
- ✍ Koefisien restitusi dihitung dengan rumus:
$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} = \frac{1 - 0}{-1 - 4} = \frac{1}{5} = 0,2$$
- ✍ Jadi koefisien restitusi tumbukan antara kedua bola tersebut adalah 0,2. Hal ini menunjukkan bahwa tumbukannya adalah lenting sebagian.

e) Aplikasi Impuls dan Momentum dalam Teknologi dan Keseharian

Pada peristiwa tabrakan atau tumbukan, gaya impuls yang dikerjakan pada benda bergantung pada selang waktu kontak. Makin lama waktu kontak, makin kecil gaya impuls yang dikerjakan pada benda. Dari rumus impuls $I = F \cdot t$ atau $F = \frac{I}{t}$ tampak bahwa gaya impuls (F) berbanding terbalik dengan selang waktu kontak (t). Penyebab rasa sakit pada peristiwa tabrakan atau tumbukan adalah gaya impuls (F) bukan impuls (I). Untuk impuls yang sama, gaya impuls akan makin kecil jika selang waktu kontak makin lama. Prinsip memperlama selang waktu kontak bekerjanya impuls agar gaya impuls yang dikerjakan pada suatu benda menjadi lebih kecil ditunjukkan pada beberapa aplikasi teknologi dan keseharian.

Manfaat Sabuk Pengaman

Apa yang terjadi pada pengemudi dan penumpang ketika mobil bertabrakan dan berhenti dengan cepat? Menurut hukum kelembaman (*inersia*), maka pengemudi dan penumpang akan mempertahankan lajunya dengan bergerak ke depan dengan kelajuan yang sama dengan kelajuan mobil sesaat sebelum tabrakan terjadi. Agar tidak terjadi benturan antara pengemudi dengan setir atau penumpang dengan jok di depannya, maka diperlukan impuls untuk mengurangi momentum pengemudi atau penumpang menjadi nol (memberhentikan pengemudi atau penumpang). Setir kemudi atau jok dapat memberikan impuls pada pengemudi atau penumpang dalam selang waktu yang cepat, sehingga menghasilkan gaya impuls yang sangat besar dan tentu saja berbahaya bagi keselamatan pengemudi atau penumpang.

Untuk menjaga keselamatan pengemudi atau penumpang, maka diperlukan suatu alat untuk menahan momentumnya saat terjadi

tabrakan, yaitu *sabuk pengaman*. Sebuah sabuk keselamatan dirancang khusus untuk dapat memberikan impuls yang dapat memberhentikan pengemudi atau penumpang dalam selang waktu tertentu setelah pengemudi dan sabuk pengaman menempuh jarak tertentu yang aman, yaitu kira-kira 50 cm. Oleh karena itu sabuk pengaman dirancang dari bahan yang elastis (tidak kaku). Jika sabuk pengaman terbuat dari bahan yang kaku, maka pada saat tabrakan sabuk akan mengerjakan impuls pada tubuh pengemudi atau penumpang dalam waktu yang sangat singkat. Hal ini akan menghasilkan gaya impuls yang sangat besar yang bekerja pada tubuh pengemudi atau penumpang, sehingga sangat menyakitkan bahkan dapat membahayakan jiwanya.

Desain Mobil

Tabrakan yang menghasilkan kedua mobil saling menempel sesaat setelah tabrakan lebih tidak membahayakan (karena waktu kontak lebih lama) dibandingkan dengan tabrakan sentral yang menyebabkan kedua mobil saling terpental sesaat sesudah tabrakan (karena waktu kontak lebih singkat). Untuk menghasilkan waktu kontak yang lebih lama saat tabrakan, maka bagian depan dan belakang mobil didesain agar dapat menggumpal secara perlahan.

Manfaat Helm

Helm pengendara motor diberi lapisan lunak di dalamnya dengan tujuan memperlama selang waktu kontak ketika terjadi tabrakan. Dengan desain helm serti ini diharapkan bagian kepala pengendara terlindung dari benturan keras (gaya impuls) yang dapat membahayakan jiwanya.

Desain Palu

Sebuah palu didesain dari bahan yang keras. Hal ini dimaksudkan agar selang waktu kontak antara palu dengan paku menjadi sesingkat mungkin sehingga dihasilkan gaya impuls yang besar dan dapat menancapkan paku. Coba anda bayangkan jika palu terbuat dari bahan yang elastis!

Sarung Tinju

Petinju diberi sarung tinju dengan maksud agar impuls yang diberikan oleh pukulan memiliki waktu kontak lebih lama sehingga gaya impuls yang dihasilkan pukulan tidak membahayakan bagi petinju yang menerima pukulan. Hal ini berbeda dengan petinju langsung dipukul dengan tangan telanjang.

Roket

Anda pernah melihat peristiwa peluncuran pesawat ulang-alik Columbia? Bagaimana pesawat ulang-alik Columbia terdorong ke atas? Bagaimana mungkin hanya dengan semburan gas panas yang keluar dari ekor booster, pesawat ulang-alik dapat terdorong ke atas? Bagaimana proses sampai munculnya gaya dorong ini?

Persamaan hukum II Newton dalam bentuk momentum, yaitu:

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta (m \mathbf{v})}{\Delta t}$$

Hukum II Newton ini menyatakan bahwa jika suatu benda mengalami perubahan momentum $\Delta \mathbf{p} = \Delta (m \mathbf{v})$ dalam suatu selang waktu Δt , maka pada benda itu bekerja suatu resultan gaya \mathbf{F} .

Sebuah roket mengandung tangki yang berisi bahan hidrogen cair dan oksigen cair. Kedua bahan bakar ini dicampur dalam ruang pembakaran sehingga terjadi pembakaran yang menghasilkan

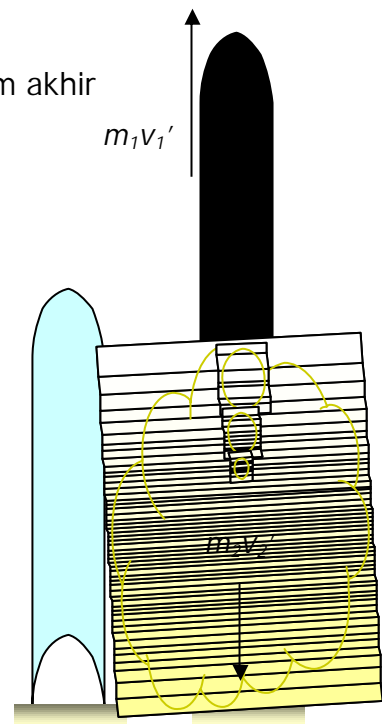
gas panas yang akan menyembur keluar melalui mulut pipa yang terletak pada ekor roket. Akibatnya, terjadi perubahan momentum gas dari nol menjadi $m\mathbf{v}$ selama selang waktu tertentu Δt . Sesuai dengan hukum II Newton, $\Delta p / \Delta t$ gas ini menghasilkan gaya \mathbf{F} pada gas yang dikerjakan oleh roket. Gaya aksi ini berarah vertikal ke bawah, sehingga timbul gaya reaksi yang dikerjakan gas pada roket, yang besarnya sama dengan gaya aksi tetapi arahnya berlawanan (*sesuai dengan hukum III Newton*). Jelaslah bahwa gaya reaksi yang dikerjakan gas pada roket berarah vertikal ke atas, sehingga roket akan terdorong ke atas. Jika gaya berat roket diabaikan sehingga tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem roket, maka prinsip terdorongnya roket memenuhi hukum kekekalan momentum.

Mula-mula roket (berindeks 1) dan bahan bakar (berindeks 2) dalam keadaan diam, maka jumlah momentum sistem awal sama dengan nol. Setelah gas menyembur keluar dari roket, maka jumlah momentum sistem adalah tetap atau momentum sistem sebelum dan sesudah gas keluar adalah sama.

momentum sistem awal = momentum sistem akhir

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

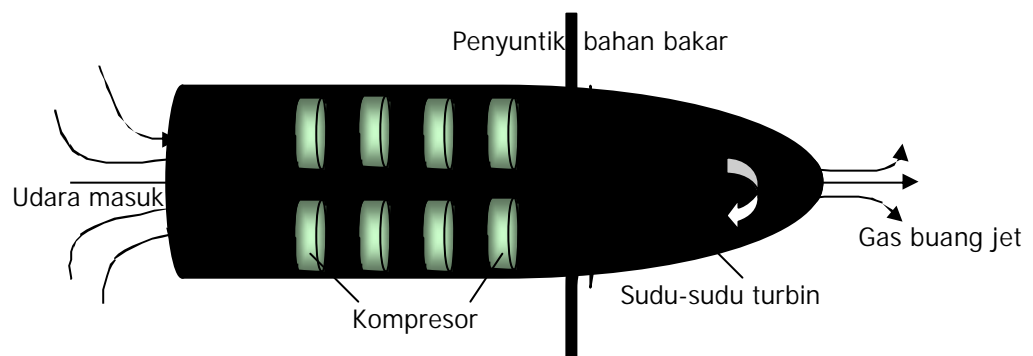
$$m_1 v_1' = - m_2 v_2'$$



Sesuai dengan hukum kekekalan momentum, kelajuan akhir yang dapat dicapai sebuah roket bergantung pada banyaknya bahan bakar yang dapat dibawa (m_2) oleh roket dan bergantung juga pada kelajuan pancaran gas (v_2'). Oleh karena kedua besaran tersebut terbatas jumlahnya, maka digunakan roket-roket bertahap, artinya beberapa roket digabung bersama. Begitu bahan bakar tahap pertama telah habis dibakar, maka roket ini dilepaskan sehingga pesawat akan lebih ringan karena tidak lagi membawa roket pertama.

Kemudian dilakukan dengan pembakaran bahan bakar roket kedua dan seterusnya sampai seluruh roket telah terbakar bahan bakarnya.

Mesin Jet



Hukum kekekalan momentum diaplikasikan juga pada prinsip kerja mesin jet seperti juga pada roket. Perbedaan mesin jet dengan roket adalah berkaitan dengan bahan bakar oksigennya. Pada roket oksigen terdapat dalam tangki roket, sedangkan pada mesin jet oksigen diambil dari udara disekitarnya. Oleh karena itu roket dapat bekerja di antariksa sedang mesin jet tidak dapat (hanya bekerja di atmosfer)

Gambar di atas memperlihatkan diagram sederhana sebuah mesin jet.

Langkah-langkah kerja mesin jet adalah sebagai berikut:

- ↳ Udara dari atmosfer dihisap ke dalam mesin melalui bagian depan mesin.
- ↳ Setelah masuk udara dimampatkan oleh sudu-sudu kompresor.

- ↳ Bahan bakar diinjeksikan dalam ruang bakar dan dibakar oleh udara yang dimampatkan.
- ↳ Dalam pembakaran akan terjadi ledakan gas panas yang ditekan melalui mesin kemudian akan memutar sudu-sudu turbin yang selanjutnya akan memutar kompresor.
- ↳ Gas-gas dengan kelajuan tinggi keluar dari belakang mesin dengan momentum tinggi, sehingga akan dihasilkan momentum pada mesin jet yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan, yaitu mesin jet menerima momentum ke arah depan.

c. Rangkuman

➤ **Momentum** adalah ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda dan didefinisikan sebagai hasil kali *massa* dengan *kecepatannya*. Momentum adalah besaran vektor dan satuannya dalam SI adalah kg m s^{-1} . Rumus momentum:

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

➤ Besar resultan dari dua buah momentum secara vektor dihitung dengan metode analitis, dengan:

Besar resultan: $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$

Arah resultan : $\tan \theta = \frac{p_y}{p_x}$

➤ **Impuls** didefinisikan sebagai hasil kali gaya impuls dengan selang waktu singkat bekerjanya gaya. Impuls termasuk besaran vektor dan satuannya dalam SI adalah N s atau kg m s^{-1} . Rumus impuls:

$$\mathbf{I} = \mathbf{F} \cdot t$$

➤ Teorema impuls dan momentum menyatakan bahwa impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentum benda.

$$\mathbf{I} = \mathbf{p} = m \mathbf{v}_2 - m \mathbf{v}_1$$

- Jika grafik gaya terhadap waktu (grafik $F-t$) diketahui maka impuls yang bekerja dalam selang waktu $t_2 - t_1$ sama dengan luas daerah di bawah grafik $F - t$ yang dibatasi oleh t_2 dan t_1 .

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

- **Hukum kekekalan momentum** berbunyi: Jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada suatu sistem, maka momentum awal sistem sama dengan momentum akhir sistem.

Hukum kekekalan momentum berlaku untuk interaksi antara dua benda dan tumbukan antara dua benda.

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

- Untuk semua jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum. Kelentingan (elastisitas) suatu tumbukan dinyatakan dengan **koefisien restitusi** (e) yang didefinisikan sebagai negatif dari perbandingan antara kecepatan relatif setelah tumbukan dan kecepatan relatif sebelum tumbukan.

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

Jenis-jenis tumbukan:

- ⊕ **Tumbukan lenting sempurna** adalah tumbukan dimana, selain berlaku hukum kekekalan momentum juga berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Tumbukan lenting sempurna memiliki koefisien restitusi $e = 1$. Permasalahan yang berkaitan dengan tumbukan lenting sempurna diselesaikan dengan dua persamaan:

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

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

- ⊕ **Tumbukan tak lenting sama sekali** adalah tumbukan dimana sesaat setelah tumbukan kedua benda bersatu dan bergerak bersama. Pada tumbukan tak lenting sama sekali tidak berlaku kekekalan energi kinetik, sebab sebagian energi diubah ke bentuk

lain, misalnya energi kalor, energi bunyi dan kerusakan pada kedua benda. Koefisien restitusi dalam tumbukan ini adalah $e = 0$. Soal-soal yang berkaitan dengan tumbukan tak lenting sama sekali dapat diselesaikan dengan sebuah persamaan:

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

✦ **Tumbukan lenting sebagian** adalah tumbukan yang berada diantara dua ekstrem, yaitu tumbukan lenting sempurna dan tumbukan tak lenting sama sekali. Koefisien restitusinya adalah $0 < e < 1$. Soal-soal yang berkaitan dengan tumbukan ini diselesaikan dengan rumus kekekalan momentum dan koefisien restitusi, yaitu:

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

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

d. Tugas

Pertanyaan Konsep:

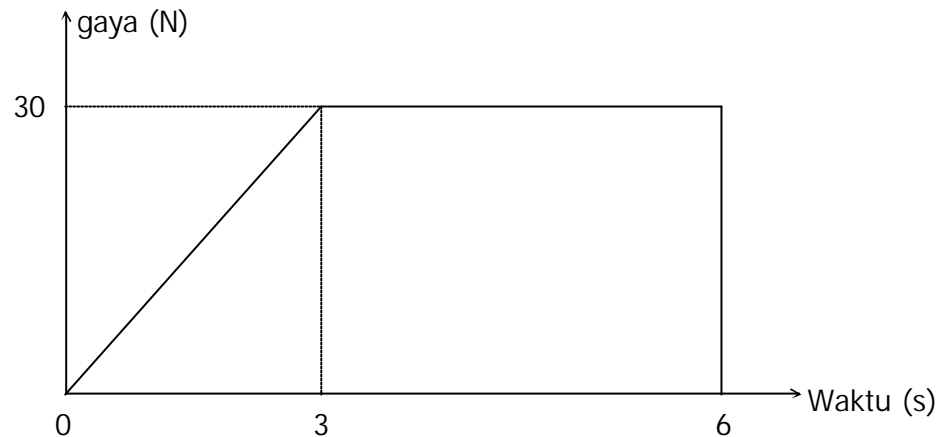
1. Jelaskan yang anda ketahui tentang:
 - a. Momentum
 - b. Impuls
 - c. Hukum kekekalan momentum
 - d. Tumbukan lenting sempurna
 - e. Tumbukan tak lenting sama sekali
 - f. Tumbukan lenting sebagian
 - g. Koefisien restitusi
2. Dua buah benda memiliki energi kinetik sama, tetapi massanya berbeda. Apakah momentum kedua benda tersebut sama? Jelaskan jawaban anda!
3. Momentum adalah besaran vektor. Apakah pernyataan tersebut benar? Berikan alasan jawaban anda.

4. Mengapa meninju dinding keras akan terasa lebih sakit dibandingkan dengan meninju sebuah bantal yang empuk, jika diberikan impuls yang sama? Berikan penjelasan anda.
5. Apakah pernyataan berikut dapat menghasilkan impuls? Berikan penjelasan anda.
 - a. Mobil bergerak dengan cepat
 - b. Mobil bertabrakan dengan truk
 - c. Bola kasti meluncur
 - d. Bola kasti dipukul
 - e. Gerobak didorong
7. Ada dua kejadian, *pertama* dua buah mobil bergerak berlawanan arah bertabrakan dan saling terpental sesaat setelah bertabrakan, *kedua* dua buah mobil bergerak berlawanan arah bertabrakan dan saling menempel sesaat setelah bertabrakan. Dari kedua kejadian tersebut manakah tumbukan yang lebih berbahaya bagi penumpang mobil? Berikan penjelasan anda.
8. Seorang tentara menembak dengan senjata laras panjang. Mengapa tentara tersebut meletakkan gagang senjata pada bahunya? Berikan penjelasan anda berkaitan dengan impuls dan momentum.
9. Anda bersepeda motor dengan kelajuan tinggi, tiba-tiba sepeda motor berhenti mendadak dan anda terpelanting melampaui setir. Mengapa anda dapat terpelanting melampaui setir?
10. Dua buah benda terbuat dari bahan yang mudah melekat dan massa kedua benda sama, bergerak saling berlawanan arah dengan kelajuan sama dan bertumbukan. Sesaat setelah tumbukan kedua benda saling melekat dan kemudian berhenti. Apakah jumlah momentum kedua benda kekal, sebelum dan sesudah tumbukan? Bagaimana dengan energi kinetiknya?
11. Pada tumbukan tak lenting sama sekali, semua energi kinetik kedua benda yang bertumbukan akan hilang. Apakah pernyataan tersebut benar? Berikan alasan anda dan contohnya.

Pertanyaan Soal:

1. Sebuah mobil A bermassa 1,5 ton bergerak ke timur dengan kelajuan 90 km/jam dan sebuah mobil B bermassa 2,5 ton bergerak ke utara dengan kelajuan 72 km/jam. Hitunglah besar dan arah:
 - (a) Momentum mobil A dan mobil B
 - (b) Resultan momentum mobil A dan mobil B
2. Jika benda yang massanya 2 kg bergerak sejauh 20 meter dalam waktu 4,0 detik, maka berapakah rata-rata momentumnya?
3. Sebuah bola bermassa 200 gram jatuh bebas dari ketinggian 20 meter dari tanah. Setelah menumbuk tanah bola terpantul dengan kelajuan setengah dari kelajuan saat menumbuk tanah. Waktu sentuh bola menumbuk tanah adalah 0,2 detik. Hitunglah:
 - a) Perubahan momentum bola pada saat menumbuk tanah
 - b) Impuls yang dikerjakan tanah pada bola
 - c) Gaya rata-rata yang bekerja pada bola selama tumbukan berlangsung.
4. Sebuah bola kasti bermassa 150 gram dilemparkan mendatar ke arah sumbu X positif dengan kelajuan 10 m/s. Seorang pemain yang memegang pemukul bola memukul bola tersebut hingga bola berbalik arah dengan kelajuan 16 m/s. Hitunglah gaya rata-rata yang dikerjakan pemukul pada bola, jika pemukul menyentuh bola dalam waktu 0,02 detik.
5. Seorang pemain golf memukul bola golf bermassa 50 gram dengan stik sehingga bola bergerak dengan kelajuan 40 m/s. Hitunglah perubahan momentum bola golf dan gaya rata-rata yang dikerjakan stik golf, jika waktu sentuh antara bola golf dengan stik 0,01 detik.
6. Seorang peloncat indah bermassa 60 kg terjun ke kolam renang dari papan loncat, kelajuan sesaat sebelum menyentuh air 5 m/s dan kelajuan di dalam air 1,5 m/s. Jika waktu kontak antara peloncat indah dengan air sama dengan 0,8 detik, hitunglah gaya rata-rata yang bekerja pada peloncat indah tersebut.

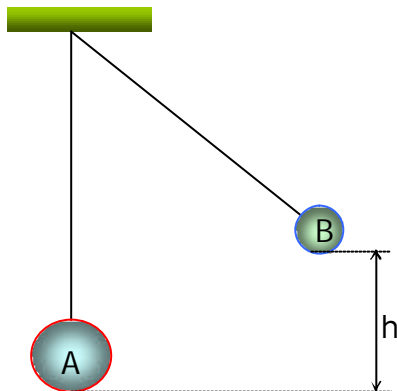
7. Gambar di bawah ini menunjukkan grafik resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda bermassa 2 kg terhadap waktu. Jika benda mula-mula bergerak dengan kecepatan 2 m/s searah gaya, maka hitunglah: impuls yang bekerja pada benda kecepatan akhir benda.



8. Sebuah senapan bermassa 2 kg menembakkan sebuah peluru bermassa 50 gram dengan kecepatan 400 m/s. Hitunglah:
- Momentum total sistem senapan dan peluru
 - Laju senapan terlontar sedikit ke belakang pada saat peluru ditembakkan (laju recoil).
9. Bola A bermassa 150 gram bergerak dengan kelajuan 8 m/s ke kanan menumbuk bola B bermassa 200 gram yang diam. Hitunglah:
- Kecepatan kedua bola sesaat setelah tumbukan, jika kedua bola bergerak bersama-sama
 - Kecepatan bola B, jika sesaat setelah tumbukan bola A berbalik arah ke kiri dengan kelajuan 2 m/s.
10. Sebuah peluru bermassa 40 gram ditembakkan mendatar dengan kelajuan 300 m/s ke arah balok bermassa 860 gram yang diam di atas bidang mendatar yang licin. Setelah tumbukan peluru bersarang di dalam balok dan bergerak bersama-sama. Berapakah kecepatan peluru dan balok sesaat setelah tumbukan?

11. Sebuah benda bermassa 4 kg bergerak ke timur dengan kelajuan 5 m/s menumbuk benda lain bermassa 5 kg yang bergerak ke utara dengan kelajuan 3 m/s. Tentukan:
- Kecepatan kedua benda tersebut sesaat setelah tumbukan, jika setelah tumbukan kedua benda bersatu.
 - Arah momentum (?) kedua benda setelah tumbukan terhadap arah timur.

12. Sebuah bola B yang tergantung pada seutas tali disimpangkan pada



ketinggian h sebesar 45 cm dari titik terendah kemudian dilepas. Bola B akhirnya menumbuk bola A yang juga tergantung pada tali yang sama panjang dan diam. Jika massa bola A dua kali massa bola B, tentukan ketinggian yang dicapai oleh kedua bola setelah tumbukan bila:

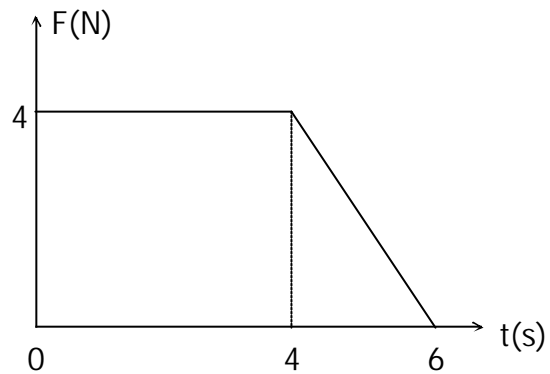
- tumbukan kedua bola tak lenting sama sekali
 - tumbukan kedua bola lenting sempurna
 - tumbukan kedua bola lenting sebagian dengan koefisien restitusi 0,5.
13. Sebuah bola bermassa 2 kg ditendang, sehingga bola bergerak dengan kelajuan tetap sebesar 10 m/s dan menumbuk kaleng bermassa 0,5 kg yang diam. Jika koefisien restitusi dalam tumbukan ini adalah 0,25 dan waktu sentuh antara bola dengan kaleng $\frac{1}{3}$ detik, hitunglah:
- Kelajuan bola dan kaleng sesaat setelah tumbukan
 - Energi kinetik yang hilang dalam tumbukan
 - Gaya rata-rata yang bekerja pada bola.

14. Benda A bermassa 2 kg bergerak dengan kelajuan 6 m/s ke kanan bertumbukan dengan benda B bermassa 4 kg yang diam. Setelah tumbukan benda A terpental ke kiri dengan kelajuan 2 m/s.
 - a) Hitunglah kecepatan benda B sesaat setelah tumbukan
 - b) Tentukan koefisien restitusi dalam tumbukan ini.
15. Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian 6 m di atas tanah dengan kelajuan awal $2\sqrt{6}$ m/s, setelah terpantul bola naik sampai ketinggian 3,2 m di atas tanah. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 , hitunglah:
 - a) Kelajuan bola sesaat sebelum dan setelah menumbuk lantai
 - b) Koefisien restitusi antara bola dan lantai.

e. Tes Formatif

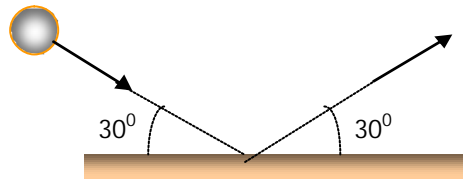
1. Sebuah benda bermassa 200 gram bergerak dengan kelajuan 4 m/s. Tentukan besar momentum benda tersebut.
2. Bola bermassa 2 kg dijatuhkan dari ketinggian 5 m di atas lantai tanpa kecepatan awal. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 , tentukan momentum bola ketika menumbuk lantai.
3. Sebuah balok memiliki momentum 20 kg m/s ke kanan sebelum tumbukan dan momentum setelah tumbukan sebesar 4 kg m/s ke kiri. Hitung perubahan momentum balok tersebut.
4. Perubahan momentum yang dialami benda dalam selang waktu 0,02 detik sebesar 8 kg m/s. Tentukan besar gaya impuls yang mengakibatkan perubahan momentum tersebut.
5. Berapakah besar impuls yang diperlukan untuk menghentikan benda bermassa 2 kg yang bergerak dengan kelajuan 12 m/s?
6. Sebuah bola golf dipukul dengan gaya 60 N sehingga bergerak dengan kecepatan 120 m/s. Stik menyentuh bola dalam waktu 0,3 detik. Tentukan massa bola golf tersebut.

7. Sebuah bola bermassa 600 gram dilemparkan ke arah dinding dengan kelajuan 40 m/s dan terpental kembali dengan kelajuan 20 m/s. Tentukan gaya impuls yang dikerjakan dinding terhadap bola, jika tumbukan berlangsung selama 0,08 detik.
8. Seorang tentara menggunakan senapan mesin untuk menembakkan peluru bermassa 80 gram dengan kelajuan 600 m/s. Berapakah jumlah peluru yang dapat ditembakkan tiap menit, jika tentara tersebut hanya mampu menahan senapan dengan gaya 160 N?
9. Gambar di samping menyatakan grafik hubungan antara gaya F yang bekerja pada benda bermassa 2 kg terhadap waktu t selama gaya itu bekerja pada benda. Bila benda mula-mula diam, maka tentukan kecepatan akhir benda.



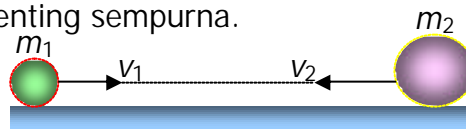
10. Sebuah peluru bermassa 50 gram ditembakkan dengan sudut elevasi 60° sehingga membentuk lintasan parabola. Kecepatan awal peluru 120 m/s. Tentukan besar perubahan momentum antara saat ditembakkan dengan saat tiba kembali di tanah.
11. Sebuah mesin pelempar baseball bermassa 10 kg diam pada tempat pelemparan. Berapakah kelajuan mundur mesin ketika mesin itu melemparkan baseball bermassa 250 gram dengan kelajuan 40 m/s?
12. Sebuah benda bermassa 2,5 kg digerakkan di meja licin dari keadaan diam oleh sebuah gaya F yang berubah terhadap waktu menurut persamaan $F = 80 - 5t$, dengan t dalam detik dan F dalam newton. Tentukan momentum benda pada saat $t = 2$ detik.

13. Benda bermassa 2 kg menumbuk lantai dengan kelajuan 10 m/s yang



membentuk sudut 30° terhadap lantai dan terpantul kembali dengan kelajuan dan sudut yang sama, seperti gambar di samping. Tentukan besar impuls yang dikerjakan lantai terhadap benda.

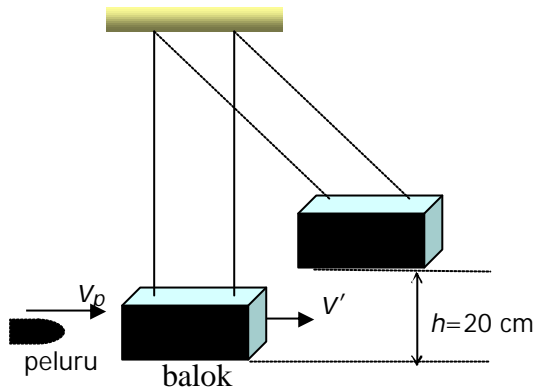
14. Dua buah benda yang memiliki massa $m_1 = 2\text{ kg}$ dan $m_2 = 3\text{ kg}$ bergerak saling mendekat dengan laju masing-masing $v_1 = 8\text{ m/s}$ dan $v_2 = 10\text{ m/s}$, seperti gambar di samping. Tentukan kecepatan masing-masing benda sesaat setelah tumbukan, jika kedua benda bertumbukan lenting sempurna.



15. Dua buah benda A dan B memiliki massa yang sama bertumbukan lenting sempurna. Jika sesaat sebelum tumbukan benda A bergerak ke kanan dengan kelajuan 2 m/s dan benda B dalam keadaan diam, maka tentukan kecepatan kedua benda sesaat setelah tumbukan.
16. Benda A bermassa 5 kg bergerak dengan kelajuan 4 m/s menumbuk benda B bermassa 4 kg yang bergerak berlawanan arah dengan benda A dengan kelajuan 6 m/s. Bila tumbukan yang terjadi adalah lenting sebagian dengan koefisien restitusi 0,5, maka tentukan energi kinetik yang hilang.
17. Sebuah bola jatuh bebas dari ketinggian 7,2 m di atas lantai. Tentukan kecepatan pantul bola sesaat setelah tumbukan dengan lantai, jika koefisien restitusi tumbukan adalah 0,25.
18. Sebuah benda bermassa $2m$ yang sedang bergerak dengan kelajuan $4v$ bertumbukan dengan benda lain bermassa $6m$ yang sedang bergerak dalam arah yang sama dengan kelajuan v . Jika setelah

tumbukan kedua benda bersatu dan bergerak bersama, maka tentukan kelajuan kedua benda tersebut.

19. Sebuah peluru bermassa 50 gram ditembakkan ke dalam ayunan balistik bermassa 1,95 kg dan



balistik bermassa 1,95 kg dan peluru diam di dalam balok, seperti gambar di samping. Setelah tumbukan balok dan peluru berayun dan mencapai tinggi maksimum 20 cm. Hitung kecepatan peluru saat mengenai balok ($g=10 \text{ m/s}^2$).

20. Sebuah bola tenis massanya 125 gram dilepaskan dari ketinggian h dan menumbuk lantai kemudian terpantul kembali mencapai ketinggian 2 m. Setelah pemantulan pertama tersebut bola jatuh lagi dan terpantul kembali setinggi 0,5 m. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 , maka tentukan tinggi bola tenis saat dilepaskan (h).

f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. $p = 0,8 \text{ kg m/s}$
2. $p = 20 \text{ kg m/s}$
3. $? p ? ? 24 \text{ kg m/s}$ (*arah ke kiri*)
4. $F = 400 \text{ N}$
5. $I = - 24 \text{ kg m/s}$ (*arah impuls berlawanan dengan arah kelajuan awal*)
6. $m = 150 \text{ gram}$
7. $F = - 450 \text{ N}$ (*berlawanan arah dengan kecepatan bola sebelum menumbuk*)
8. Jumlah peluru $n = 200$
9. $v = 10 \text{ m/s}$

10. $p = 6\sqrt{3} \text{ kg m/s}$
11. $v = 1 \text{ m/s}$
12. $p = 170 \text{ kg m/s}$
13. $I = 20 \text{ kg m/s}$
14. $v_1' = 13,6 \text{ m/s}$ dan $v_2' = 4,4 \text{ m/s}$ (*arah ke kanan positif*)
15. $v_A' = 0$ dan $v_B' = 2 \text{ m/s}$ (*arah ke kanan positif*)
16. $v_A' = \frac{8}{3} \text{ m/s}$ dan $v_B' = \frac{7}{3} \text{ m/s}$ (*arah kelajuan benda A sebelum tumbukan positif*)
17. $v_2 = 3 \text{ m/s}$ (*arah positif ke atas*)
18. $v' = \frac{7}{4}v$
19. $v_p = 80 \text{ m/s}$
20. $h = 8 \text{ m}$

g. Lembar Kerja

Hukum Kekekalan Momentum

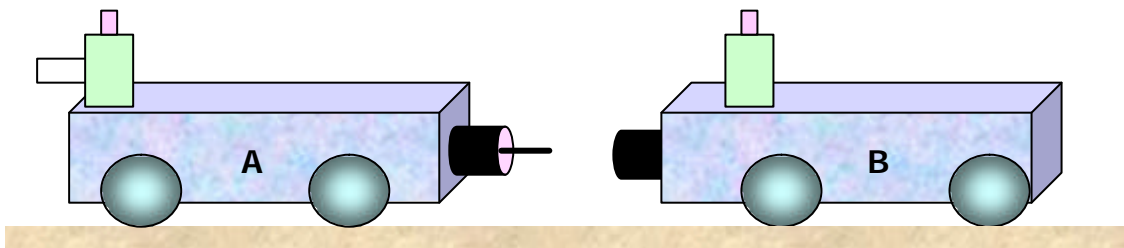
Tujuan:

- ✍ Menyelidiki hukum kekekalan momentum pada peristiwa tumbukan

Alat-alat:

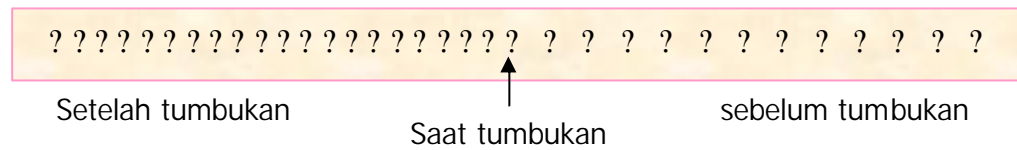
- ✍ 2 buah kereta dinamik;
- ✍ 1 buah *ticker timer* (pewaktu ketik);
- ✍ 1 rol pita *ticker timer*;
- ✍ Jarum atau paku;
- ✍ Gabus.

Langkah-langkah Kerja:



1. Hubungkan *ticker timer* pada kereta dinamik A, untuk mengetahui bagaimana gerakan kedua kereta sebelum dan setelah tumbukan.
2. Pasangkan pada bagian ujung kereta A sebuah jarum atau paku kecil, sedangkan pada ujung kereta B sebuah gabus. Hal ini dimaksudkan agar setelah bertumbukan, kedua kereta dapat menyatu dan bergerak bersama-sama sebagai satu kesatuan.
3. mula-mula kereta B diam dan kereta A dijalankan dengan mendorongnya sehingga kereta A bergerak dengan kecepatan tetap pada lintasan tanpa gesekan.
4. Kereta A yang bergerak dengan kecepatan tetap akan menabrak kereta B yang semula diam. Setelah tumbukan, kedua kereta bergandengan dan bergerak bersama dengan kecepatan yang sama.

5. Ambil pita ketik pada kereta A, pada pita akan terdapat dua kelompok titik-titik yang berbeda, seperti tampak pada gambar di bawah ini.



6. Ukur jarak 10 titik pada pita, kita lambangkan x_1 (sebelum tumbukan) x_2 (setelah tumbukan). Dari nilai x_1 dan x_2 ini kita dapat menghitung kecepatan kereta dinamik sebelum tumbukan v_1 dan setelah tumbukan v_2 .
7. Hitung kecepatan kereta sebelum dan setelah tumbukan dengan menggunakan rumus: $v_1 = \frac{x_1}{0,2}$ dan $v_2 = \frac{x_2}{0,2}$. Rumus ini digunakan jika tegangan listrik yang dipakai untuk menjalankan ticker timer memiliki frekuensi 50 Hz, maka periode ketikan ticker timer tersebut adalah 0,02 sekon. Jadi waktu yang diperlukan untuk melakukan 10 ketikan pada pita adalah $0,02 \times 10 = 0,2$ sekon.
8. Timbang massa kereta A (m_A) dan massa kereta B (m_B). Masukkan hasil-hasil pengukuran ke dalam tabel di bawah.

No	m_A (kg)	m_B (kg)	x_1 (cm)	x_2 (cm)	v_1 (cm/s)	v_2 (cm/s)
1						
2						
...						

9. Ulangi percobaan ini berkali-kali dan masukkan hasilnya ke dalam tabel di atas.
10. Hitung nilai rata-rata dari besaran-besaran di atas.
11. Hitung momentum total sebelum tumbukan, yaitu $p = m_A v_1$ dan momentum total setelah tumbukan, yaitu $p' = (m_A + m_B) v_2$.
12. Bandingkan momentum sebelum tumbukan dengan momentum setelah tumbukan. Bagaimana kesimpulan anda?

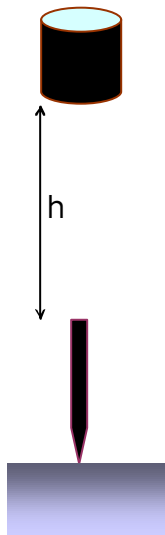
BAB III. EVALUASI

A. Tes Tertulis

Kerjakan semua soal di bawah ini!

1. Suatu gaya mendatar $F = 20t$ bekerja pada sebuah benda bermassa 2 kg dalam selang waktu $t = 0$ sampai dengan $t = 2$ detik, F dalam newton dan t dalam detik.
 - a. Buatlah grafik F terhadap t dalam selang waktu $0 \leq t \leq 2$
 - b. Dengan menggunakan grafik pada a, tentukan impuls yang dikerjakan oleh gaya F pada benda
 - c. Jika mula-mula benda dalam keadaan diam, tentukan momentum benda saat $t = 2$ detik
 - d. Tentukan kelajuan dan energi kinetik benda saat $t = 2$ detik.

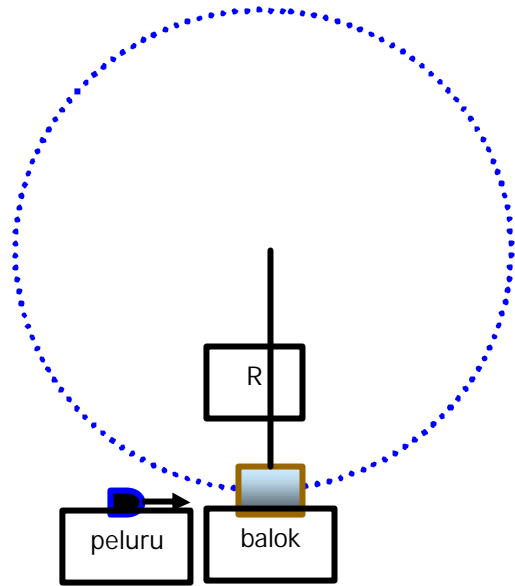
2. Sebuah silinder besi pemukul tiang pancang bermassa 250 kg dijatuhkan



dari ketinggian $h=5\text{m}$ di atas sebuah tiang pancang bermassa 100 kg, seperti gambar di samping. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka tentukan:

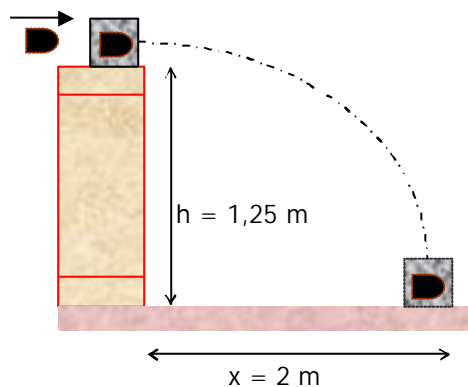
- a. momentum silinder besi sesaat sebelum menumbuk tiang pancang
 - b. kelajuan silinder besi dan tiang pancang sesaat setelah tumbukan yang bergerak bersama.
 - c. Perubahan energi kinetik sesaat sebelum tumbukan dengan sesaat setelah tumbukan
3. Sebuah balok massanya 1 kg terletak diam di atas bidang horisontal yang kasar dengan koefisien gesekan 0,4. Balok ditembak peluru bermassa 20 gram dan bersarang di dalamnya dan balok dapat bergeser sejauh 50 cm. Tentukan kecepatan peluru saat menumbuk balok, jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 .

4. Balok bermassa 200 gram digantung pada tali sepanjang $R=50$ cm. Balok ditembak dengan peluru bermassa 50 gram. Agar balok dapat berayun menempuh satu lingkaran vertikal penuh, tentukan kecepatan peluru saat sebelum menumbuk balok, jika:



- peluru bersarang dalam balok dan berayun bersama
- peluru menembus balok dan keluar dari balok dengan kelajuan setengah dari kelajuan saat sebelum menumbuk balok.

5. Peluru bermassa 6 gram ditembakkan ke dalam sebuah balok bermassa



300 gram yang mula-mula diam di tepi meja yang tingginya 1,25 m, seperti gambar di samping. Setelah tumbukan peluru bersarang di dalam balok dan bergerak bersama. Balok mendarat di lantai sejauh 2 m dari kaki meja. Tentukan kelajuan peluru sesaat sebelum menumbuk balok.

B. Tes Praktik

✍ Bahan : benang, bandul, malam

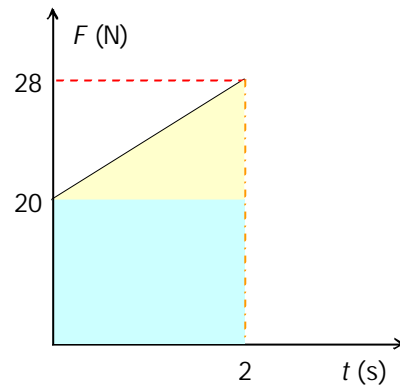
✍ Alat : neraca analitis, penggaris 1m, 2 buah statif

✍ Langkah Kerja:

1. Ikat bandung dengan benang dan gantungkan pada statif, ikat penggaris pada statif yang lain. Letakkan kedua statif di atas meja dengan jarak kira-kira sama dengan panjang tali.
2. Lempar bandul dengan malam, sehingga terjadi ayunan, usahakan malam dapat menempel pada bandul. Ukur tinggi bandul berayun.
3. Timbang massa bandul dan massa malam.
4. Tentukan kecepatan bandul dan malam saat mulai berayun. Tentukan pula kecepatan malam saat menumbuk bandul.

KUNCI JAWABAN

1. a.



b. $I ? 48\text{ kgm/s}$

c. $p_{\text{akhir}} ? 48\text{ kgm/s}$

d. $v ? 24\text{ m/s}$ dan
 $Ek ? 576\text{ J}$

2. a. $p ? 2500\text{ kgm/s}$ b. $v' ? 7,1\text{ m/s}$ c. $Ek ? 3575\text{ J}$

3. $v = 102\text{ m/s}$

4. a. $v_p ? 25\text{ m/s}$ b. $v_p ? 40\text{ m/s}$

5. $v_p ? 204\text{ m/s}$

LEMBAR PENILAIAN SISWA

Nama Peserta :
 No. Induk :
 Program Keahlian :
 Nama Jenis kegiatan :

PEDOMAN PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Skor Maks.	Skor Perolehan	Keterangan
1	2	3	4	5
I	Persiapan			
	1.1. Membaca Modul	2		
	1.2. Persiapan Alat dan Bahan	3		
	Sub total	5		
II	Pelaksanaan Pembelajaran			
	2.1. Cek Kemampuan Siswa	10		
	2.2. Melaksanakan Kegiatan	10		
	Sub total	20		
III	Kinerja Siswa			
	3.1. Cara merangkai alat	5		
	3.2. Membaca hasil ukur	5		
	3.3. Menulis satuan pengukuran	5		
	3.4. Banyak bertanya	5		
	3.5. Cara menyampaikan pendapat.	5		
	Sub total	25		
IV	Produk Kerja			
	4.1. Penyelesaian Tugas			
	4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab.			
	4.3. Penyelesaian Tes Formatif			
	4.4. Penyelesaian Evaluasi			
	Sub total	35		
V	Sikap / Etos Kerja			
	5.1. Tanggung Jawab	3		
	5.2. Ketelitian	2		
	5.3. Inisiatif	2		
	5.4. Kemandirian	3		
		Sub total	10	
VI	Laporan			
	6.1. Sistematika Peyusunan Laporan	2		
	6.2. Penyajian Pustaka	2		
	6.3. Penyajian Data	2		
	6.4. Analisis Data	2		
	6.5. Penarikan Simpulan	2		
		Sub total	10	
	Total	100		

KRITERIA PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Kriteria penilaian	Skor
1	2	3	4
I	Persiapan 1.1. Membaca Modul 1.2. Persiapan Alat dan Bahan	? Membaca Modul ? Tidak membaca Modul ? Alat dan bahan sesuai dengan kebutuhan. ? Alat dan bahan disiapkan tidak sesuai kebutuhan	2 1 3 1
II	Pelaksanaan Proses Pembelajaran 2.1. Cek Kemampuan Siswa 2.2. Melaksanakan Kegiatan	? Siswa yang mempunyai kemampuan baik. ? Siswa tidak bisa menyelesaikan ? Melaksanakan kegiatan dengan baik. ? Melaksanakan tidak sesuai ketentuan	10 1 10 1
III	Kinerja Siswa 3.1. Cara merangkai alat 3.2. Membaca hasil ukur 3.3. Menulis satuan pengukuran 3.4. Banyak bertanya 3.5. Cara menyampaikan pendapat	? Merangkai alat dengan benar ? Merangkai alat kurang benar. ? Cara membaca skala pada pita benar. ? Cara membaca tidak benar ? Menulis satuan dengan benar ? Tidak benar menulis satuan ? Banyak bertanya ? tidak bertanya ? Cara menyampaikan pendapatnya baik ? Kurang baik dalam menyampaikan pendapatnya	5 1 5 1 5 1 5 1
IV	Kualitas Produk Kerja 4.1. Penyelesaian Tugas	? Kualitas Tugasnya baik ? Kualitasnya rendah	7 1

	4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab.	? Kualitas kegiatan lab.nya baik ? Kualitas rendah	5 1
	4.3. Penyelesaian Tes Formatif	? Skor Tes Formatifnya baik ? Skor Tes Formatif Rendah	8 1
	4.4. Penyelesaian Evaluasi	? Memahami Konsep dengan baik. ? Kurang memahami konsep	10 5

V	Sikap / Etos Kerja		
	5.1. Tanggung Jawab	? Membereskan kembali alat dan bahan yang telah dipergunakan ? Tidak memberes-kan alat dan bahan	2 1
	5.2. Ketelitian	? Tidak melakukan kesalahan kerja ? Banyak melakukan kesalahan kerja	3 1
	5.3. Inisiatif	? Memiliki inisiatif kerja ? Kurang memliki inisiatif	3 1
	5.4. Kemandirian	? Bekerja tanpa banyak perintah. ? Bekerja dengan banyak perintah	2 1
VI	Laporan		
	6.1. Sistematika Peyusunan Laporan	? Laporan sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan. ? Laporan tidak sesuai sistematika.	2 1
	6.2. Penyajian Pustaka	? Terdapat penyajian pustaka. ? Tidak terdapat penyajian pustaka	2 1
	6.3. Penyajian Data	? Data disajikan dengan rapi. ? Data tidak disajikan.	2 1
	6.4. Analisis Data	? Analisisnya benar. ? Analisisnya salah.	2 1
	6.5. Penarikan Simpulan.	? Tepat dan benar ? Simpulan kurang tepat.	2 1

BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda berhak untuk mengikuti tes evaluasi untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Jika anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik atau modul berikutnya.

Mintalah pada guru atau instruktur untuk melakukan uji kompetensi dengan sistem penilaian yang dilakukan secara langsung oleh guru atau instruktur yang berkompeten jika anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Jika anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru atau instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh asosiasi profesi, dan selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standart pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh asosiasi profesi.

Daftar Pustaka

- Foster, Bob, 2000. *Fisika SMU Kelas 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Halliday dan Resnick, 1991. *Fisika Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Halpern, A., 1988. *Schaum's 3000 Solved Problems in Physics*. Singapore: Mc Graw Hill,
- Hewitt, P.G., 1987. *Conceptual Physics.*, California: Addison Wesley Publishing Company, Inc.
- Kanginan, M., 2001. *Fisika 2000 SMU Kelas 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga