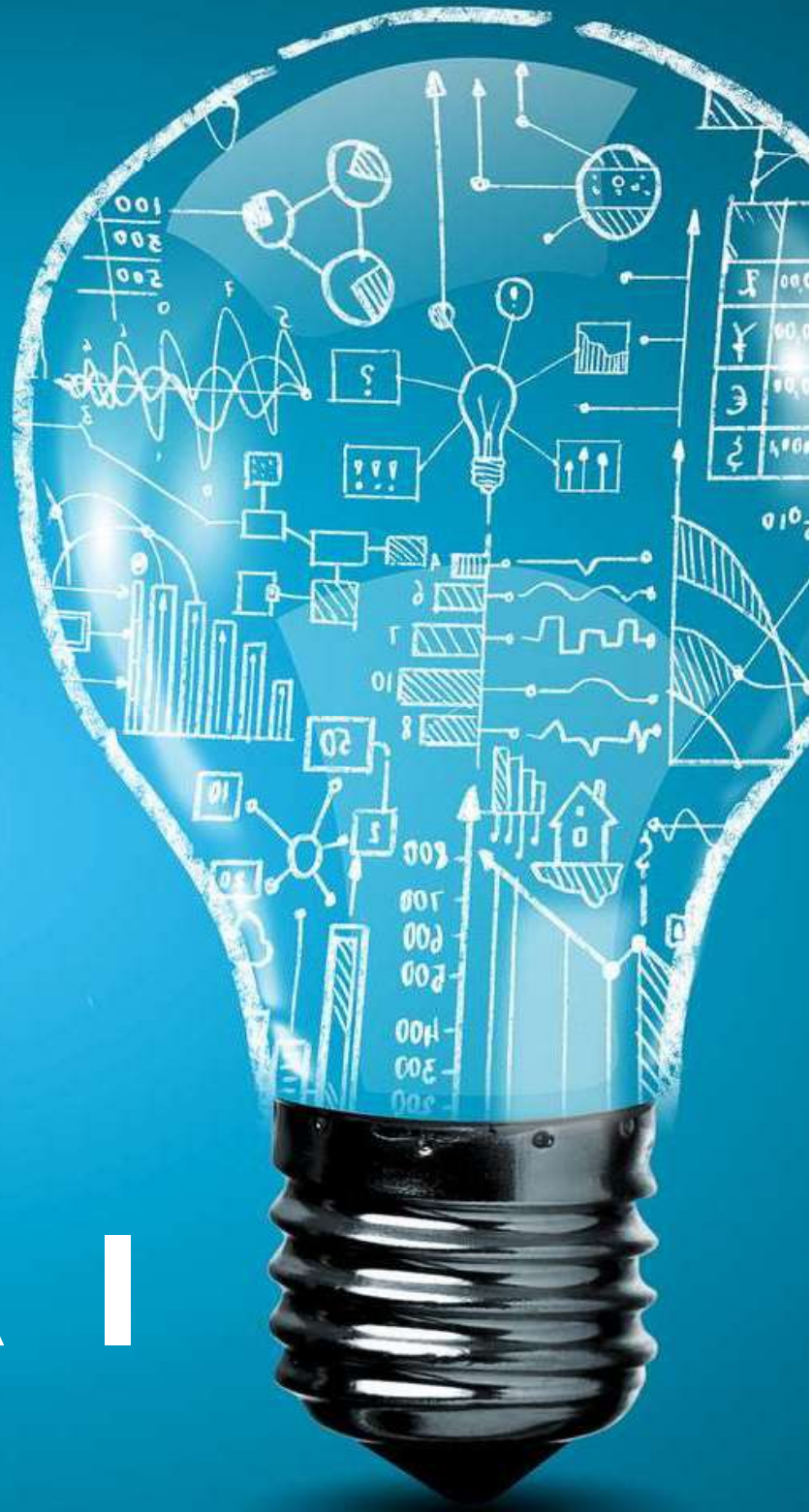




ptpb

Institut Teknologi Bandung
Program Tahap Persiapan Bersama



Student Center for Learning **FISIKA I**

Physics is the natural science that deals with the study of matter, energy, motion, and the fundamental forces of the universe. It seeks to understand how the universe behaves at its most basic level by formulating and testing theories, laws, and mathematical models.

Student Center for Learning

Tim Penyusun

Hadyan Luthfan Prihadi, S.Si, M.Si.

M. Dhany Hambali, S.Si., M.T.

Randi Rusdiana, S.Si., M.Si.



DAFTAR ISI

Fisika Dasar PTPB

1	Bab 1: Vektor dan Kinematika Bagian 1	7
	1.1 Vektor	7
	1.2 Soal Latihan	9
	1.3 Kinematika	13
	1.4 Soal Latihan	14
2	Bab 2: Kinematika Bagian 2	21
	2.1 Analisis Grafik Kinematika	21
	2.2 Soal Latihan	26
	2.3 Kinematika 2 Dimensi (Contoh: Gerak Peluru)	32
	2.4 Kinematika Gerak Melingkar	34
3	Bab 3: Dinamika Benda Titik	43
	3.1 Hukum Newton	43
	3.2 Soal Latihan	47
	3.3 Gaya Gesek, <i>Drag Force</i> , Gaya Sentripetal	54
	3.4 Soal Latihan	58
4	Bab 4: Usaha dan Energi	67
	4.1 Definisi Usaha	67
	4.2 Macam-macam Energi	71
	4.3 Hukum Kekekalan Energi	72
	4.4 Hubungan Usaha dan Energi	73
	4.5 Soal Latihan	78
5	Bab 5: Momentum Linier	87
	5.1 Momentum dan Impuls	87
	5.2 Hukum Kekekalan Momentum	89
	5.3 Sistem Partikel	92
	5.4 Soal Latihan	94
6	Bab 6: Benda Tegar	103
	6.1 Gerak Lurus vs. Gerak Melingkar	103
	6.2 Dinamika Rotasi Sistem Benda Tegar	106
	6.3 Soal Latihan	110
7	Bab 7: Elastisitas dan Osilasi	119
	7.1 Tegangan dan Regangan	119

7.2	Modulus Young, Modulus Geser, dan Modulus Benda (Bulk)	120
7.3	Osilasi Harmonik	122
7.4	Soal Latihan	130
8	Bab 8: Gelombang Mekanik	139
8.1	Gelombang Tali	139
8.2	Gelombang Bunyi	143
8.3	Superposisi Gelombang	144
8.4	Gelombang Berdiri dan Resonansi	145
8.5	Efek Doppler	147
8.6	Soal Latihan	148
9	Bab 9: Fluida Statis	157
9.1	Tekanan dan Gaya Hidrostatik	157
9.2	Gaya Archimedes	160
9.3	Soal Latihan	163
10	Bab 10: Fluida Dinamis	173
10.1	Persamaan Kontinuitas	173
10.2	Persamaan Bernoulli	173
10.3	Soal Latihan	180
11	Bab 11: Teori Kinetik Gas	189
11.1	Gas Ideal	189
11.2	Laju Molekul dan Energi Kinetik Gas	192
11.3	Kalor Jenis	194
11.4	Derajat Kebebasan	194
11.5	Latihan Soal	195
12	Bab 12: Termodinamika	203
12.1	Hukum I Termodinamika	203
12.2	Mesin Termodinamika	207
12.3	Soal Latihan	212



BAB 1

VEKTOR DAN KINEMATIKA BAGIAN 1

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

Bab 1: Vektor dan Kinematika Bagian 1

1.1 Vektor

Rangkuman Materi 1.1

Definisi Vektor

Vektor merupakan besaran yang memiliki nilai dan arah

$$\vec{A} = |\vec{A}|\hat{A}$$

$|\vec{A}|$ = nilai (besar vektor)

\hat{A} = arah vektor (vektor satuan)

Contoh Soal 1.1

Diketahui suatu vektor \vec{A} memiliki bentuk

$$\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k},$$

Tentukan besar (A) dan arah (\hat{A}) dari vektor \vec{A} !

Jawab:

Diketahui: $\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}$

Besar vektor:

$$|\vec{A}| = \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2} = \sqrt{14}$$

Vektor satuan:

$$\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

$$\hat{A} = \frac{\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}}{\sqrt{14}}$$

Rangkuman Materi 1.2

Operasi Matematika pada Vektor

Berikut operasi matematika vektor dengan vektor:

1. Penjumlahan dan Pengurangan
2. Perkalian
 - (a) Perkalian Titik (*Dot Product*)
 - (b) Perkalian Silang (*Cross Product*)

Perkalian Titik

1. Hasil perkalian titik adalah besaran skalar.
2. Perkalian titik antar dua vektor satuan yang sama bernilai 1, sedangkan perkalian titik antar dua vektor satuan yang berbeda (tegak lurus) bernilai 0. Sebagai contoh,

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = 1, \text{ dan } \hat{i} \cdot \hat{j} = \hat{i} \cdot \hat{k} = \hat{j} \cdot \hat{k} = 0.$$

3. Apabila terdapat dua buah vektor yaitu vektor \vec{A} dan \vec{B} dengan sudut antara dua vektor tersebut adalah θ , maka hasil perkalian titiknya adalah $\cos\theta$, $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$.

Contoh:

$$\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k},$$

$$\vec{B} = 4\hat{i} + 5\hat{j} + 6\hat{k}.$$

Tentukan hasil kali titik $C = \vec{A} \cdot \vec{B}$!

$$C = (\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}) \cdot (4\hat{i} + 5\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$C = 4(\hat{i} \cdot \hat{i}) + 5(\hat{i} \cdot \hat{j}) + 6(\hat{i} \cdot \hat{k}) + 8(\hat{j} \cdot \hat{i}) + 10(\hat{j} \cdot \hat{j}) + 12(\hat{j} \cdot \hat{k}) + 12(\hat{k} \cdot \hat{i}) + 15(\hat{k} \cdot \hat{j}) + 18(\hat{k} \cdot \hat{k})$$

$$C = 4 + 10 + 18 = 32$$

Perkalian Silang

1. Hasil perkalian silang antara dua buah vektor merupakan suatu vektor.
2. Perkalian silang antar dua vektor satuan yang sama bernilai nol, sedangkan perkalian silang antar dua vektor satuan lainnya mengikuti aturan siklik berikut:

$$\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}, \quad \hat{j} \times \hat{k} = \hat{i}, \quad \hat{k} \times \hat{i} = \hat{j}.$$

3. Pada perkalian silang antar dua buah vektor \vec{A} dan \vec{B} berlaku $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$.
4. Apabila terdapat dua buah vektor yaitu vektor \vec{A} dan \vec{B} dengan sudut antara dua vektor tersebut adalah θ , maka besar vektor dari hasil perkalian silangnya adalah $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta$.

Contoh:

$$\begin{aligned}\vec{A} &= \hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}, \\ \vec{B} &= 4\hat{i} + 5\hat{j} + 6\hat{k}.\end{aligned}$$

Tentukan hasil kali silang $\vec{D} = \vec{A} \times \vec{B}$!

$$\vec{D} = (\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}) \times (4\hat{i} + 5\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$\vec{D} = 4(\hat{i} \times \hat{i}) + 5(\hat{i} \times \hat{j}) + 6(\hat{i} \times \hat{k}) + 8(\hat{j} \times \hat{i}) + 10(\hat{j} \times \hat{j}) + 12(\hat{j} \times \hat{k}) + 12(\hat{k} \times \hat{i}) + 15(\hat{k} \times \hat{j}) + 18(\hat{k} \times \hat{k})$$

$$\vec{D} = 5\hat{k} - 6\hat{j} - 8\hat{k} + 12\hat{i} + 12\hat{j} - 15\hat{i}$$

$$\vec{D} = -15\hat{i} + 18\hat{j} - 3\hat{k}$$

1.2 Soal Latihan

1. Tentukan panjang vektor $|\vec{A}|$ dari vektor $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$!
2. Tentukan jumlah $\vec{A} + \vec{B}$ dari vektor-vektor $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{B} = -\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
3. Tentukan hasil kali titik $\vec{A} \cdot \vec{B}$ dari vektor $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{B} = -\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
4. Tentukan hasil kali silang $\vec{A} \times \vec{B}$ dari vektor $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{B} = -\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
5. Tentukan sudut antara vektor \vec{A} dan \vec{B} pada soal nomor 2! Ingat bahwa $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$ dengan θ merupakan sudut antara vektor \vec{A} dan vektor \vec{B} .



Lembar Jawaban

A series of 25 horizontal lines provided for student answers, spaced evenly down the page.

Kunci jawaban: 1.) $\sqrt{14}$; 2.) $\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}$; 3.) 12 ; 4.) $-2\hat{i} + 2\hat{j} + 11\hat{k}$; 5.) $\theta = 42,26^\circ$



1.3 Kinematika

Rangkuman Materi 1.3

Kinematika mempelajari gerak benda tanpa memperhatikan penyebab geraknya (gaya)

Vektor	Skalar
1. Posisi (\vec{r}) dan Perpindahan ($\Delta\vec{r}$)	1. Jarak (s)
2. Kecepatan (\vec{v})	2. Kelajuan (v)
(a) Kecepatan rata-rata (\vec{v}_{avg})	(a) Kelajuan rata-rata (v_{avg})
$\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$	$v_{\text{avg}} = \frac{s}{\Delta t}$
(b) Kecepatan sesaat ($\vec{v}(t)$)	(b) Kelajuan sesaat ($v(t)$)
$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt}$	$v(t) = \frac{ds}{dt}$
3. Percepatan (\vec{a})	3. Perlajuan (a)
(a) Percepatan rata-rata (\vec{a}_{avg})	(a) Perlajuan rata-rata (a_{avg})
$\vec{a}_{\text{avg}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$	$a_{\text{avg}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
(b) Percepatan sesaat ($\vec{a}(t)$)	(b) Perlajuan sesaat ($a(t)$)
$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}$	$a(t) = \frac{dv}{dt}$

Rangkuman Materi 1.4

Jenis Gerak Lurus (1 Dimensi):

1. Gerak Lurus Beraturan (GLB): $a_x = 0$
2. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB): $a_x = \text{konstan}$
3. Gerak Tidak Beraturan: $a_x(t)$, percepatan sebagai fungsi dari waktu

Apabila kasus GLB atau GLBB, dapat langsung menggunakan rumus kinematika:

1. $v_{xt} = v_{x0} + a_x \Delta t$
2. $\Delta x = v_{x0} \Delta t + \frac{1}{2} a_x \Delta t^2$
3. $v_t^2 = v_0^2 + 2a_x \Delta x$

Contoh Soal 1.2

Sebuah benda ke arah sumbu- x dengan kecepatan awal sebesar $v_{x0} = 5$ m/s mengalami percepatan sebesar $a_x = 2$ m/s². Tentukan besar kecepatan benda tersebut setelah $t = 2$ sekon.

Jawab:

Dari soal tersebut, diketahui bahwa percepatan (a_x) bernilai konstan, sehingga jenis gerak lurus tersebut adalah GLBB. Akibatnya, kita dapat langsung mengerjakan dengan menggunakan rumus kinematika GLBB:

$$v_t = v_{x0} + a_x \Delta t$$

$$v_t = 5 + 2(2)$$

$$v_t = 9 \text{ m/s.}$$

1.4 Soal Latihan

1. Sebuah benda memiliki vektor posisi yang dinyatakan oleh $\vec{r}(t) = (12t^3 - 7)\hat{i} - 3t^2\hat{j}$ m. Tentukan vektor kecepatan terhadap waktu $\vec{v}(t)$ dan vektor percepatan terhadap waktu $\vec{a}(t)$!
2. Sebuah benda yang bergerak sepanjang sumbu x dengan kecepatan awal sebesar $v_0 = 5$ m/s dan posisi awal di $x_0 = -3$ m mengalami percepatan sebesar $a = 3t$ m/s². Tentukan posisi benda tersebut sebagai fungsi dari waktu, $x(t)$ untuk seluruh nilai t !
3. Sebuah benda pada $t = 0$ berada di jarak 5 meter ke arah timur dan 2 meter ke arah utara terhadap titik awalnya. Tentukan vektor posisi \vec{r} dari benda tersebut!
4. Benda dengan posisi awal $\vec{r}(0) = 4\hat{i} - 10\hat{j}$ bergerak dengan vektor kecepatan yang berubah terhadap waktu dan dinyatakan oleh $\vec{v}(t) = -3\hat{i} + 2t\hat{j}$. Tentukan vektor posisi terhadap waktu $\vec{r}(t)$ dari benda tersebut!
5. Tentukan vektor percepatan terhadap waktu $\vec{a}(t)$ dari benda yang sama dengan benda pada soal nomor 4!
6. Hitung panjang vektor posisi, kecepatan, dan percepatan dari benda pada soal nomor 5 ketika $t = 6$!

Kunci Jawaban: 1. $\vec{v} = 3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k}$ dan $\vec{w} = \hat{i} + 2\hat{j} - 3\hat{k}$ maka $\vec{v} \cdot \vec{w} = 3(1) - 2(2) + 1(3) = 3 - 4 + 3 = 2$.
2. $\vec{v} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{w} = \hat{i} + 2\hat{j} - 3\hat{k}$ maka $\vec{v} \cdot \vec{w} = 2(1) + 3(2) - 1(3) = 2 + 6 - 3 = 5$.
3. $\vec{v} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{w} = \hat{i} + 2\hat{j} - 3\hat{k}$ maka $\vec{v} \cdot \vec{w} = 2(1) + 3(2) - 1(3) = 2 + 6 - 3 = 5$.
4. $\vec{v} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ dan $\vec{w} = \hat{i} + 2\hat{j} - 3\hat{k}$ maka $\vec{v} \cdot \vec{w} = 2(1) + 3(2) - 1(3) = 2 + 6 - 3 = 5$.



BAB 2

KINEMATIKA BAGIAN 2

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

2

MODUL

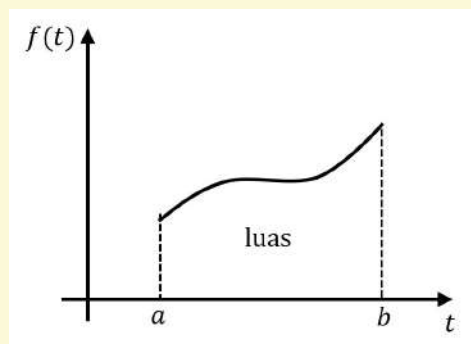
Bab 2: Kinematika Bagian 2

2.1 Analisis Grafik Kinematika

Rangkuman Materi 2.1

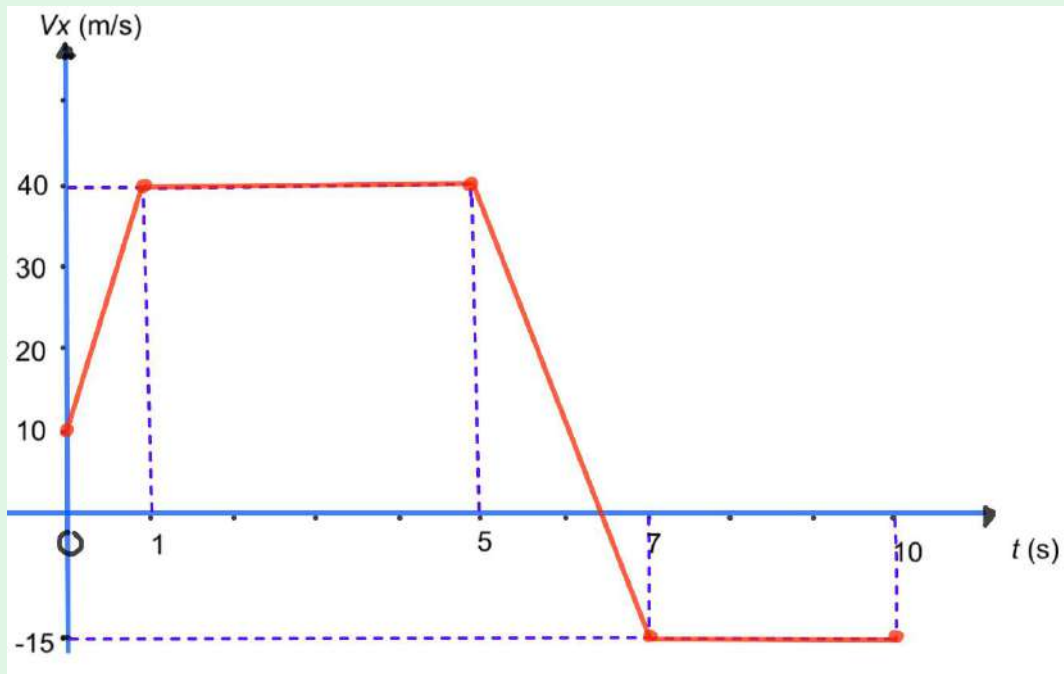
Arti fisis dari turunan dan integral pada sebuah grafik

1. Turunan $\rightarrow \frac{df(t)}{dt}$ \rightarrow arti turunan dari sebuah fungsi adalah gradien dari garis singgung kurva $f(t)$ di titik t .
2. Integral $\rightarrow \int_a^b f(t)dt$ \rightarrow arti integral dari sebuah fungsi adalah luas daerah di bawah kurva fungsi tersebut.



Contoh Soal 2.1

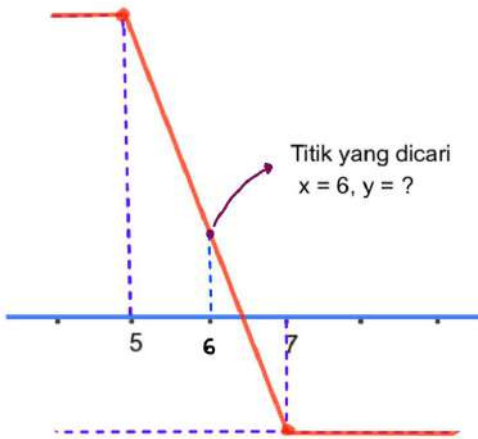
Tinjau sebuah mobil yang sedang bergerak ke sumbu x dengan kurva fungsi kecepatan terhadap waktu $v_x(t)$ diberikan oleh gambar.



1. Kapan mobil tersebut berhenti sesaat?
2. Peroleh vektor $\Delta \vec{r}$ dan besarnya (Δr) pada rentang $0 \leq t \leq 10$.
3. Hitung \vec{v}_{avg} pada rentang $0 \leq t \leq 10$, serta hitung $\vec{v}(6)$.
4. Buat grafik $a(t)$ terhadap waktu t .
5. Buat grafik $r(t)$ terhadap waktu t .

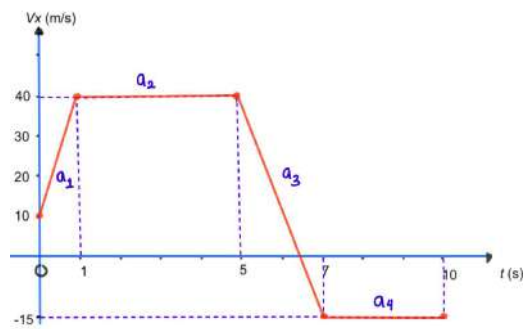
Alur Cara Menjawab:

<p>1. Pada grafik $v(t)$ vs t, mobil berhenti sesaat ketika kecepatannya bernilai nol (yaitu di antara detik ke-6 dan 7). Karena titik tersebut ada di dalam garis lurus pada kurva, maka perlu dicari terlebih dahulu persamaan garis lurus kurva tersebut.</p>	<p>Persamaan garis lurus:</p> $\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ $\frac{0 - 40}{-15 - 40} = \frac{x - 5}{7 - 5}$ $x = 6,454\text{m}$ <p>Artinya, mobil tersebut berhenti sesaat pada saat $t = 6,454$ s.</p>
<p>2. Perpindahan dan jarak dapat diperoleh dengan menghitung luas di bawah kurva $v(t)$ terhadap sumbu horizontal. Hal ini disebabkan oleh perhitungan jarak yang merupakan integral dari fungsi kecepatan terhadap waktu.</p>	<p>Luas 1 = $\frac{(10+40) \times 2}{2} = 50$ Luas 2 = $3 \times 40 = 120$ Luas 3 = $\frac{(6,454-5) \times 40}{2} = 29,8$ Luas 4 = $\frac{(7-6,454) \times 15}{2} = 4,095$ Luas 5 = $(10 - 7) \times 15 = 45$ Sehingga, vektor perpindahannya adalah</p> $\Delta \vec{r} = [(L1 + L2 + L3) - (L4 + L5)]\hat{i}$ $\Delta \vec{r} = 150,705\hat{i} \text{ m}$ <p>dan besar jarak tempuhnya adalah</p> $\Delta r = (L1 + L2 + L3) + (L4 + L5)$ $\Delta r = 248,895 \text{ m}$

<p>3. Kecepatan rata-rata dapat diperoleh dengan memanfaatkan perpindahan yang telah diperoleh pada soal (2),</p> $\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$	<p>Kecepatan rata-rata:</p> $\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{150,705\hat{i}}{10} \text{ m/s} = 15,0705\hat{i} \text{ m/s}$
<p>Untuk mencari kecepatan sesaat pada $t = 6$ s, apabila diketahui grafik kecepatan terhadap waktu dapat langsung dilihat dari kecepatan ketika $t = 6$ s dari grafik. Namun, karena pada grafik tidak terlalu detail diketahui nilai v pada saat $t = 6$ s, dicari dulu persamaan garis lurusnya!</p> 	<p>Persamaan garis lurus dengan memasukkan nilai $t = 6$:</p> $\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ $\frac{y - 40}{-15 - 40} = \frac{6 - 5}{7 - 5}$ $y = 12,5$ <p>Artinya, diperoleh kecepatan mobil saat $t = 6$ adalah</p> $\vec{v}(6) = 12,5\hat{i} \text{ m/s}$

4. Untuk membuat grafik $a(t)$ terhadap t , terlebih dahulu cari nilai percepatan di setiap waktu.

Percepatan diperoleh dari turunan kecepatan terhadap waktu sehingga perlu dicari nilai **gradien** kurva kecepatan terhadap waktu untuk setiap selang waktu tertentu.



Percepatan mobil untuk setiap selang waktu:

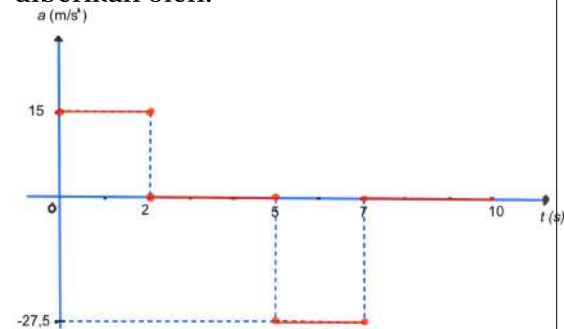
$$0 \leq t \leq 2: a_1 = \frac{(40-10)}{2} = 15 \text{ m/s}^2$$

$$2 \leq t \leq 5: a_2 = 0$$

$$5 \leq t \leq 7: a_3 = \frac{(-15-40)}{2} = -27,5 \text{ m/s}^2$$

$$5 \leq t \leq 10: a_4 = 0$$

Grafik percepatan terhadap waktu diberikan oleh:



Untuk membuat grafik posisi r terhadap waktu t , cari terlebih dahulu nilai posisi tersebut tiap waktu. Ingat bahwa posisi terhadap waktu dapat diperoleh dari **integral** fungsi $v(t)$ terhadap waktu, atau menghitung **luas di bawah kurva** $v(t)$ vs t .

$$\text{Luas 1} = \frac{(10+40) \times 2}{2} = 50 = r_2 - r_0$$

$$\rightarrow r_2 = 65 \text{ m}$$

$$\text{Luas 2} = 3 \times 40 = 120 = r_5 - r_2$$

$$\rightarrow r_5 = 185 \text{ m}$$

$$\text{Luas 3} = \frac{(6,454-5) \times 40}{2} = 29,8 = r_{6,454} - r_5$$

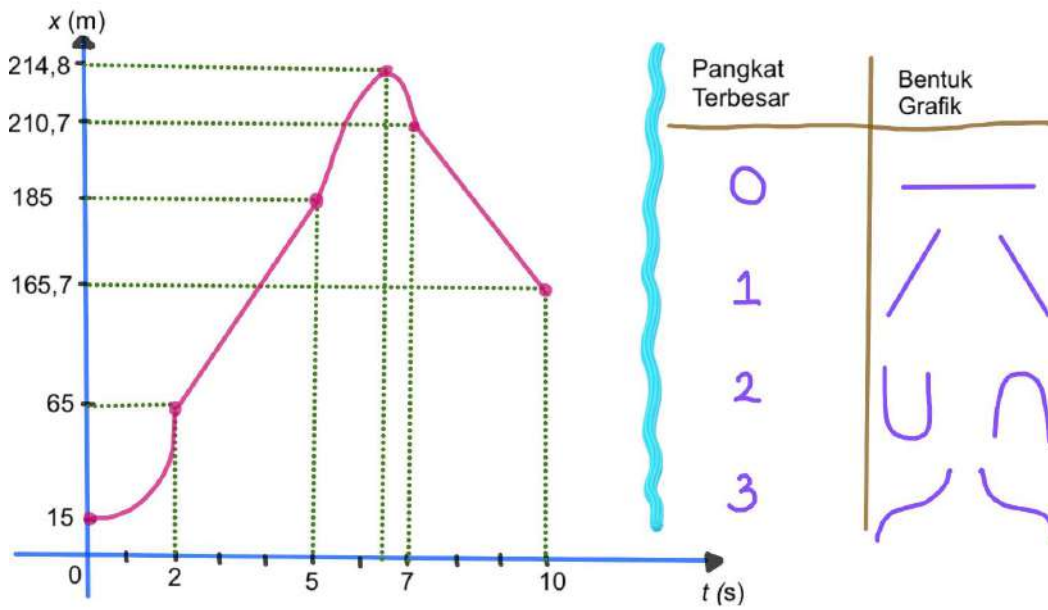
$$\rightarrow r_{6,454} = 214,8 \text{ m}$$

$$\text{Luas 4} = \frac{(7-6,454) \times 15}{2} = -4,095 = r_7 - r_{6,454}$$

$$\rightarrow r_7 = 210,705 \text{ m}$$

$$\text{Luas 5} = (10-7) \times 15 = -45 = r_{10} - r_7$$

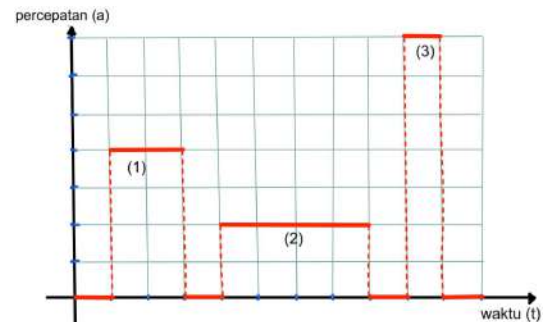
$$r_{10} = 165,705 \text{ m}$$



2.2 Soal Latihan

Tentukan solusi dari pertanyaan-pertanyaan berikut:

- Gambar di samping menggambarkan percepatan suatu benda terhadap waktu dan mengalami tiga nilai percepatan yang berbeda. Urutkan percepatan (1), (2), atau (3), dari yang memberikan perubahan kecepatan terbesar hingga perubahan kecepatan terkecil pada benda tersebut!

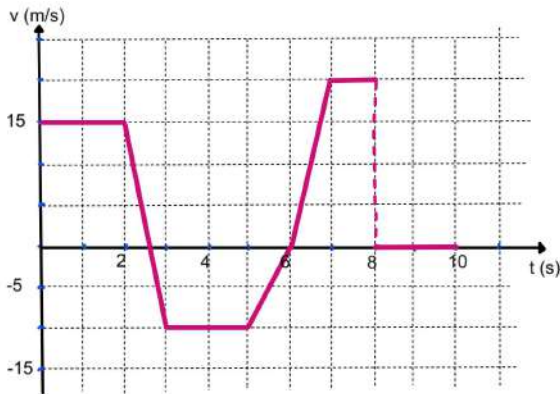


- Hitung kecepatan rata-rata dari kasus berikut:

- Seseorang berjalan sejauh 73,2 m dengan kecepatan sebesar 1,22 m/s, kemudian berlari sejauh 73,2 m dengan kecepatan sebesar 3,05 m/s.
 - Seseorang berjalan selama 1 menit dengan kecepatan sebesar 1,22 m/s kemudian berlari selama 1 menit dengan kecepatan sebesar 3,05 m/s sepanjang garis lurus.
- (a) Apabila **posisi** suatu benda terhadap waktu dinyatakan oleh $x(t) = 20t - 5t^3$, dengan x dalam meter dan t dalam sekon, kapan benda tersebut memiliki **kecepatan** bernilai nol? (b) Kapan benda tersebut memiliki **percepatan** bernilai nol? (c) Pada rentang waktu berapa saja benda tersebut memiliki **percepatan negatif**? (d) **Positif**? (e) Buat grafik $x(t)$, $v(t)$, dan $a(t)$.

4. Sebuah benda bergerak dalam satu dimensi mengikuti pola kecepatan terhadap waktu seperti terlihat pada grafik.

- (a) Kapankah kecepatan benda mencapai nilai nol dan berbalik arah?
- (b) Tentukan kecepatan rata-rata partikel antara $t = 1$ hingga $t = 10$ detik!
- (c) Gambarkan kurva percepatan sebagai fungsi dari waktu!



Lembar Jawaban







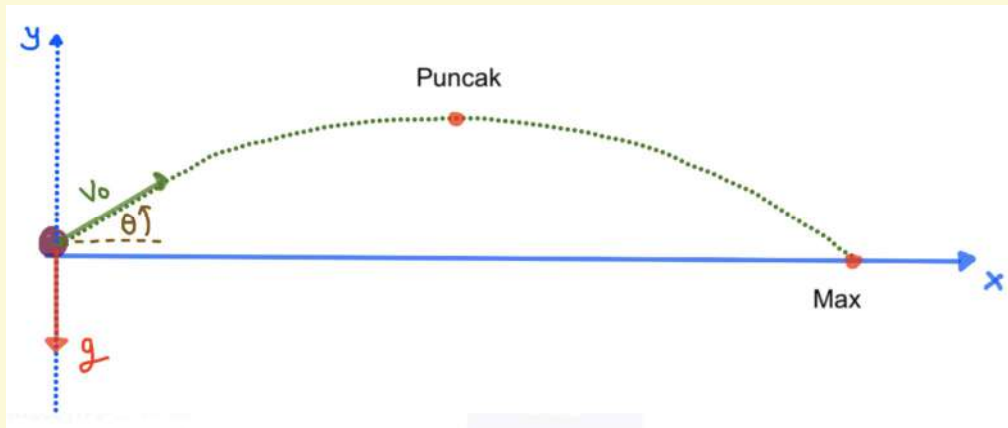
Lined writing area consisting of 16 horizontal lines for student notes or answers.

1. The function $f(x) = x^2 + 2x + 1$ is defined for all real numbers.
(a) Find $f(2)$.
(b) Find $f(-1)$.
(c) Find $f(0)$.
(d) Find $f(3)$.
(e) Find $f(4)$.

2.3 Kinematika 2 Dimensi (Contoh: Gerak Peluru)

Rangkuman Materi 2.2

Gerak Peluru

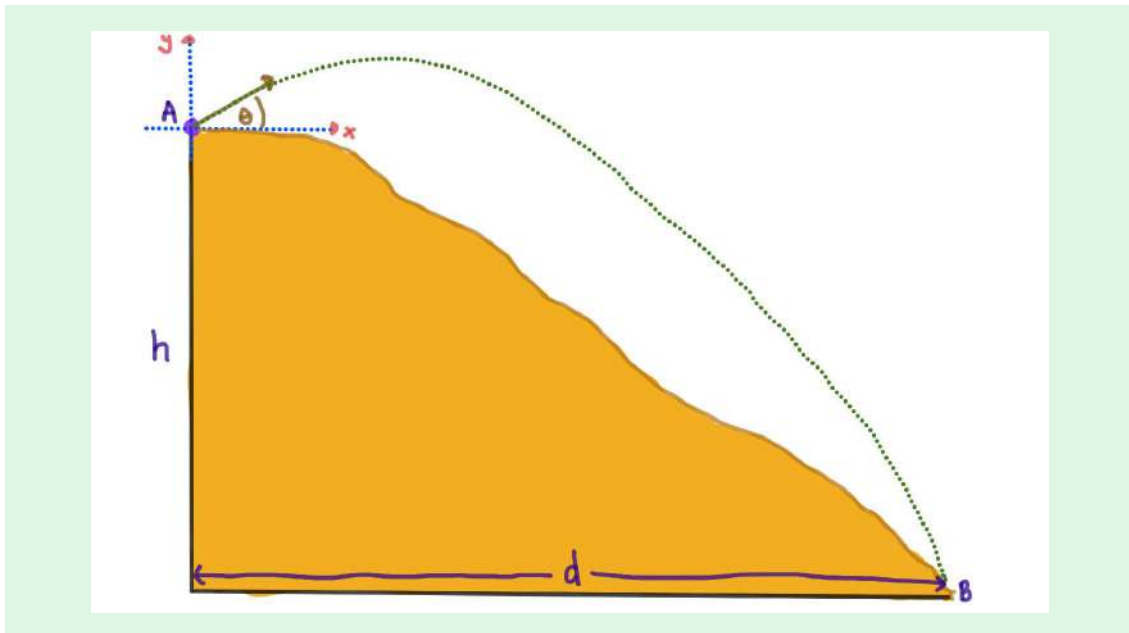


Sumbu-x (GLB)	Sumbu-y (GLBB)
# $a_x = 0$	# $a_y = -g$
# $v_x = v_{0x}$ $v_x = v_0 \cos \theta$	# $v_y = v_{0y} + a_y \Delta t$ $v_y = v_0 \sin \theta - g \Delta t$
# $\Delta x = v_{0x} \Delta t$ $\Delta x = v_0 \cos \theta \Delta t$	# $\Delta y = v_{0y} \Delta t + \frac{1}{2} a_y \Delta t^2$ $\Delta y = v_0 \sin \theta \Delta t - \frac{1}{2} g \Delta t^2$
# $v_x^2 = v_{0x}^2$ $v_x^2 = (v_0 \cos \theta)^2$	# $v_y^2 = v_{0y}^2 + 2 a_y \Delta y$ $v_y^2 = (v_0 \sin \theta)^2 - 2 g \Delta y$

Contoh Soal 2.2

Pada suatu letusan gunung berapi, bongkahan batu padat terlempar keluar dari kawah. Bongkahan tersebut biasanya disebut bom vulkanik. Gambar di bawah ini adalah penampang melintang dari gunung api. Tentukan:

1. Apabila sudut lemparnya adalah θ dengan $\tan \theta = 3/4$ dan tinggi kawah h_a adalah 2 km serta jarak d adalah 10 km, tentukan laju awal bongkahan batu tersebut!
2. Berapa waktu yang diperlukan bom vulkanik tersebut sampai ke tanah?

**Alur Cara Menjawab:**

Tulis dulu besaran-besaran yang diketahui di soal!	Diketahui: $\tan \theta = 3/4$, $y_0 = 2000$ m, $y_t = 0$ m, $\Delta x = 10.000$ m, $g = 9,8$ m/s ² .
<p>1. Karena diketahui benda berada di posisi $\Delta y = -2000$ m saat mencapai tanah, gunakan persamaan GLBB yang mengandung Δy.</p> <p>Kemudian, untuk mencari nilai Δt, gunakan persamaan GLB pada sumbu-x. Ingat bahwa diketahui nilai $\Delta x = 1000$ m ketika benda mencapai tanah.</p> <p>Terakhir, substitusi nilai Δt pada persamaan (2) ke dalam persamaan (1) sehingga diperoleh nilai kecepatan awal v_0</p>	$\Delta y = v_0 \sin \theta \Delta t - \frac{1}{2} g \Delta t^2$ $-2000 = v_0(0,6)\Delta t - 4,9\Delta t^2 \dots(1)$ $\Delta x = v_0 \cos \theta \Delta t$ $1000 = v_0(0,8)\Delta t$ $\Delta t = \frac{12500}{v_0} \dots(1)$ $-2000 = v_0(0,6)\left(\frac{12500}{v_0}\right) - 4,9\left(\frac{12500}{v_0}\right)^2$ $-2000 = 7500 - \frac{765625000}{v_0}$ $v_0^2 = \frac{765625000}{9500}$ $v_0^2 = 80592,10$ $v_0 = 283,88 \text{ m/s}$
2. Untuk mencari nilai Δt , dapat gunakan persamaan (1) dengan mensubstitusi nilai v_0 yang sudah diperoleh pada soal (a)	<p>Dari persamaan (1) diperoleh:</p> $\Delta t = \frac{12500}{v_0}$ $\Delta t = \frac{12500}{283,88}$ $\Delta t = 44\text{s}$

2.4 Kinematika Gerak Melingkar

Rangkuman Materi 2.3

Perbedaan kinematika gerak lurus (linear) dengan gerak melingkar (angular)

Linear	Angular
$r = R\theta$	θ
$v = R\omega$ (kec. linier, kec. tangensial)	ω (kec. sudut, kec. angular)
$a = R\alpha$ (perc. tangensial)	α (perc. sudut, perc. angular)
GLB $\rightarrow a = 0$	GMB $\rightarrow \alpha = 0$
GLBB $\rightarrow a = \text{konstan}$	GMBB $\rightarrow \alpha = \text{konstan}$
$v_t = v_0 + a\Delta t$	$\omega_t = \omega_0 + \alpha\Delta t$
$\Delta r = v_0\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$	$\Delta\theta = \omega_0\Delta t + \frac{1}{2}\alpha\Delta t^2$
$v_t^2 = v_0^2 + 2a\Delta r$	$\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta t$
	$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$ (percepatan sentripetal)

Soal Latihan

- Sebuah benda berada pada posisi yang dinyatakan oleh $\vec{r}(t) = -3t\hat{i} - 4t^2\hat{j} + 2\hat{k}$, dengan t dalam sekon dan \vec{r} dalam meter.
 - Dalam notasi vektor ($\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$), tentukan vektor kecepatan benda $\vec{v}(t)$!
 - Tentukan vektor kecepatan benda pada saat $t = 2$ sekon!
 - Tentukan besar kecepatan (kelajuan benda)! Petunjuk: hitung panjang dari vektor $\vec{v}(t)$.
- Sebuah peluru ditembakkan pada arah horizontal (mendatar) dari suatu senapan pada tinggi 45 meter di atas tanah dengan kecepatan awal sebesar 250 m/s.
 - Berapa lama peluru tersebut berada di udara? (sebelum peluru jatuh ke tanah)
 - Berapa jarak tembak peluru tersebut sebelum peluru jatuh ke tanah?
 - Berapa kecepatan vertikal peluru pada saat mencapai tanah?
- Sebuah batu kecil dilemparkan dengan kecepatan 20 m/s dengan sudut kemiringan sebesar 37° terhadap horizontal (terhadap tanah). Tentukan:

- (a) Tinggi maksimum yang dapat dicapai oleh batu tersebut!
 - (b) Jarak horizontal maksimum yang dapat dicapai oleh batu tersebut!
 - (c) Tentukan vektor posisi batu pada saat $t = 1$ s!
4. Sebuah motor listrik menggerakkan batu pengasah pisah (gerindra) berbentuk silinder. Kemudian motor tersebut dimatikan pada saat gerindra memiliki laju rotasi sebesar 240 rad/menit. Putaran gerindra tidak serta merta berhenti dan percepatan sudutnya dianggap konstan selama berputar tersebut. Setelah 2 detik, laju rotasi gerindra menjadi 180 rad/menit. Tentukan:
- (a) Percepatan sudut motor gerindra.
 - (b) Banyaknya putaran yang dialami gerindra.
5. Mobil hijau dan mobil merah sedan bergerak menuju satu sama lain seperti pada gambar. Mobil merah bergerak dengan kecepatan konstan (GLB), sedangkan mobil hijau bergerak dipercepat dengan percepatan konstan (GLBB). Pada saat $t = 0$, posisi mobil merah berada di $x_r = 0$, sedangkan posisi mobil hijau berada di $x_g = 220$ m. Apabila mobil merah bergerak dengan kecepatan konstan sebesar 20 km/jam, mobil merah dan mobil hijau bertemu pada posisi $x = 44,5$ m. Sedangkan, apabila mobil merah memiliki kecepatan 40 km/jam, kedua mobil tersebut bertemu pada posisi $x = 76,6$ m. Berapakah
- (a) kecepatan awal mobil hijau?
 - (b) percepatan konstan dari mobil hijau?

Lembar Jawaban



A series of horizontal lines providing a space for writing or drawing.



3. (a) 7, 2, m (b) 38, 4 m (c) 10i + 7 m (d) 4. (a) 30 rad/min (b) 125, 87 rpm (c) 2. (a) 13, 78 m/s
Kunci jawaban: 1. (a) 3i – 8j (b) 3i – 10j (c) 10, 278 m/s (d) 2. (a) 3 e (b) 720 m (c) -30 m/s



BAB 3

DINAMIKA BENDA TITIK

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

3

MODUL

Bab 3: Dinamika Benda Titik

3.1 Hukum Newton

Rangkuman Materi 3.1

Hukum Newton tentang gerak

Hukum I Newton: Benda cenderung mempertahankan keadaannya kecuali apabila benda tersebut dikenakan oleh gaya. Artinya, apabila tidak ada gaya maka tidak ada percepatan/perubahan kecepatan.

Hukum II Newton: Suatu benda akan mengalami percepatan/perubahan kecepatan apabila benda tersebut dikenakan oleh gaya. Besar percepatan sebanding dengan gaya, dengan konstanta kesebandingannya adalah massa inersia benda tersebut.

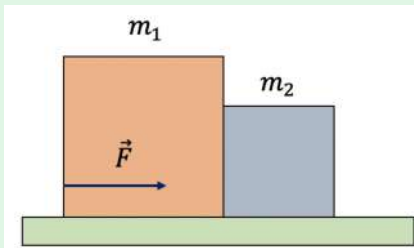
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Hukum III Newton: Ketika dua benda saling berinteraksi (seperti interaksi gravitasi atau benda yang bersentuhan satu sama lain), terdapat gaya pada masing-masing benda yang besarnya sama namun arahnya berlawanan (**aksi-reaksi**).

Contoh Soal 3.1

Dua buah benda masing-masing bermassa m_1 dan m_2 seperti pada gambar di bawah. Benda m_1 dikenakan gaya sebesar \vec{F} dari sebelah kiri, sehingga benda m_1 dan m_2 **bergerak bersama-sama**. Tentukan:

1. Besar percepatan kedua benda tersebut!
2. Besar gaya kontak yang dialami oleh benda m_1 dan m_2 !



Alur Cara Menjawab:

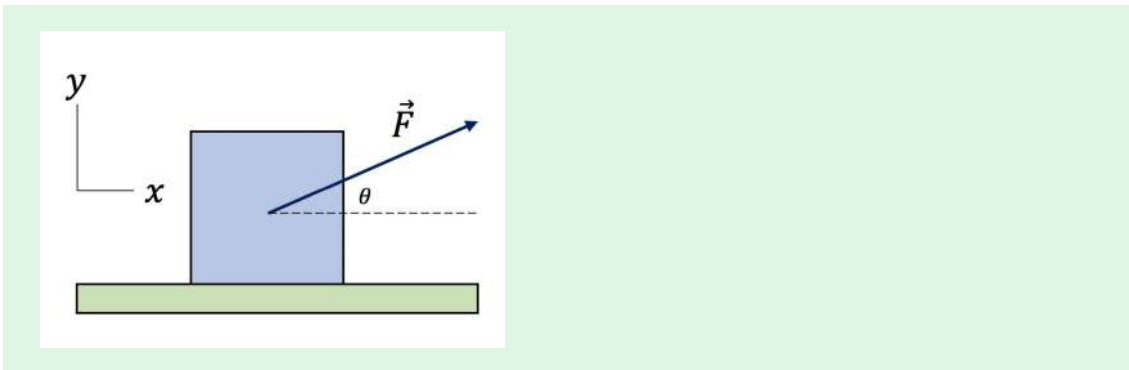
<p>Dalam materi dinamika, yang paling penting ditinjau adalah gaya yang dikenakan pada masing-masing benda. Perhatikan! Karena benda m_1 dan m_2 saling menempel, terdapat gaya kontak antara kedua benda tersebut! Sebut saja gaya kontaknya adalah N' (mirip seperti gaya normal pada lantai N, namun berbeda arah)</p>	<p>Diagram gaya benda: Sumbu koordinat</p>
<p>Karena pada bab ini seluruh benda dianggap sebagai benda titik (bukan benda tegar), kita bisa gambarkan diagram bebas benda (<i>free-body diagram</i>). Selain itu, tentukan juga arah percepatan benda!</p>	<p>Berikut adalah diagram bebas benda:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="821 1675 1077 1908"> <p>Benda 1:</p> </div> <div data-bbox="1093 1675 1348 1908"> <p>Benda 2:</p> </div> </div>

<p>Kemudian, tinjau persamaan gaya untuk masing-masing benda dengan menggunakan Hukum II Newton $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$! Benda 1 dan benda 2 bergerak bersama-sama, sehingga kedua percepatannya bernilai sama atau $\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \vec{a}$.</p> <p>Ingat! Benda hanya bergerak secara horizontal (mendatar) sehingga tidak ada percepatan arah sumbu-y!</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="794 259 1085 725"> <p>Persamaan gaya untuk benda 1:</p> <p>Sumbu-x: $F - N' = m_1 a \dots (1)$</p> <p>Sumbu-y: $N_1 - m_1 g = 0 \dots (2)$</p> </td> <td data-bbox="1085 259 1356 725"> <p>Persamaan gaya untuk benda 2:</p> <p>Sumbu-x: $N' = m_2 a \dots (2)$</p> <p>Sumbu-y: $N_2 - m_2 g = 0 \dots (4)$</p> </td> </tr> </table>	<p>Persamaan gaya untuk benda 1:</p> <p>Sumbu-x: $F - N' = m_1 a \dots (1)$</p> <p>Sumbu-y: $N_1 - m_1 g = 0 \dots (2)$</p>	<p>Persamaan gaya untuk benda 2:</p> <p>Sumbu-x: $N' = m_2 a \dots (2)$</p> <p>Sumbu-y: $N_2 - m_2 g = 0 \dots (4)$</p>
<p>Persamaan gaya untuk benda 1:</p> <p>Sumbu-x: $F - N' = m_1 a \dots (1)$</p> <p>Sumbu-y: $N_1 - m_1 g = 0 \dots (2)$</p>	<p>Persamaan gaya untuk benda 2:</p> <p>Sumbu-x: $N' = m_2 a \dots (2)$</p> <p>Sumbu-y: $N_2 - m_2 g = 0 \dots (4)$</p>		
<p>1. Yang ditanya adalah besar percepatan. Gunakan persamaan gaya masing-masing benda untuk memperoleh nilai percepatan a!</p> <p>2. Yang ditanya adalah besar gaya kontak. Gunakan persamaan gaya masing-masing benda untuk memperoleh gaya kontak N'</p>	<p>Substitusi N' pada persamaan (3) ke dalam persamaan (1) sehingga diperoleh:</p> $F - m_2 a = m_1 a$ $F = (m_1 + m_2) a$ $a = \frac{F}{m_1 + m_2}$ <p>Substitusi nilai a yang diperoleh pada soal (a) ke dalam persamaan (3):</p> $N' = m_2 a$ $N' = m_2 \left(\frac{F}{m_1 + m_2} \right)$ $N' = \frac{m_2 F}{m_1 + m_2}$ <p>dengan N' adalah gaya kontak antara benda m_1 dan m_2.</p>		

Contoh Soal 3.2

Sebuah balok bermassa $m = 6$ kg diberikan gaya sebesar $F = 12$ N pada arah membentuk sudut sebesar $\theta = 30^\circ$ terhadap horizontal seperti pada gambar. Anggap lantai licin sehingga tidak ada gesekan antara balok dengan lantai.

1. Tentukan besar dan arah percepatan yang dialami oleh balok!
2. Tentukan besar gaya minimum yang diperlukan agar balok terangkat dari lantai!



Lengkapi Bagian Kosong pada Tabel di Bawah Ini!

<p>Gambarkan diagram gaya pada benda. Perhatikan bahwa pada kasus ini, gaya F memiliki komponen arah sumbu-x dan sumbu-y!</p>			
<p>Gambarkan diagram bebas benda, kemudian tentukan arah percepatan benda!</p>			
<p>Tentukan persamaan gaya dari Hukum 2 Newton. Tinjau untuk masing-masing sumbu, yaitu sumbu-x dan sumbu-y!</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Sumbu-x</td> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Sumbu-y</td> </tr> </table>	Sumbu- x	Sumbu- y
Sumbu- x	Sumbu- y		
<p>1. Untuk memperoleh besar percepatan, gunakan persamaan untuk sumbu-x!</p>	$a = \dots$ $a = \sqrt{3} \text{ m/s}^2$ <p>Arah percepatan adalah ke arah sumbu-x positif</p>		

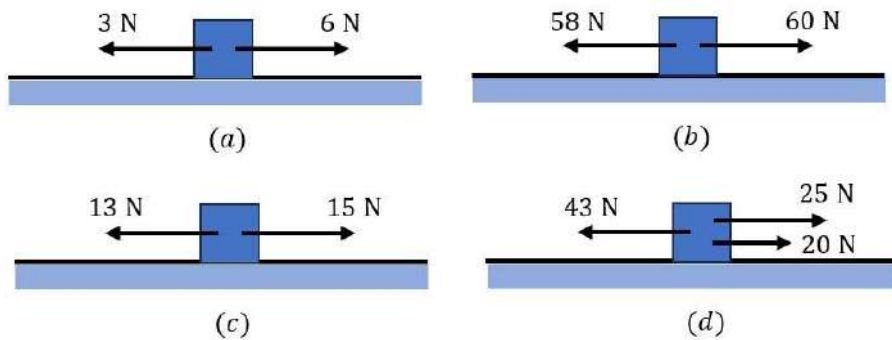
2. Ketika balok terlepas dari lantai, balok sudah tidak bersentuhan dengan lantai sehingga tidak ada gaya normal, atau $N = 0$. Gunakan persamaan sumbu-y untuk memperoleh nilai F ketika $N = 0$!

$$F = \frac{mg}{\sin \theta}$$

$$F = \quad N$$

3.2 Soal Latihan

1. Gambar di bawah menunjukkan 4 buah kotak bermassa sama yang ditarik oleh berbagai gaya secara mendatar/horizontal. Urutkan mulai dari kotak yang mengalami percepatan terbesar hingga percepatan terkecil!



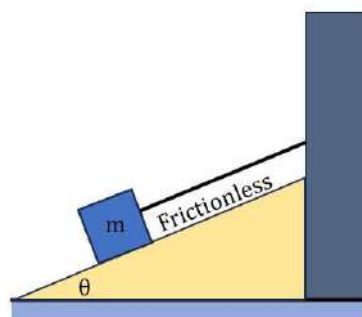
2. Dua buah gaya horizontal dikenakan pada benda bermassa 2 kg yang bergerak di atas lantai licin (tanpa gesekan). Salah satu gaya yang dikenakan pada benda tersebut adalah $\vec{F}_1 = 3\hat{i} + 4\hat{j}$ N. Tentukan percepatan benda dalam notasi vektor satuan apabila terdapat gaya kedua yang dikenakan pada benda sebesar:

- (a) $\vec{F}_2 = -3\hat{i} - 4\hat{j}$ N
- (b) $\vec{F}_2 = -3\hat{i} + 4\hat{j}$ N
- (c) $\vec{F}_2 = 3\hat{i} - 4\hat{j}$ N

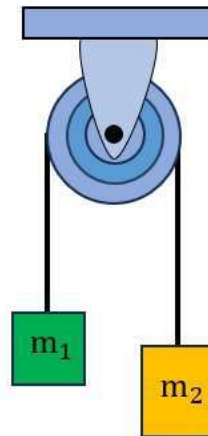
3. Sebuah balok bermassa 8,5 kg digantung dengan tali di atas sebuah bidang miring dengan sudut $\theta = 30^\circ$ seperti pada gambar di samping. Tentukan:

- (a) Besar tegangan tali,
- (b) Besar gaya normal yang dikenakan pada benda.
- (c) Apabila tali dipotong, tentukan besar percepatan yang dialami

oleh balok!

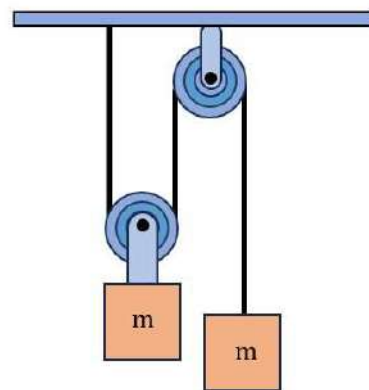


4. Dua buah balok digantungkan pada katrol seperti pada gambar di sebelah kanan. Tali dianggap tak bermassa dan katrol dianggap sangat licin. Massa masing-masing balok adalah $m_1 = 1,30$ kg dan $m_2 = 2,80$ kg. Tentukan:



- (a) Besar percepatan yang dialami oleh balok,
 - (b) Besar tegangan tali.
5. Dua buah balok masing-masing bermassa m digantungkan pada dua buah katrol seperti pada gambar di samping.

masing balok, nyatakan dalam percepatan gravitasi g !



- (a) Tentukan hubungan antara percepatan balok 1 dan balok 2!
- (b) Tentukan nilai tegangan tali dari tiap tali! Nyatakan dalam massa balok m dan percepatan gravitasi g !
- (c) Hitung nilai percepatan masing-

Lembar Jawaban



A series of horizontal lines for writing, starting below the page header and extending to the bottom of the page.



Lined writing area consisting of 18 horizontal lines.



Kunci Jawaban: 1. Urutan: a, b, c, d, s. (a) $0 = 0$ (b) $\hat{f} = \hat{f}$ (c) $\hat{f} = \hat{f}$ (d) $\hat{f} = \hat{f}$
3. (a) $T = 45, \hat{c} = N$ (b) $N = 3, \hat{c} = N$ (c) $-2 = -2$ (d) $N = 3, \hat{c} = N$
2. (a) $\alpha = -2$ (b) $T = \frac{1}{2}$ (c) $\alpha = \frac{1}{2}$ (d) $\alpha = \frac{1}{2}$

3.3 Gaya Gesek, *Drag Force*, Gaya Sentripetal

Rangkuman Materi 3.2

1. Gaya Gesek

- (a) Terdapat dua jenis gaya gesek:
- Apabila dua permukaan yang bersentuhan saling bergesekan namun belum mulai bergerak, maka gaya geseknya adalah gaya gesek **statis**, $f_s \leq \mu_s N$
 - Apabila dua permukaan yang bersentuhan saling bergesekan dan sudah mulai bergerak maka gaya geseknya adalah gaya gesek **kinetis**, $f_k \leq \mu_k N$
- (b) μ_s merupakan koefisien gesek statis dan μ_k merupakan koefisien gesek kinetis dengan N adalah gaya normal antara kedua permukaan yang bersentuhan atau bergesekan. μ_s selalu lebih besar dari μ_k , atau $\mu_s > \mu_k$

2. *Drag Force* dan kecepatan terminal

- (a) Gaya ini dapat disebut juga sebagai "gaya gesek udara" atau gaya gesek akibat fluida (cairan/gas) dan arahnya selalu **berlawanan** dengan arah gerak benda
- (b) Besar gayanya, D , diberikan oleh

$$D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

dengan C merupakan koefisien gesekan udara, ρ merupakan massa jenis fluida, A merupakan luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida, v merupakan kecepatan benda.

- (c) **Kecepatan terminal** adalah kecepatan konstan suatu benda ketika *drag force* bernilai sama dengan gaya gravitasi:

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}$$

dengan F_g merupakan gaya gravitasi.

3. Percepatan Sentripetal

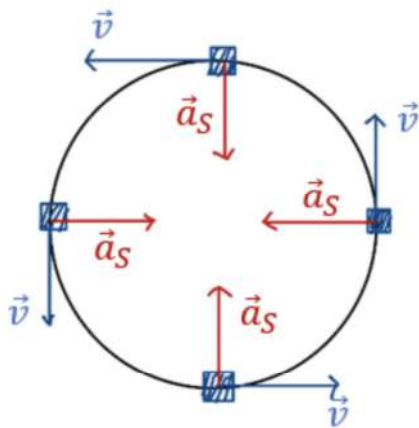
- (a) Percepatan ini muncul ketika benda bergerak melingkar dan arahnya selalu mengarah ke pusat lingkaran lintasan benda.

(b) **Besar** percepatan sentripetal diberikan oleh

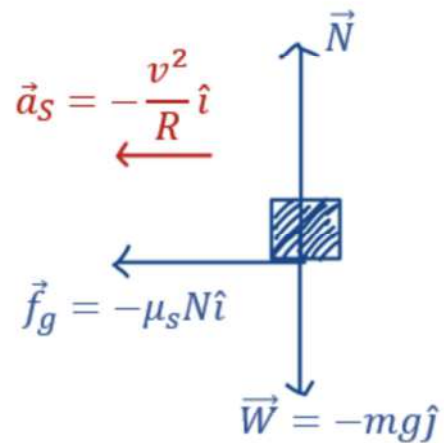
$$a_s = \frac{v^2}{R}$$

dengan v merupakan kelajuan tangensial benda, R merupakan jari-jari lintasan benda. Artinya, benda yang bergerak melingkar selalu mengalami percepatan ke arah pusat lingkaran. Lihat ilustrasi gerak melingkar di bawah ini!

Tampak Atas:



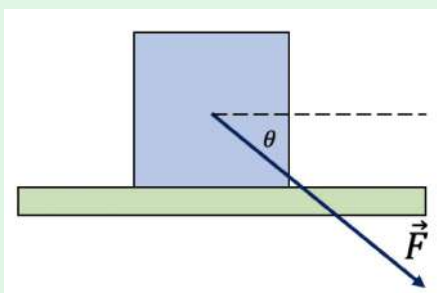
Tampak Belakang:



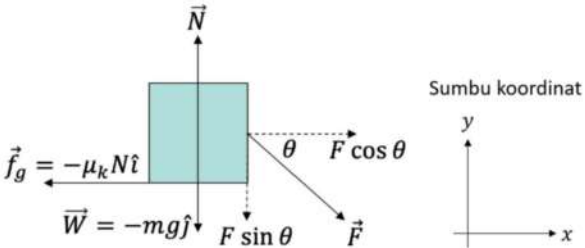
Contoh Soal 3.3

Sebuah balok bermassa $m = 3,5$ kg dikenakan gaya sebesar $F = 15$ N yang membentuk sudut sebesar θ seperti pada gambar, dengan $\tan \theta = \frac{3}{4}$. Terdapat gesekan antara benda dengan lantai, dengan koefisien gesek kinetis sebesar $\mu_k = 0,25$. Asumsikan balok pasti bergerak sehingga tidak perlu meninjau gaya gesek statis!

1. Tentukan besar gaya gesek kinetis antara benda dengan lantai, f_g !
2. Tentukan besar percepatan yang dialami oleh benda!



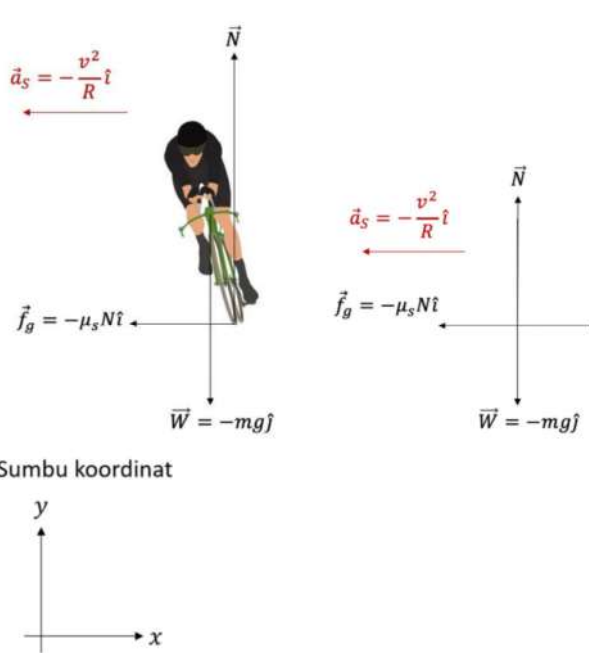
Lengkapi Bagian Kosong pada Tabel di Bawah Ini!

<p>Gambarkan diagram gaya pada benda. Perhatikan bahwa pada kasus ini, gaya F memiliki komponen arah sumbu-x dan sumbu-y! Ingat juga dalam kasus ini, terdapat gaya gesek yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda!</p>					
<p>Gambarkan diagram bebas benda, kemudian tentukan arah percepatan benda!</p>					
<p>Tuliskan persamaan gaya dari Hukum 2 Newton. Tinjau untuk masing-masing sumbu, yaitu sumbu-x dan sumbu-y! Sekarang, terdapat gaya gesek ke arah kiri pada persamaan gaya sumbu-x.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Persamaan gaya Sumbu-x:</th> <th style="padding: 5px;">Persamaan gaya Sumbu-y:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"> $F \cos \theta - f_g = ma$ $F \cos \theta - \mu_k N = ma$ </td> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"></td> </tr> </tbody> </table>	Persamaan gaya Sumbu- x :	Persamaan gaya Sumbu- y :	$F \cos \theta - f_g = ma$ $F \cos \theta - \mu_k N = ma$	
Persamaan gaya Sumbu- x :	Persamaan gaya Sumbu- y :				
$F \cos \theta - f_g = ma$ $F \cos \theta - \mu_k N = ma$					
<p>Untuk mencari nilai gaya gesek, hitung terlebih dahulu nilai gaya normal dari persamaan sumbu-y, kemudian gunakan persamaan $f_g = \mu_k N$.</p>					
<p>Untuk menghitung percepatan benda, gunakan persamaan sumbu-x dengan memasukkan nilai gaya gesek ke dalam persamaan (1).</p>					

Contoh Soal 3.4

Seorang pembalap sepeda sedang mengendarai sepeda dengan kelajuan sebesar $v = 10 \text{ m/s}$. Pembalap tersebut berada di lintasan berbentuk lingkaran dengan radius sebesar R dan koefisien gesek sebesar $\mu = 0,1$. Berapa radius terkecil yang diperbolehkan agar pesepeda tersebut tidak tergelincir?

Lengkapi Bagian Kosong pada Tabel di Bawah Ini!

<p>Buat diagram gaya pesepeda tersebut! Karena pesepeda berada dalam lintasan berbentuk lingkaran, maka terdapat percepatan sentripetal dengan arah menuju pusat lingkaran!</p> <p>Gaya yang bekerja untuk menghasilkan percepatan sentripetal tersebut tidak lain adalah gaya gesek statis.</p> <p>Gambarkan juga diagram bebas benda.</p>	 <p>Sumbu koordinat</p> <p>y</p> <p>x</p>		
<p>Tuliskan persamaan gaya dari Hukum 2 Newton. Tinjau untuk masing-masing sumbu, yaitu sumbu-x dan sumbu-y! Sekarang, terdapat gaya gesek ke arah berbeloknya sepeda tersebut. Gaya gesek ini yang akan menghasilkan percepatan sentripetal sebesar $a_S = \frac{v^2}{R}$ agar sepeda bergerak melingkar dan tidak tergelincir.</p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Persamaan gaya Sumbu-x:</p> $-f_g = -m\left(\frac{v^2}{R}\right)$ $\mu_s N = \frac{mv^2}{R} \dots (1)$ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Persamaan gaya Sumbu-y:</p> $N - W = 0$ $N - mg = 0 \dots (4)$ </td> </tr> </table> <p>Gaya gesek harus menghasilkan percepatan sentripetal sebesar $a_S = v^2/R$ agar tidak tergelincir.</p>	<p>Persamaan gaya Sumbu-x:</p> $-f_g = -m\left(\frac{v^2}{R}\right)$ $\mu_s N = \frac{mv^2}{R} \dots (1)$	<p>Persamaan gaya Sumbu-y:</p> $N - W = 0$ $N - mg = 0 \dots (4)$
<p>Persamaan gaya Sumbu-x:</p> $-f_g = -m\left(\frac{v^2}{R}\right)$ $\mu_s N = \frac{mv^2}{R} \dots (1)$	<p>Persamaan gaya Sumbu-y:</p> $N - W = 0$ $N - mg = 0 \dots (4)$		
	<p>Dari persamaan (2) diperoleh bahwa $N = mg$</p>		

Substitusi nilai N pada persamaan (2) ke dalam persamaan (1) untuk memperoleh nilai R minimum:	$\mu_s N \frac{mv^2}{R_{\min}}$ $\mu_s mg = \frac{mv^2}{R_{\min}}$ $R_{\min} = \frac{v^2}{\mu_s g}$
Masukkan angka numerik untuk memperoleh nilai R minimum!	$R_{\min} = \frac{v^2}{\mu_s g}$ $R_{\min} = \dots$

3.4 Soal Latihan

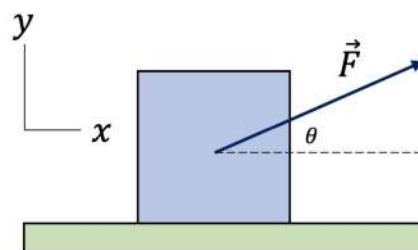
1. Sebuah balok bermassa $m = 2$ kg ditarik oleh gaya sebesar $F = 10$ N yang membentuk sudut sebesar θ seperti pada gambar. Diketahui $\cos\theta = 0,6$ dan $\sin\theta = 0,8$. Berapakah percepatan yang dialami balok apabila

- (a) Koefisien gesek statis dan kinetis masing-masing sebesar $\mu_s = 0,6$ dan $\mu_k = 0,5$

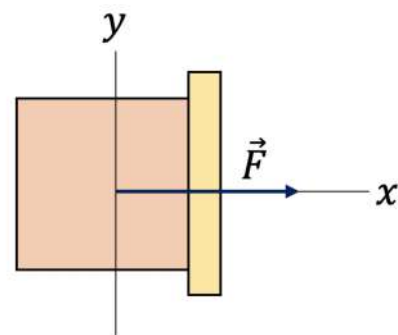
2. Sebuah gaya horizontal sebesar $F = 12$ N dikerjakan pada sebuah balok bermassa $m = 0,5$ kg yang menempel pada tembok kasar seperti pada gambar. Koefisien gesek statis balok dengan tembok adalah $\mu_s = 0,6$ dan koefisien gesek kinetisnya adalah $\mu_k = 0,4$.

- (a) Apakah balok akan bergerak?
 (b) Berapa gaya minimum yang dibu-

- (b) Koefisien gesek statis dan kinetis masing-masing sebesar $\mu_s = 0,4$ dan $\mu_k = 0,3$



tuhkan agar balok tidak jatuh?



3. Misalkan koefisien gesek statis antara ban mobil dengan jalan adalah $\mu_s = 0,6$.



BAB 4

USAHA DAN ENERGI

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

4

MODUL

Bab 4: Usaha dan Energi

4.1 Definisi Usaha

Rangkuman Materi 4.1

Rumus Dasar Usaha (Work)

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$d\vec{s}$ merupakan elemen perpindahan benda. Dalam koordinat kartesian,

$$d\vec{r} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$$

Kasus Khusus: Apabila gaya F bernilai konstan terhadap posisi (tidak bergantung x, y, z) dan lintasan merupakan garis lurus, maka

$$W = Fs \cos \theta$$

dengan θ merupakan sudut antara vektor \vec{F} dan perpindahan \vec{r} .

Rangkuman Materi 4.2

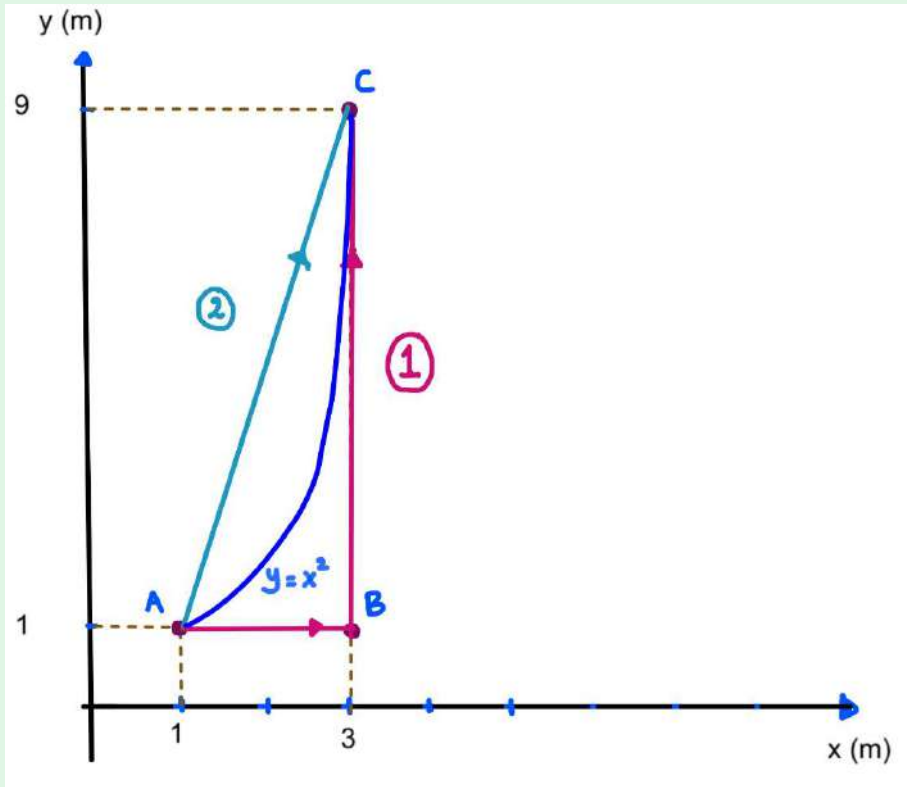
Gaya Konservatif dan Non Konservatif

*) Gaya konservatif apabila usaha yang disebabkan oleh gaya tersebut tidak bergantung pada lintasan yang dilewati oleh benda tersebut.

Contoh: Gaya Gravitasi, Gaya listrik statis, Gaya Pegas

*) Gaya Non-Konservatif apabila usaha yang disebabkan oleh gaya tersebut bergantung pada lintasan yang dilewati oleh benda tersebut
 Contoh: Gaya gesek

Contoh Soal 4.1



Tentukan usaha W_{AC} akibat gaya $\vec{F} = 2x^2y^3\hat{i} + 2x^3y^2\hat{j}$ melalui:

1. Lintasan 1
2. Lintasan 2
3. Lintasan 3
4. Apakah gaya F merupakan gaya konservatif? Jelaskan!

Alur Cara Menjawab:

<p>Karena gaya penyebab gerak merupakan fungsi dari posisi (x, y, z) maka untuk menghitung nilai usaha harus menggunakan rumus dasar yaitu dengan menggunakan integral lintasan.</p>	$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$
<p>1. Lintasan 1 merupakan gabungan antara dua lintasan yaitu lintasan AB (horizontal) dan lintasan BC (vertikal). Sehingga, usaha total diperoleh dari penjumlahan usaha melalui lintasan AB dan lintasan BC</p>	$W_{AC}^{(1)} = W_{AB} + W_{BC}$
<p>Hitung integral melalui lintasan AB. Dalam lintasan ini, karena Bergeraknya hanya ke arah sumbu-x saja, maka $d\vec{s} = dx\hat{i}$ Pada lintasan AB, nilai sumbu-y tidak berubah, yaitu $y = 1$. Artinya, seluruh variabel y pada lintasan ini bernilai 1.</p>	$W_{AB} = \int_{AB} \vec{F} \cdot d\vec{s}$ $W_{AB} = \int_1^3 (2x^2y^3\hat{i} + 2x^3y^2\hat{j}) \cdot dx\hat{i}$ $W_{AB} = \int_1^3 2x^2y^3 \Big _{y=1} dx$ $W_{AB} = \int_1^3 2x^2 dx$ $W_{AB} = \frac{52}{3} \text{ Joule}$
<p>Hitung integral melalui lintasan BC. Dalam lintasan ini, karena Bergeraknya hanya ke arah sumbu-y saja, maka $d\vec{s} = dy\hat{j}$ Pada lintasan BC, nilai sumbu-x tidak berubah, yaitu $x = 3$. Artinya, seluruh variabel x pada lintasan ini bernilai 3.</p>	$W_{BC} = \int_{BC} \vec{F} \cdot d\vec{s}$ $W_{BC} = \int_B (2x^2y^3\hat{i} + 2x^3y^2\hat{j}) \cdot dy\hat{j}$ $W_{BC} = \int_1^9 2x^3y^2 \Big _{x=3} dy$ $W_{BC} = \int_1^9 54y^2 dy$ $W_{BC} = 13104 \text{ Joule}$

<p>Usaha total lintasan 1 diberikan oleh:</p>	$W_{AC}^{(1)} = W_{AB} + W_{BC}$ $W_{AC}^{(1)} = \frac{52}{3} + 13104$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $W_{AC}^{(1)} = \frac{39364}{3} \text{ Joule}$ </div>
<p>2. Lintasan 2 merupakan lintasan yang melalui garis miring dari titik A ke titik C. Dari sini, kita perlu mencari persamaan garis yang menghubungkan y dengan x</p>	<p>Tentukan persamaan garis lurus dari A ke C:</p> $\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ <p>titik A: $(x_1, y_1) = (1, 1)$ titik B: $(x_2, y_2) = (3, 9)$</p> $\frac{y - 1}{9 - 1} = \frac{x - 1}{3 - 1} \rightarrow y = 4x - 3$ $dy = 4dx$
<p>Hitung integral lintasan W_{AC} dengan $d\vec{s} = dx\hat{i} + dy\hat{j}$. Ganti seluruh variabel y dengan $4x - 3$ dan dy dengan $4dx$. Atau, bisa juga mengganti variabel x dengan $\frac{y+3}{4}$</p>	<p>Lintasan 2:</p> $W_{AC} = \int_2 \vec{F} \cdot d\vec{s}, \quad d\vec{s} = dx\hat{i} + dy\hat{j}$ $W_{AC} = \int_2 (2x^2y^3\hat{i} + 2x^3y^2\hat{j}) \cdot (dx\hat{i} + dy\hat{j})$ $W_{AC} = \int_2 2x^2y^3 \Big _{y=4x-3} dx$ $+ \int_2 2x^3y^2 \Big _{x=\frac{y+3}{4}} dy$ $W_{AC} = \int_1^3 2x^2(4x-3)^3 dx + \int_1^9 2\left(\frac{y+3}{4}\right)^3 y^2 dy$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $W_{AC}^{(2)} = \frac{39364}{3} \text{ Joule}$ </div>

<p>3. Lintasan 3 merupakan kurva yang memenuhi persamaan $y = x^2$. Untuk mengerjakan integral lintasannya, lakukan langkah yang sama dengan mengerjakan usaha pada lintasan 2, namun ganti variabel y dengan x^2 atau ganti variabel x dengan \sqrt{y}</p>	<p>Lintasan 3</p> $W_{AC} = \int_3 \vec{F} \cdot d\vec{s}, \quad d\vec{s} = dx\hat{i} + dy\hat{j}$ $W_{AC} = \int_3 (2x^2y^3\hat{i} + 2x^3y^2\hat{j}) \cdot (dx\hat{i} + dy\hat{j})$ $W_{AC} = \int_3 2x^2y^3 dx \Big _{y=x^2} + \int_3 2x^3y^2 dy \Big _{x=\sqrt{y}}$ $W_{AC} = \int_1^3 2x^8 dx + \int_1^9 2y^{7/2} dy$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $W_{AC}^{(3)} = \frac{39364}{3} \text{ Joule}$ </div>
<p>4. Ingat bahwa gaya konservatif menghasilkan usaha yang sama meskipun lintasannya berbeda-beda!</p>	<p>Karena nilai W_{AC} sama untuk ketiga lintasan tersebut, maka dapat dikatakan bahwa gaya \vec{F} merupakan gaya konservatif.</p>

4.2 Macam-macam Energi

Rangkuman Materi 4.3

Macam-macam energi yang umum di TPB:

1. Energi Kinetik (E_K) → Energi yang muncul apabila benda bergerak atau memiliki kecepatan

2. Energi potensial

(a) Energi Potensial Gravitasi $E_{P\text{grav}}$. → Energi yang muncul apabila memiliki ketinggian tertentu

$$E_{P\text{grav}} = mgh$$

(b) Energi Potensial Pegas ($E_{P\text{pegas}}$) → Energi yang muncul apabila pegas tertekan/tertarik

$$E_{P\text{pegas}} = \frac{1}{2} k \Delta x^2$$

3. Energi Mekanik (E_M) → Jumlah energi kinetik dan energi potensial

$$E_M = E_K + E_P$$

4. Usaha yang dilakukan oleh gaya gesek apabila gaya gesek bernilai konstan dan lintasan merupakan garis lurus

$$W_{\text{gesek}} = -f_{\text{gesek}}s$$

5. Energi yang hilang akibat gaya gesek

$$\Delta E = -W_{\text{gesek}} = f_{\text{gesek}}s$$

4.3 Hukum Kekekalan Energi

Rangkuman Materi 4.4

Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, namun hanya dapat dikonversi ke bentuk energi lain. Apabila tidak ada gaya non-konservatif pada suatu sistem, maka energi mekanik sistem kekal

$$E_{M_A} = E_{M_B}$$

Konsep menyelesaikan persamaan energi yaitu cukup dengan membandingkan energi total pada 2 kondisi (keadaan) yang berbeda. Contohnya, kondisi yang ditanyakan dengan kondisi yang diketahui.

Keadaan konservatif

$$E_{M_A} = E_{M_B}$$

$$E_{P_A} + E_{K_A} = E_{P_B} + E_{K_B}$$

$$E_{K_B} - E_{K_A} = E_{P_A} - E_{P_B}$$

$$\Delta E_K = \Delta E_P$$

Keadaan non-konservatif (Ada gesekan)

$$E_{M_A} = E_{M_B} + W_{\text{gesek}}$$

$$E_{P_A} + E_{K_A} = E_{P_B} + E_{K_B} + W_{\text{gesek}}$$

$$E_{K_B} - E_{K_A} = E_{P_A} - E_{P_B} - W_{\text{gesek}}$$

$$\Delta E_K = -\Delta E_P - W_{\text{gesek}}$$

4.4 Hubungan Usaha dan Energi

Rangkuman Materi 4.5

Hubungan Usaha dan Energi diberikan oleh

$$W_{\text{total}} = \Delta E_K$$

Untuk kondisi tanpa gesekan (konservatif)

$$W_{\text{konservatif}} = -\Delta E_P$$

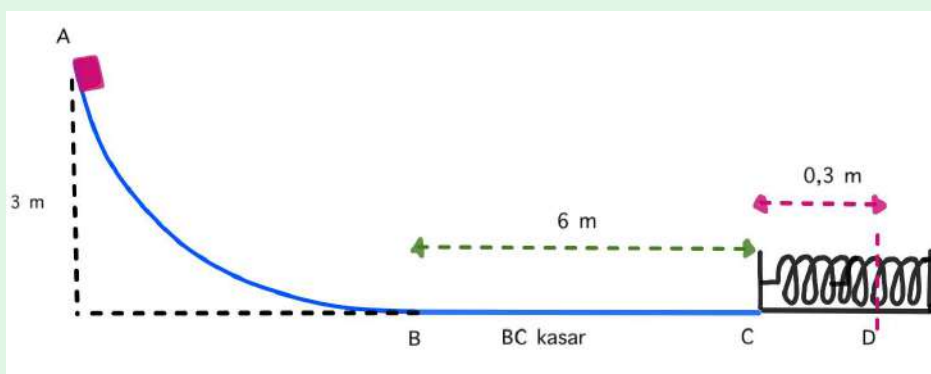
Untuk kondisi dengan gesekan (non-konservatif)

$$W_{\text{total}} = -\Delta E_P - W_{\text{non-konservatif}}$$

Contoh Soal 4.2

Sebuah balok bermassa 10 kg dilepaskan dari keadaan A sehingga melewati lintasan licin AB dan lintasan kasar BC. Balok kemudian menabrak pegas dengan konstanta pegas sebesar $k = 4250 \text{ N/m}$ pada lintasan licin CD hingga pegas tertekan sejauh 0,3 m dari posisi setimbangnya (lihat gambar). Tentukan:

1. Koefisien gesek kinetis pada lintasan BC
2. Kecepatan balok di B setelah berbalik arah
3. Apakah balok akan kembali ke titik A setelah berbalik arah? Jelaskan!



Alur Cara Menjawab:

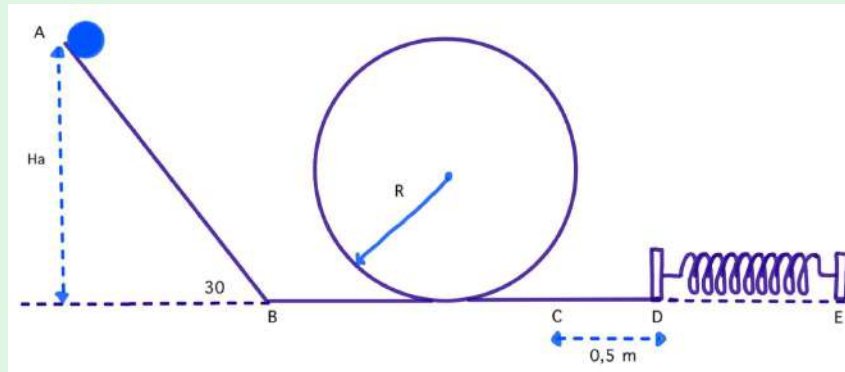
<p>Ingat bahwa berdasarkan hukum kekekalan energi, energi total di setiap titik bernilai sama.</p> <p>1. Karena lintasan kasar ada pada BC, maka keadaan yang ditanyakan pada soal nomor 1 adalah keadaan C. Kita dapat membandingkan keadaan C dengan keadaan yang diketahui yaitu keadaan A atau keadaan D.</p> <p>Pertama-tama, tinjau keadaan A dan keadaan C</p>	$E_{\text{Total A}} = E_{\text{Total C}}$ $E_{P_A} + E_{K_A} = E_{P_C} + E_{K_C} + W_{\text{gesek}}$ $m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m v_C^2 + f_{\text{gesek}}$ $m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m v_C^2 + \mu_k \cdot m \cdot g$ $30 = \frac{1}{2} v_C^2 + 60 \mu_k \dots (1)$
<p>Berikutnya, tinjau energi di titik C dan energi di titik D</p> <p>Pada titik C dan D tidak terdapat ketinggian, sehingga energi potensial bernilai nol.</p> <p>Pada titik D, pegas tertekan sehingga terdapat energi potensial pegas. Kemudian, pada titik D juga benda tidak memiliki kecepatan (diam) sehingga energi kinetik bernilai nol.</p>	$E_{\text{Total C}} = E_{\text{Total D}}$ $E_{P_C} + E_{K_C} = E_{P_D} + E_{K_D}$ $\frac{1}{2} m v_C^2 = \frac{1}{2} k \Delta x^2$ $v_C^2 = 38,25 \rightarrow v_C = 6,18 \text{ m/s}$
<p>Substitusi nilai v_C^2 ke dalam persamaan (1) sehingga diperoleh nilai koefisien gesek μ_k.</p>	<p>Dari persamaan (1) diperoleh</p> $30 = \frac{1}{2} (38,25) + 60 \mu_s$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $\mu_k = 0,18125$ </div>

<p>2. Untuk menentukan kecepatan balok di keadaan B', yaitu keadaan di titik B setelah balok berbalik arah, tinjau energi pada keadaan D dan keadaan B'.</p>	$E_{\text{Total } D} = E_{\text{Total } B'}$ $E_{P_D} + E_{K_D} + E_{\text{Pegas}_D} = E_{P_{B'}} + E_{K_{B'}} + W_{\text{gesek}}$ $\frac{1}{2}k\Delta x^2 = \frac{1}{2}mv_{B'}^2 + \mu_k \cdot m \cdot g \cdot s$ $\frac{1}{2}(4250)(0,3)^2$ $= \frac{1}{2}(10)v_{B'}^2 + 0,18125 \cdot (10) \cdot (10) \cdot 6$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $v_{B'} = 4,06 \text{ m/s}$ </div>
<p>3. Untuk mengetahui apakah benda sampai kembali ke titik A, kita cukup menghitung tinggi dari A', yaitu tinggi setelah benda berbalik arah.</p> <p>Apabila tinggi A' sama dengan tinggi awal (tinggi A), maka benda kembali ke titik A.</p> <p>Untuk mengetahui tinggi A', dapat ditinjau energi total pada keadaan B' dan keadaan A'</p>	$E_{\text{Total } B'} = E_{\text{Total } A'}$ $E_{P_{B'}} + E_{K_{B'}} = E_{P_{A'}} + E_{K_{A'}}$ $\frac{1}{2}mv_{B'}^2 = m \cdot g \cdot h_{A'}$ $\frac{1}{2}(4,06)^2 = 10h_{A'}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $h_{A'} = 0,82418 \text{ m}$ </div> <p>Karena $h_{A'} < h_A$, maka benda tidak sampai kembali ke titik A.</p>

Contoh Soal 4.3

Sebuah benda bermassa 0,1 kg dilepaskan pada titik A, bergerak mengikuti lintasan seperti pada gambar. Apabila diketahui konstanta pegas $k = 1 \text{ N/m}$, $R = 0,5 \text{ m}$ dan panjang CD adalah 0,5 m. Jika lintasan AB kasar dengan koefisien gesek sebesar $\mu_k = 0,4$ dan $\mu_k = 0,2$ sedangkan lintasan yang lain merupakan lintasan licin. Tentukan:

1. Ketinggian minimum A agar bola dapat melewati lintasan melingkar sebelum menumbuk pegas
2. Apabila tinggi A adalah 3,5R tentukan seberapa jauh pegas tertekan (Δx)



Karena ada kata-kata syarat (agar), maka kita harus membandingkan keadaan yang dicari (titik A) dengan keadaan ekstrimnya agar bola dapat memutar lintasan

Namun, karena pada soal diberitahu informasi koefisien gesek statis dan kinetis, maka terlebih dahulu harus dipastikan apakah bola tersebut diam atau bergerak.

Tinjau gaya yang membuat benda bergerak. Dalam kasus ini, gaya yang membuat benda bergerak adalah gaya berat benda tersebut ke arah geraknya. Proyeksikan gaya berat benda dengan menggunakan trigonometri!

Cek benda bergerak atau tidak:

$$f_{\text{gesek}} = \mu_s \cdot N$$

$$f_{\text{gesek}} = \mu_s \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta$$

$$f_{\text{gesek}} = (0,4) \cdot (0,1) \cdot (10) \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

$$f_{\text{gesek}} = 0,3464 \text{ N}$$

$$\sum F_{\text{Pembuat Gerak}} = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

$$\sum F_{\text{Pembuat Gerak}} = (0,1) \cdot (10) \cdot \frac{1}{2}$$

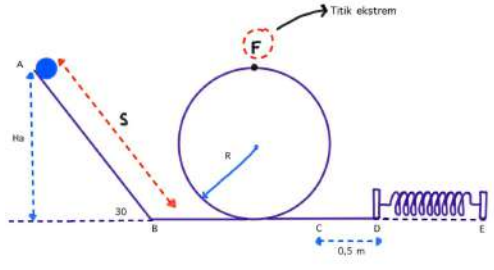
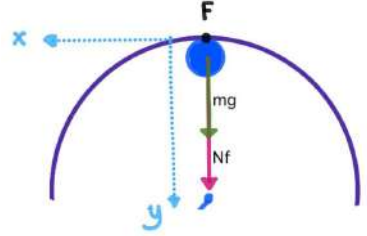
$$\sum F_{\text{Pembuat Gerak}} = 0,5 \text{ N}$$

Karena $\sum F_{\text{Pembuat Gerak}} > f_{\text{gesek}}$, maka benda bergerak. Berikutnya, tentukan gaya gesek kinetis benda tersebut.

$$f_{\text{gesek}} = \mu_k \cdot N$$

$$f_{\text{gesek}} = (0,2) \cdot (0,1) \cdot (10) \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

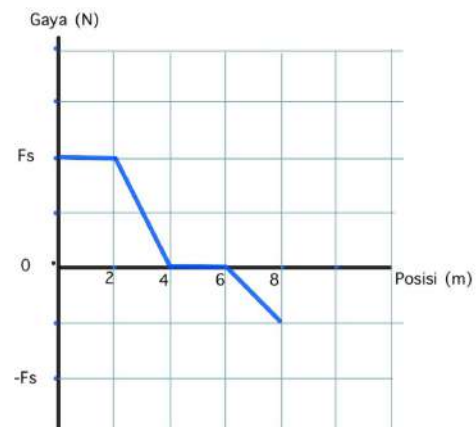
$$f_{\text{gesek}} = 0,1732 \text{ N}$$

<p>1. Tinjau persamaan kekekalan energi mekanik di titik A dan di titik F, yaitu titik puncak lintasan melingkar</p> 	$E_{\text{Total } A} = E_{\text{Total } B}$ $E_{P_A} + E_{K_A} = E_{P_F} + E_{K_F} + W_{\text{gesek}}$ $m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot 2R + \frac{1}{2} m v_F^2 + f_{\text{gesek}} \cdot s$ $m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot 2R + \frac{1}{2} m v_F^2 + \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot s$ $10h_A = 10 + \frac{1}{2} v_F^2 + 1,732(2h_A)$ $6,536h_A = 10 + \frac{1}{2} v_F^2 \dots (1)$
<p>Berikutnya, cari nilai kecepatan v_F dengan menggunakan dinamika (gambar diagram gayanya!)</p>	
<p>Berikutnya, tuliskan persamaan gayanya. Ingat bahwa benda bergerak melingkar, sehingga ada percepatan sentripetal sebesar $a_s = v_F^2/R$.</p>	$\sum F_y = m a_s$ $mg + N = \frac{m v_F^2}{R}$
<p>Perhatikan bahwa nilai v_F minimum diperoleh ketika benda hampir lepas dari lintasan. Artinya, nilai tersebut didapat ketika gaya normalnya bernilai nol, $N = 0$.</p>	<p>Agar v_F minimum, $N = 0$</p> $mg = \frac{m v_{F \text{ min}}^2}{R}$ $v_{F \text{ min}}^2 = gR$

<p>Berikutnya, substitusi nilai $v_{F \min}^2$ tersebut ke dalam persamaan (1) untuk memperoleh nilai h_A</p>	<p>Dari persamaan (1), diperoleh</p> $6,536h_{A \min} = 10 + \frac{1}{2} \cdot g \cdot R$ $6,536h_{A \min} = 10 + \frac{1}{2} \cdot 5$ $h_{A \min} = 1,9124 \text{ m}$ <p>Apabila $h_A < h_{A \min}$, maka bola tidak dapat melewati lintasan melingkar.</p>
<p>2. Pertama-tama, cek dulu apakah benda dapat melewati lintasan melingkar atau tidak. Karena, apabila tidak, benda tersebut juga tidak dapat mencaipai pegas.</p> <p>Cek apakah nilai h_A lebih besar atau lebih kecil dari $h_{A \min}$.</p>	$h_A = 3,5R$ $h_A = 3,5 \cdot (0,5)$ $h_A = 1,75 \text{ m}$ <p>Karena $h_A < h_{A \min}$, maka benda tidak dapat memutar lintasan melingkar, maka benda juga tidak menekan pegas</p> $\Delta x = 0$

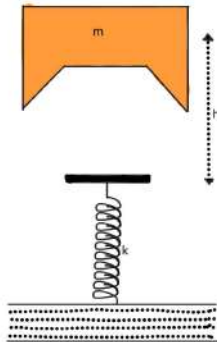
4.5 Soal Latihan

1. Sebuah balok dengan massa 5 kg bergerak lurus sepanjang sumbu- x pada bidang licin yang dipengaruhi oleh gaya F yang nilainya berubah terhadap posisi x (lihat grafik, diketahui $F_s = 10$ N). Berapa kerja yang dilakukan oleh gaya tersebut ketika berpindah dari titik awal ($x = 0$) ke titik $x = 8$ m?

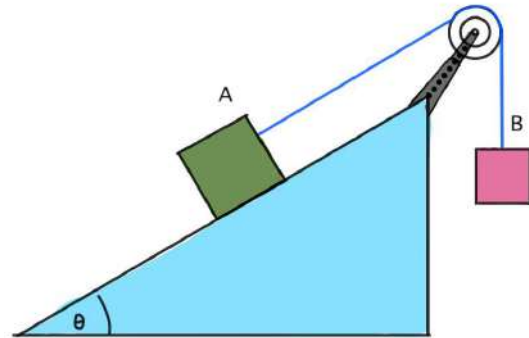


2. Sebuah bongkahan es bergerak di sebuah sungai dengan perpindahan: $\Delta \vec{r} = 15\hat{i} - 12\hat{j}$ m yang disebabkan oleh gaya eksternal $\vec{F} = 210\hat{i} - 150\hat{j}$ N. Tentukan besar kerja yang dilakukan oleh gaya tersebut!

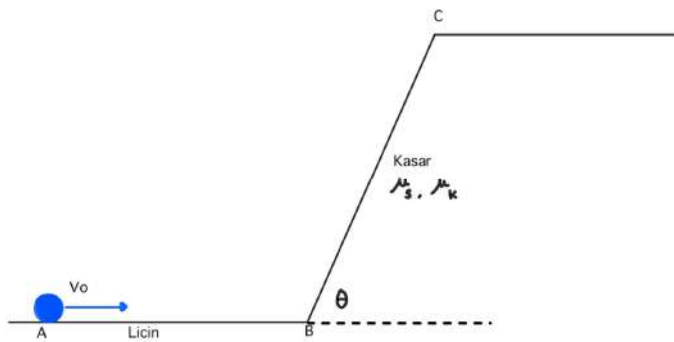
3. Sebuah balok dengan massa 2 kg jatuh dari ketinggian 40 cm dari ujung sebuah pegas (lihat gambar). Apabila digunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan seberapa jauh pegas akan tertekan apabila $k = 2000 \text{ N/m}$!



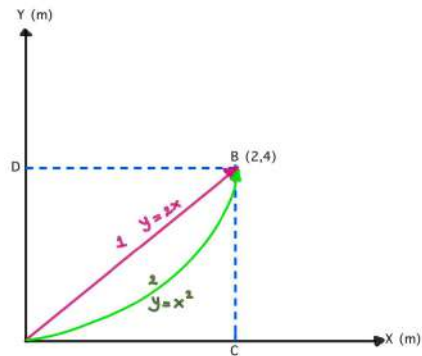
4. Pada gambar di bawah ini katrol dianggap tak bermassa dan licin serta semua permukaan dalam keadaan licin. Balok A dengan massa 1 kg, balok B dengan massa 2 kg, dengan sudut kemiringan sebesar θ dengan $\tan \theta = 3/4$. Kedua balok awalnya berada dalam keadaan diam. Tentukan total energi kinetik ($E_{K_A} + E_{K_B}$) apabila balok B turun sejauh 25 cm! (gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$)



5. Sebuah benda dengan massa 5 kg bergerak secara translasi pada bidang AB yang licin dengan kecepatan awal sebesar $v_0 = 5 \text{ m/s}$. Kemudian benda melewati lintasan BC yang kasar ($\tan \theta = \frac{3}{4}$) dengan panjang lintasan BC sebesar 2 m. Diketahui koefisien gesek statis adalah $\mu_s = 0,7$ dan koefisien gesek kinetis adalah $\mu_k = 0,5$. Tentukan:
- Karena laju awal bola sangat kecil sehingga bola tidak akan sampai ke C, maka berapa jarak titik berhentinya bola dihitung dari titik B?
 - Tentukan energi bola yang hilang karena bergesekkan dengan bidang miring yang kasar!
 - Apakah benda tersebut akan berhenti atau turun ke bawah ketika benda tersebut mencapai titik berhentinya pada titik A?
 - Apabila benda ingin mencapai titik C, berapa kecepatan minimum dari bola di titik B?



6. Diketahui gaya $\vec{F} = 2y\hat{i} + x\hat{j}$ N dikenakan pada sebuah benda sehingga benda bergerak dari titik A ke titik B. Hitung usaha W_{AB} melalui:



- (a) Lintasan 1 ($y = 2x$)
- (b) Lintasan 2 ($y = x^2$)

Lembar Jawaban



Kunci Jawaban: 1.) $W = 25 \text{] } 2\text{.) } W = 4020 \text{] } 3\text{.) } \Delta x = 0,1 \text{ m } 4\text{.) } F_K = 3,2 \text{] } 5\text{.) } W_{ges} = 25 \text{] } 6\text{.) } W_{AB} = 10,6 \text{] } 7\text{.) } W_{AB} = 12 \text{] } 8\text{.) } W_{AB} = 8 \text{] } 9\text{.) } W_{AB} = 10,6 \text{] } 10\text{.) } W_{AB} = 10,6$



BAB 5

MOMENTUM LINIER

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

5

MODUL

Bab 5: Momentum Linier

5.1 Momentum dan Impuls

Rangkuman Materi 5.1

Impuls: perkalian gaya rata-rata \vec{F}_{avg} yang dikenakan pada suatu benda pada selang waktu Δt

$$\vec{J} = \vec{F}_{\text{avg}} \Delta t$$

Atau lebih umum ditulis

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt$$

Satuan dari impuls adalah Newton detik atau Ns.

Momentum Linier

Momentum linier (\vec{p}) didefinisikan sebagai perkalian dari massa m dan kecepatan \vec{v} dari suatu benda.

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

Satuan dari momentum adalah kg m/s

Rangkuman Materi 5.2

Hubungan Impuls-Momentum-Gaya

1. Ketika terdapat perubahan kecepatan $\vec{v}_0 \rightarrow \vec{v}_f$ selama Δt
2. Percepatan rata-rata $\vec{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_0}{\Delta t}$
3. Dari Hukum II Newton, $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

$$\sum \vec{F} = m \left(\frac{\vec{v}_f - \vec{v}_0}{\Delta t} \right) = \frac{m\vec{v}_f - m\vec{v}_0}{\Delta t}$$

$$\sum \vec{F} \Delta t = \mathbf{J} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_0$$

Impuls = momentum akhir – momentum awal

$$\mathbf{J} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_0 = \vec{p}_f - \vec{p}_0 = \Delta \vec{p}$$

Impuls = perubahan momentum

Contoh Soal 5.1

Sebuah bola bermassa 1,2 kg dijatuhkan vertikal ke lantai dengan kecepatan 25 m/s. Bola memantul dengan kecepatan awal 10 m/s.

1. Berapakah impuls yang bekerja pada bola selama kontak?
2. Jika bola bersentuhan dengan lantai selama 0,02 s, berapakah besar gaya rata-rata bola ke lantai?

Alur Cara Menjawab:

1. Impuls merupakan perubahan momentum (momentum akhir dikurang momentum awal). Artinya, untuk menghitung impuls, perlu dihitung momentum akhir setelah bertumbukkan dengan lantai (sesaat setelah memantul) dan momentum awal dari benda yaitu sesaat sebelum menabrak lantai.

\vec{v}_0 bergerak ke bawah (sumbu- y negatif) dan \vec{v}_f bergerak ke atas (sumbu- y positif)

$$\vec{J} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_0$$

$$\vec{J} = (1,2)(10)\hat{j} - (1,2)(-25)\hat{j}$$

$$\vec{J} = 42 \text{ kg m/s}\hat{j}$$

<p>2. Ingat bahwa Impuls juga diberikan oleh persamaan</p> $\vec{J} = \vec{F}\Delta t$ <p>dengan \vec{F} merupakan gaya rata-rata.</p>	$\vec{J} = \vec{F}\Delta t$ <p>maka</p> $\vec{F} = \frac{\vec{J}}{\Delta t}$ <p>sehingga, besar gayanya adalah</p> $F = \frac{42 \text{ kg m/s}}{0,02s}$ $F = 2,1 \times 10^3 \text{ N}$
---	--

5.2 Hukum Kekekalan Momentum

Rangkuman Materi 5.3

Kekekalan Momentum

Hukum kekekalan momentum berlaku apabila tidak ada gaya luar \vec{F} .

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0,$$

sehingga \vec{p} bernilai konstan.

Tumbukkan

1. Gaya = impuls
2. Gaya luar sangat kecil sehingga dapat diabaikan
3. Tumbukkan terjadi dengan singkat
4. Berlaku hukum kekekalan momentum

Tumbukkan 1 Dimensi

1. **Tumbukkan tidak lenting sama sekali**

(Benda saling menempel, kecepatan akhir kedua benda sama, dan terdapat perubahan energi kinetik)

$$K_{\text{final}} < K_{\text{initial}}$$

$$K_{1f} + K_{2f} + K_{\text{hilang}} = K_{1i} + K_{2i}$$

K_{hilang} = energi kinetik yang hilang setelah tumbukkan terjadi.

Kecepatan akhir benda setelah tumbukkan

$$v_f = \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2}$$

2. Tumbukkan lenting sempurna (tidak ada perubahan energi kinetik)

Kecepatan benda setelah tumbukkan:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

dan

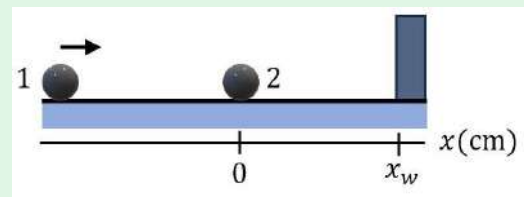
$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

Perhatian! Dua persamaan di atas hanya berlaku apabila benda 2 awalnya diam. Jika bergerak, harus dicari lagi menggunakan persamaan kekekalan momentum dan energi.

Contoh Soal 5.2

Partikel 1 bermassa $m_1 = 0,30$ kg meluncur ke kanan sepanjang sumbu- x pada lantai tanpa gesekan dengan kecepatan 2 m/s. Ketika mencapai $x = 0$, ia mengalami tumbukan elastis satu dimensi dengan benda diam partikel 2. Partikel 2 bermassa $m_2 = 0,40$ kg. Ketika partikel 2 mencapai dinding dengan posisi $x_w = 70$ cm, partikel

tersebut memantul dari dinding tanpa kehilangan kecepatan. Pada posisi sumbu- x berapakah partikel 2 bertumbukan kembali dengan partikel 1?



Alur Cara Menjawab

<p>Karena tumbukkan awal antara m_1 dan m_2 merupakan tumbukkan lenting sempurna, dapat digunakan persamaan lenting sempurna untuk menentukan kecepatan setelah tumbukkan</p>	<p>Kecepatan akhir benda 1:</p> $v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$ $v_{1f} = \frac{0,3 - 0,4}{0,3 + 0,4} (2,0) = -0,29 \text{ m/s}$ <p>Setelah tumbukkan, benda 1 bergerak ke kiri.</p>
	<p>Kecepatan akhir benda 2:</p> $v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$ $v_{2f} = \frac{2(0,3)}{0,3 + 0,4} = 1,7 \text{ m/s}$ <p>Setelah tumbukkan, benda 2 bergerak ke kanan.</p>

<p>Benda 2 bergerak dengan laju gerak 1,7 m/s. Sehingga, kita dapat menghitung waktu tempuh benda 2 hingga mencapai dinding yaitu 70 cm. Gunakan GLB karena benda tidak dipercepat!</p>	<p>Waktu tempuh benda 2 ketika mencapai dinding:</p> $t = \frac{s}{v} = \frac{0,7 \text{ m}}{1,7 \text{ s}} = 0,41 \text{ s}$
<p>Pada waktu tersebut, benda 1 sudah menempuh jarak tertentu ke arah kiri (sumbu-x negatif). Jarak tersebut juga dapat dihitung dengan menggunakan GLB!</p>	<p>Jarak yang ditempuh benda 1:</p> $s = v \cdot t = (-0,29 \text{ m/s})(0,41 \text{ s}) = -0,12 \text{ m}$
<p>Setelah ini, soalnya menjadi soal kejar-kejaran antara 2 benda. Benda 1 dengan kecepatan $v_1 = -0,29 \text{ m/s}$ ke kiri dikejar oleh benda 2 dengan kecepatan $v_2 = -1,7 \text{ m/s}$ ke kiri. Jarak antara benda 1 dan benda 2 adalah</p> $d = 0,7 + 0,12 \text{ m} = 0,82 \text{ m}$	<p>Kecepatan benda 1:</p> $v_1 = -0,29 \text{ m/s}$ <p>Kecepatan benda 2:</p> $v_2 = -1,7 \text{ m/s}$ <p>Posisi awal benda 1:</p> $x_1(t = 0) = -0,12 \text{ m}$ <p>Posisi awal benda 2:</p> $x_2(t = 0) = 0,7 \text{ m}$
<p>Perhatikan bahwa benda 1 dan benda 2 akan bertemu pada suatu titik tertentu ketika posisi benda 1 dan posisi benda 2 sama! (ingat materi kinematika)</p>	<p>Persamaan posisi benda 1:</p> $x_1 = -0,12 + (-0,29)t$ <p>Persamaan posisi benda 2:</p> $x_2 = 0,7 - 1,7t$

	<p>Dapat diperoleh waktu ketika benda 1 dan benda 2 bertemu dengan menyamakan x_1 dan x_2:</p> $-0,12 + (-0,29)t = 0,7 + -1,7t$ $1,41t = 0,82$ $t = 0,58 \text{ s}$
<p>Dari sini, cari posisi benda x_1 (atau benda x_2, sama saja) dengan memasukkan nilai t yang sudah diperoleh</p>	<p>Diperoleh posisi bertemunya benda 1 dan benda 2:</p> $x_1 = -0,12 + (-0,29)(0,58)$ $x_1 = -0,29 \text{ m}$ <p>Artinya, benda 1 dan benda 2 bertemu pada jarak 0,29 dari titik tengah $x = 0$.</p>

5.3 Sistem Partikel

Rangkuman Materi 5.4

Tumbukkan 2 Dimensi

1. Uraikan dalam komponen x dan y
2. Terapkan hukum kekekalan momentum ($\vec{P}_{1i} + \vec{P}_{2i} = \vec{P}_{1f} + \vec{P}_{2f}$)
3. Terapkan hukum kekekalan energi kinetik ($K_{1i} + K_{2i} = K_{1f} + K_{2f}$)

Rangkuman Materi 5.5

Sistem Pusat Massa

Pusat massa suatu sistem yang terdiri dari n partikel didefinisikan sebagai posisi/titik koordinatnya.

Pusat massa benda diskrit

$$x_{pm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i; \quad y_{pm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i; \quad z_{pm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i z_i$$

atau

$$\vec{r}_{pm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i$$

dengan $M = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ merupakan massa total dari sistem.

Pusat Massa Sistem Benda Tidak Diskrit (Kontinu)

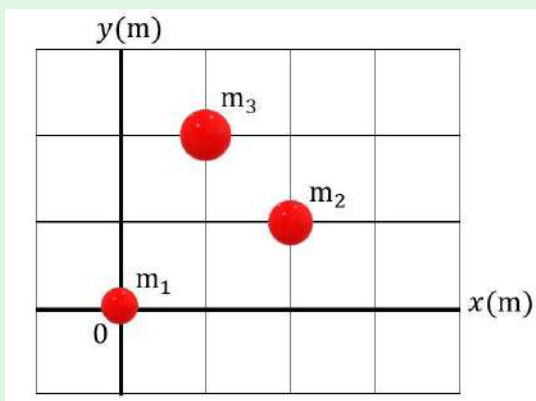
Titik Pusat Massa:

$$\vec{r}_{pm} = \frac{1}{M} \int \vec{r} dm$$

dengan dm merupakan elemen massa benda.

Contoh Soal 5.3

Gambar di bawah ini menunjukkan sistem tiga partikel, dengan massa $m_1 = 3$ kg, $m_2 = 4$ kg, dan $m_3 = 8$ kg. Skala pada sumbu ditentukan oleh $x_s = 2$ m dan $y_s = 2$ m.



1. Berapakah titik pusat massa pada koordinat x ?
2. Berapakah titik pusat massa pada koordinat y ?
3. Jika m_3 dinaikkan secara berkala, apakah pusat massa sistem tersebut bergerak mendekat, menjauh, ataukah tetap relatif diam terhadap sistem?

Alur Cara Menjawab:

Pertama-tama, tentukan posisi masing-masing benda m_1 , m_2 , dan m_3 .

$$(x_1, y_1) = (0, 0) \rightarrow \text{benda 1 (3 kg)}$$

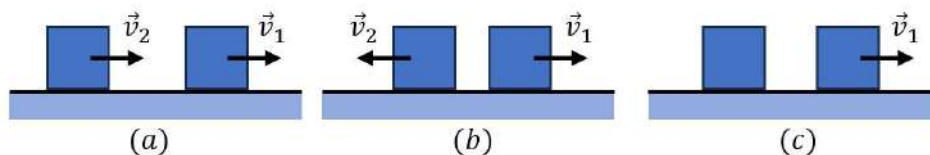
$$(x_2, y_2) = (2, 1) \rightarrow \text{benda 2 (4 kg)}$$

$$(x_3, y_3) = (1, 2) \rightarrow \text{benda 3 (8 kg)}$$

<p>1. Untuk menghitung pusat massa koordinat sumbu-x, gunakan persamaan pusat massa sumbu-x. Masukkan seluruh nilai massa dan x_1, x_2, x_3 ke dalam persamaannya!</p>	$x_{pm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$ $x_{pm} = \frac{0 + (4 \text{ kg})(2 \text{ m}) + (8 \text{ kg})(1 \text{ m})}{3 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 8 \text{ kg}}$ $x_{pm} = 1,1 \text{ m}$
<p>2. Untuk menghitung pusat massa koordinat sumbu-y, gunakan persamaan pusat massa sumbu-y. Masukkan seluruh nilai massa dan y_1, y_2, y_3 ke dalam persamaannya!</p>	$y_{pm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$ $y_{pm} = \frac{0 + (4 \text{ kg})(1 \text{ m}) + (8 \text{ kg})(2 \text{ m})}{3 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 8 \text{ kg}}$ $y_{pm} = 1,3 \text{ m}$
<p>3. Apabila massa pada suatu titik dinaikkan, maka pusat massa sistem akan bergeser mendekati massa tersebut.</p>	<p>Dengan bertambahnya massa m_3 (partikel paling atas), maka pusat massa akan bergeser ke arah partikel tersebut.</p>

5.4 Soal Latihan

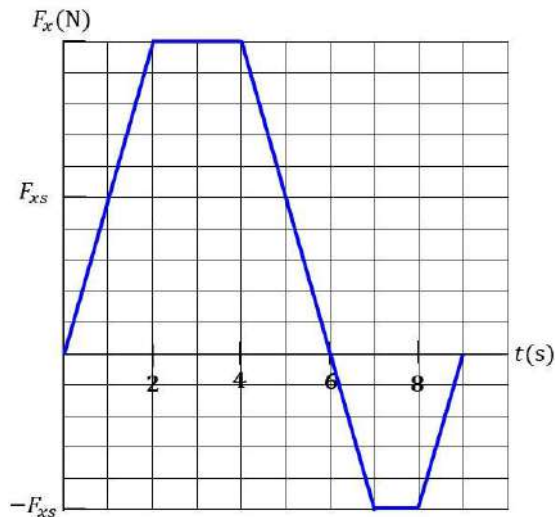
- Sebuah kotak meledak dan terbelah menjadi dua bagian ketika bergerak dengan kecepatan konstan positif pada sumbu- x . Jika salah satu pecahan, dengan massa m_1 , mempunyai kecepatan akhir \vec{v}_1 , maka pecahan lainnya, dengan massa m_2 , akan mempunyai kecepatan akhir (a) positif (Gambar a), (b) negatif (Gambar b), atau (c) nol (Gambar c). Urutkan ketiga kemungkinan hasil akhir tersebut berdasarkan besarnya \vec{v}_1 .



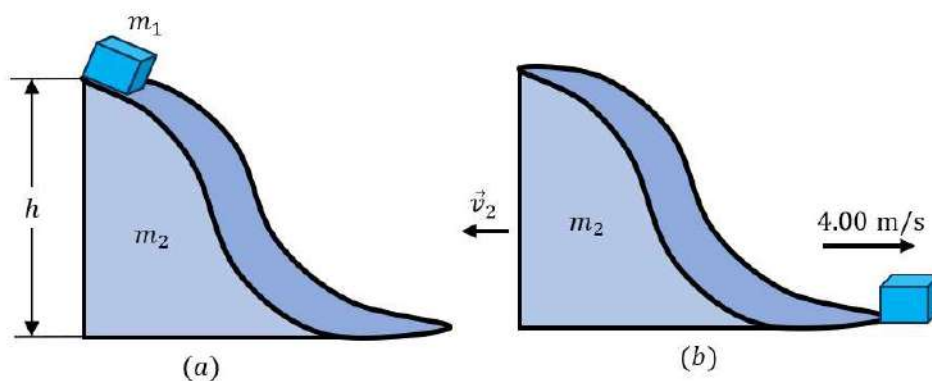
- Partikel bermassa 2 kg memiliki koordinat xy (-1,2 m; 0,5 m), dan partikel bermassa 4 kg memiliki koordinat xy (0,6 m; -0,75). Keduanya terletak pada bidang horizontal. Pada koordinat (a) x dan (b) y berapakah partikel bermassa 3 kg harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga pusat massa sistem tiga partikel tersebut mempunyai koordinat (-0,5 m; -0,7 m)?
- Sebuah mobil mainan bermassa 5 kg dapat bergerak sepanjang sumbu- x . Gam-

bar memperlihatkan gaya F_x yang bekerja pada mobil, yang dimulai dari keadaan diam pada saat $t = 0$. Skala pada sumbu F_x ditentukan oleh notasi vektor satuan. Berapa momentum pada:

- $t = 4$ detik
- $t = 7$ detik
- $t = 9$ detik



- Sebuah balok kecil bermassa $m_1 = 0,5$ kg dilepaskan dari keadaan diam di bagian atas sebuah pasak yang licin berbentuk kurva bermassa $m_2 = 3$ kg, yang terletak pada permukaan horizontal tanpa gesekan seperti pada gambar (a). Ketika balok meninggalkan pasak, kecepatannya menjadi 4 m/s ke kanan, seperti pada gambar (b).



- Berpakah kecepatan pasak setelah balok mencapai permukaan horizontal?
 - Berpakah tinggi h dari pasak tersebut?
- Balok 1 bermassa m_1 meluncur dari keadaan diam sepanjang bidang miring tanpa gesekan dari ketinggian $h = 2,5$ m dan kemudian bertumbukkan dengan balok



Series of horizontal lines for writing or drawing.



Kunci Jawaban : 1. $b < c < a$ **(a)** $x^3 = -1$, $m = 2$ **(d)** $x^3 = -1$, $m = 3$ **(a)** 30 kg m/s **(d)** $32,2\text{ kg m/s}$
(c) 30 kg m/s^2 **(a)** $-0,6\text{ m/s}$ **(d)** $0,93\text{ m}^2$ **(a)** $q = 2,218\text{ m}$ **(d)** $q = 0,22\text{ m}$

BAB 6

BENDA TEGAR

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

6

MODUL

Bab 6: Benda Tegar

6.1 Gerak Lurus vs. Gerak Melingkar

Rangkuman Materi 6.1

Hubungan Besaran-besaran Gerak Lurus dengan Gerak Melingkar

1. Posisi: $\theta = s/R$
 - (a) θ menggambarkan sudut dengan satuan radian atau derajat.
 - (b) s merupakan jarak dengan satuan meter.
2. Kecepatan: $\omega = v/R$
 - (a) ω merupakan kecepatan sudut dengan satuan rad/s.
 - (b) v merupakan kecepatan tangensial dengan satuan m/s.
3. Percepatan: $\alpha = a/R$
 - (a) α merupakan percepatan sudut dengan satuan rad/s^2 .
 - (b) a merupakan percepatan tangensial dengan satuan m/s^2 .

R merupakan jari-jari lintasan gerak melingkar dengan satuan meter.

Contoh Soal 6.1 UTS 2016

Sebuah roda mula-mula dalam keadaan diam pada $t = 0$, kemudian berotasi dengan percepatan sudut α_1 hingga $t = 20$ s, dilanjutkan dengan percepatan sudut sebesar α_2 hingga berhenti pada $t = 70$ s. Dalam 20 detik pertama, roda tersebut mengalami rotasi sebanyak 10 putaran penuh.

1. Tentukan nilai α_1 dan nilai kecepatan sudut pada $t = 20$ s.
2. Tentukan nilai α_2 dan jumlah putaran dari $t = 20$ s hingga $t = 70$ s.
3. Jika jari-jari roda adalah 2 m, tentukanlah percepatan tangensial dan percepatan sentripetal dari bagian roda yang paling luar pada saat $t = 25$ s.

Alur Cara Menjawab

<p>1. Untuk mencari nilai kecepatan sudut, gunakan persamaan Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB)</p> <p>Ingat tiga persamaan GMBB!</p> $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$ $\omega_t = \omega_0 + \alpha t$ $\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$ <p>Persamaan-persamaan ini mirip dengan persamaan pada Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB), namun, posisi, kecepatan dan percepatan diganti oleh:</p> $s \rightarrow \theta$ $v \rightarrow \omega$ $a \rightarrow \alpha$	<p>1 putaran adalah 2π radian, sehingga 10 putaran adalah $10 \times 2\pi$ radian.</p> $\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_1\theta$ $\omega_t^2 = 0 + 2\alpha_1(10 \times 2\pi)$ $\omega_t^2 = 40\pi\alpha_1 \dots (1)$ $\omega_t = \omega_0 + \alpha_1 t$ $\omega_t = 0 + \alpha_1 \times 20$ $\omega_t = 20\alpha_1 \dots (2)$ <p>Kuadratkan persamaan (2), kemudian substitusi ke persamaan (1) sehingga diperoleh</p> $(20\alpha_1)^2 = 40\pi\alpha_1$ $400\alpha_1^2 = 40\pi\alpha_1$ $10\alpha_1 = \pi$ $\alpha_1 = \frac{\pi}{10} \text{ rad/s}^2$ $\alpha_1 = 0,314 \text{ rad/s}^2$
--	--

<p>Masih pada soal (1.), untuk mencari kecepatan sudut, substitusi nilai α_1 yang telah diperoleh ke dalam persamaan (2) (atau persamaan (1), sama saja)</p>	<p>Dari persamaan (2) diperoleh</p> $\omega_t = 20\alpha_1$ $\omega_t = 20 \times 0,314$ $\omega_t = 6,28 \text{ rad/s}$
<p>2. Untuk mencari nilai percepatan sudut, gunakan lagi persamaan GMBB namun kali ini rotasinya diperlambat dengan perlambatan sudut sebesar α_2.</p> <p>Pada proses perlambatan ini, awalnya kecepatan sudut benda adalah $\omega_0 = 6,28 \text{ rad/s}$, kemudian diperlambat hingga berhenti dengan kecepatan sudut akhir bernilai nol.</p>	$\omega_t = \omega_0 - \alpha_2 \Delta t$ $0 = 6,28 - \alpha_2 \times (70 - 20)$ $50\alpha_2 = 6,28$ $\alpha_2 = \frac{6,28}{50} \text{ rad/s}^2$ $\alpha_2 = 0,126 \text{ rad/s}^2$
<p>Masih pada soal (2.), untuk mencari total putaran, cari nilai θ dengan menggunakan persamaan GMBB.</p>	$\omega_t^2 = \omega_0^2 - 2\alpha_2 \Delta \theta$ $0 = (6,28)^2 - 2 \times 0,126 \times \Delta \theta$ $0,252 \Delta \theta = 39,438$ $\Delta \theta = \frac{39,438}{0,252}$ $\Delta \theta = 156,5 \text{ rad}$
<p>3. Percepatan tangensial diperoleh melalui hubungan $a = \alpha R$ dengan R merupakan jari-jari roda.</p> <p>Pada saat $t = 25 \text{ s}$, percepatan sudut yang digunakan adalah $\alpha_2 = 0,126 \text{ rad/s}^2$.</p>	$a = \alpha_2 R$ $a = 0,126 \times 2$ $a = 252 \text{ m/s}^2$

<p>Masih pada soal (3.), percepatan sentripetal diperoleh melalui persamaan</p> $a_s = \frac{v^2}{R}$ <p>dengan v merupakan kecepatan tangensial pada $t = 25$ s, yang diperoleh melalui hubungan</p> $v = \omega R$ <p>Artinya, cari terlebih dahulu nilai ω pada saat $t = 25$ s dengan menggunakan persamaan GMBB.</p>	<p>Cari terlebih dahulu nilai ω saat $t = 25$ s.</p> $\omega_t = \omega_0 - \alpha_2 \Delta t$ $\omega_t = 6,28 - (0,126) \times (25 - 20)$ $\omega_t = 5,65 \text{ rad/s}$ <p>Berikutnya, tentukan nilai kecepatan tangensial</p> $v = \omega_t R$ $v = 5,65 \times 2$ $v = 11,3 \text{ m/s}$ <p>Terakhir, peroleh nilai percepatan sentripetal</p> $a_s = \frac{(11,3)^2}{2}$ $a_s = 63,845 \text{ rad/s}^2$
--	---

6.2 Dinamika Rotasi Sistem Benda Tegar

Rangkuman Materi 6.2

Momen Inersia

Momen inersia menggambarkan massa suatu benda tegar terhadap sumbu rotasinya. Momen inersia benda bergantung pada bentuk benda dan lokasi sumbu rotasi benda.

$$I = \int r^2 dm$$

Dengan r merupakan jarak dari sumbu rotasi ke elemen massa benda dm

Dalil Sumbu Sejajar

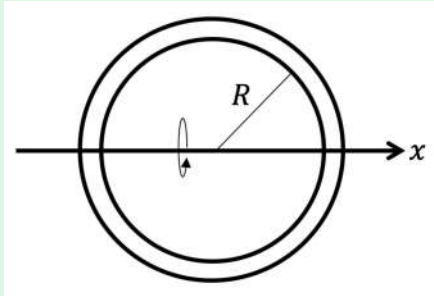
Kita dapat memindahkan sumbu rotasi benda dari pusat massa ke titik tertentu yang berjarak sebesar h dari pusat massa. Momen inersia benda terhadap sumbu rotasi baru ini dapat diperoleh melalui

$$I = I_{CM} + Mh^2$$

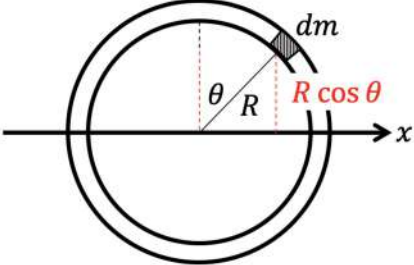
dengan I_{CM} merupakan momen inersia benda terhadap pusat massa.

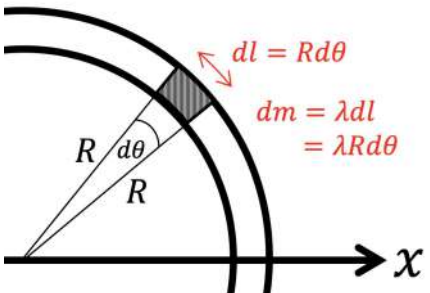
Contoh Soal 6.2

Diketahui sebuah cincin memiliki jari-jari R dan massa total M . Anggap cincin tersebut bersifat homogen sehingga rapat massanya bernilai konstan. Hitunglah momen inersia cincin apabila diputar terhadap sumbu- x seperti pada gambar!



Alur Cara Menjawab:

<p>Pertama-tama, tuliskan persamaan momen inersia suatu benda tegar:</p> $I = \int r^2 dm$ <p>dengan r merupakan jarak dari sumbu rotasi ke elemen massa dm. Sehingga, dapat dituliskan $r = R \cos \theta$</p>	<p>Dicari: Momen inersia benda terhadap sumbu-x</p> $I = \int r^2 dm$  <p>sehingga</p> $r = R \cos \theta$
<p>Berikutnya, tentukan nilai dm. Ingat bahwa, untuk benda dengan sebaran massa homogen, massa total M dapat diperoleh dari rapat massa dikalikan dengan panjang total benda:</p> $M = \lambda \times \text{Keliling Lingkaran}$ $M = \lambda(2\pi R)$	<p>Diketahui:</p> $\lambda = \frac{M}{2\pi R}$ <p>karena cincin bersifat homogen.</p>

<p>Elemen massa dm merupakan rapat massa dikalikan dengan elemen panjang. Dalam kasus cincin, elemen panjangnya adalah panjang busur dengan sudut sebesar $d\theta$ (lihat gambar)</p> $dm = \lambda R d\theta$	
<p>Lakukan integrasi terhadap sudut θ dari 0 hingga 2π untuk mencakup seluruh lingkaran pada cincin.</p> <p>Gunakan identitas trigonometri berikut untuk menyelesaikan integralnya:</p> $\cos^2 \theta = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\theta$	$I = \int x^2 dm$ $I = \int_0^{2\pi} R^2 \cos^2 \theta (\lambda R d\theta)$ $I = \frac{\lambda R^3}{2} \int_0^{2\pi} (1 + \cos 2\theta) d\theta$ $I = \frac{\lambda R^3}{2} \left[\theta \Big _0^{2\pi} + \frac{1}{2} \sin 2\theta \Big _0^{2\pi} \right]$ $I = \lambda \pi R^3$
<p>Terakhir, masukkan nilai $\lambda = \frac{M}{2\pi R}$ untuk memperoleh nilai momen inersia</p>	$I = \left(\frac{M}{2\pi R} \right) \times \pi R^3$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $I = \frac{1}{2} MR^2$ </div>

Rangkuman Materi 6.3

Torsi

Gaya yang menyebabkan benda bergerak berotasi:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$|\vec{\tau}| = r F \sin \theta$$

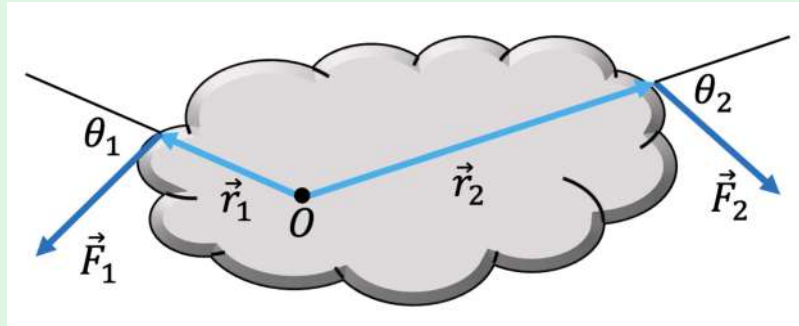
dengan θ merupakan sudut antara vektor \vec{F} dengan vektor \vec{r} .

Hubungan antara torsi dengan percepatan sudut adalah

$$\tau = I\alpha$$

Contoh Soal 6.3

Benda pada gambar di bawah diputar dengan poros yang berada pada titik O oleh dua buah gaya \vec{F}_1 dan \vec{F}_2 . Diketahui besar masing-masing gaya dan jarak gaya ke titik O adalah $F_1 = 3 \text{ N}$, $F_2 = 5 \text{ N}$, $r_1 = 1 \text{ m}$, $r_2 = 2 \text{ m}$. Diketahui pula sudut antara gaya dengan jarak masing-masing adalah $\theta_1 = 60^\circ$ dan $\theta_2 = 45^\circ$. Tentukan resultan torsi yang bekerja pada benda!



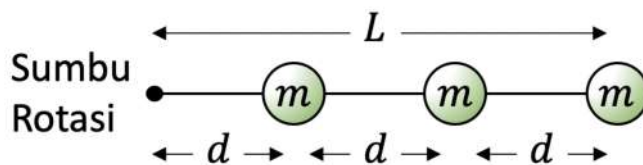
Alur Cara Menjawab:

<p>Yang ingin dicari adalah resultan torsi. Sehingga, kita perlu tuliskan persamaan torsi terlebih dahulu</p>	$\sum \vec{\tau} = \sum \vec{F} \times \vec{r}$
<p>Ingat bahwa hasil kali silang (<i>cross product</i>) digunakan dalam mendefinisikan torsi.</p> <p>Ingat juga hubungan <i>cross product</i> pada dua buah vektor berikut:</p> $ \vec{A} \times \vec{B} = \vec{A} \vec{B} \sin\theta$ <p>dengan θ merupakan sudut antara vektor \vec{A} dan vektor \vec{B}.</p>	$\tau_1 = F_1 r_1 \sin\theta_1$ $\tau_1 = 3 \times 1 \times \sin 60$ $\tau_1 = \frac{3}{2}\sqrt{3} \text{ Nm}$ $\tau_2 = F_2 r_2 \sin\theta_2$ $\tau_2 = 5 \times 2 \times \sin 45$ $\tau_2 = 5\sqrt{2} \text{ Nm}$

<p>Konversi yang digunakan untuk menentukan arah torsi adalah sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Putaran searah jarum jam → torsi negatif ■ Putaran berlawanan arah jarum jam → torsi positif 	$\sum \tau = \tau_1 - \tau_2$ $\sum \tau = \frac{3}{2}\sqrt{3} - 5\sqrt{2}$ $\sum \tau = -4,47 \text{ Nm}$ <p>Karena hasilnya negatif, resultan torsi menyebabkan benda berotasi searah jarum jam</p>
--	--

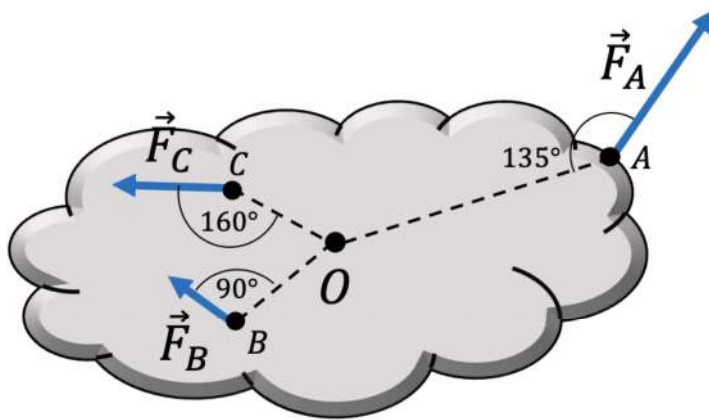
6.3 Soal Latihan

- Sebuah gentong bergerak berputar dengan kecepatan sudut sebesar 12,60 rad/s. Apabila gentong tersebut mengalami perlambatan konstan sebesar 4,20 rad/s², tentukan:
 - Waktu yang diperlukan agar gentong tersebut berhenti.
 - Jumlah sudut putaran yang dialami gentong sampai berhenti.
- Posisi sudut dari suatu roda yang berputar terhadap porosnya diberikan oleh persamaan $\theta(t) = 2 + 4t^2 + 2t^3$ dengan θ dalam radian dan t dalam sekon. Tentukan:
 - Sudut putaran roda ketika $t = 0$ s
 - Kecepatan sudut roda ketika $t = 0$ s
 - Kecepatan sudut roda ketika $t = 4$ s
 - Percepatan sudut roda ketika $t = 2$ s. Apakah percepatan sudut roda bernilai konstan?



- Gambar di atas menunjukkan tiga buah benda yang ditempatkan pada sebuah batang yang berotasi pada ujungnya. Masing-masing benda bermassa 1 kg dan panjang dari batang adalah $L = 3$ m. Misalkan salah satu bola dihilangkan dari batang tersebut, tentukan perbandingan momen inersia akhir dengan awal apabila
 - Bola yang dihilangkan adalah bola yang berada di tengah.

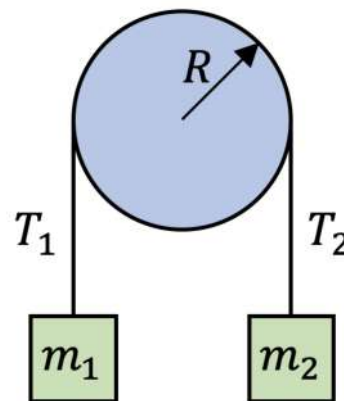
(b) Bola yang dihilangkan adalah bola yang berada di paling luar.



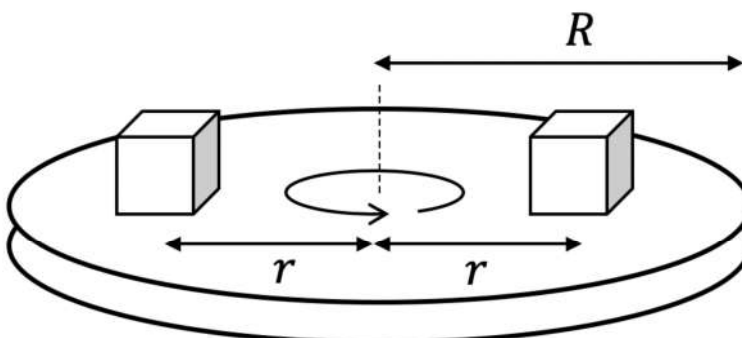
4. Sebuah benda dirotasikan terhadap titik O seperti pada gambar di atas. Gaya $F_A = 10 \text{ N}$ bekerja pada titik A dengan jarak $r_A = 8 \text{ m}$ ke titik O . Gaya $F_B = 16 \text{ N}$ bekerja pada titik B dengan jarak $r_B = 3 \text{ m}$ terhadap titik O . Gaya $F_C = 19 \text{ N}$ bekerja pada titik C dengan jarak $r_C = 3 \text{ m}$ dari titik O . Tentukan resultan Torsi yang bekerja pada benda!

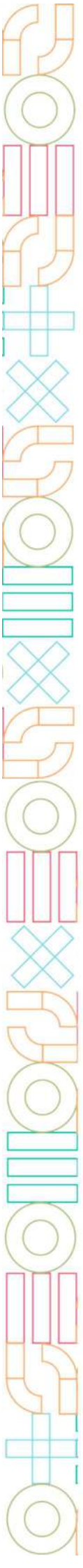
5. Dua buah balok masing-masing bermassa $m_1 = 460 \text{ g}$ dan $m_2 = 500 \text{ g}$ digantungkan pada katrol dengan jari-jari $R = 5 \text{ cm}$. Ketika dilepaskan, balok 2 jatuh sejauh 75 cm dalam waktu 5 detik . Tali tidak mengalami slip dengan katrol dan katrol bisa bergerak melingkar. Tentukan:

(d) Momen inersia katrol



- (a) Besar percepatan balok
- (b) Tegangan tali T_1 dan T_2
- (c) Besar percepatan sudut katrol





Kunci Jawaban: 1. (a) $v = 3$ (b) 3 (c) 0 (d) 128 (e) 128
(b) 32 (c) 128 (d) 256 (e) 512
(a) $40\sqrt{2} - 28,2$ (b) $2\sqrt{2}$ (c) $2\sqrt{2}$ (d) $2\sqrt{2}$ (e) $2\sqrt{2}$
(a) 0,81 (b) 1,8 (c) 0,014 kg.m/s (d) 0,014 kg.m/s (e) 0,81
(c) 1010,912

BAB 7

ELASTISITAS DAN OSILASI

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

Bab 7: Elastisitas dan Osilasi

7.1 Tegangan dan Regangan

Rangkuman Materi 7.1

Elastisitas

Materi elastis merupakan bentuk materi yang cakupannya cukup luas. Namun, untuk materi TPB, hanya dibatasi pada beberapa besaran dasar yang dipelajari seperti tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan modulus.

Materi elastisitas pada TPB dibatasi pada zona elastis dari suatu bahan, seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah.

Stress (tegangan)

Stress atau tegangan dapat didefinisikan sebagai besarnya tekanan yang diberikan kepada salah satu sisi tertentu pada benda. *Stress* memiliki satuan yang sama dengan tekanan yaitu N/m^2

$$\sigma = \frac{F}{A(\text{luas area yang terkena gaya})}$$

Strain (regangan)

Strain atau regangan dapat didefinisikan sebagai rasio perubahan dimensi benda terhadap dimensi awal benda ketika diberikan tekanan atau *stress*. *Strain*

adalah besaran yang tanpa dimensi satuan (*dimensionless*)

$$\text{strain} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta A}{A_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

7.2 Modulus Young, Modulus Geser, dan Modulus Benda (Bulk)

Rangkuman Materi 7.2

Modulus

Modulus dapat diartikan sebagai suatu konstanta elastik dari suatu bahan (material) yang dapat mengkarakterisasi sifat elastisitas dari bahan tersebut. Bahan yang memiliki nilai modulus yang besar menandakan bahan tersebut cenderung bersifat lebih kaku dan tahan terhadap pengaruh *stress* yang cukup besar.

$$\text{modulus} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

Terdapat beberapa jenis modulus yang dipelajari di antaranya modulus Young (E), modulus geser/*shear*, dan modulus *bulk* (B)

Modulus Young (E)

Modulus Young merupakan salah satu modulus elastisitas yang memperlihatkan kekuatan dari suatu bahan (material) terhadap suatu pengaruh tarikan.

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

Modulus Geser/*Shear*

Modulus geser merupakan salah satu modulus elastisitas yang menunjukkan keelastisitasan suatu benda apabila benda tersebut diberikan gaya lateral yang tegak lurus permukaan tanpa membuat benda tersebut bergeser.

$$G = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \frac{F/A}{\Delta x/L} = \frac{F/A}{\tan \theta}$$

Modulus Bulk (B)

Modulus Bulk adalah salah satu modulus elastis untuk menunjukkan kemampuan bahan (material) untuk dapat menahan suatu tekanan yang diberikan pada keseluruhan area benda.

$$B = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \left| \frac{\Delta P}{\Delta V/V_0} \right|$$

Contoh Soal 7.1

Sebuah benda bermassa m tergantung pada bagian ujung sebuah baja yang mempunyai tegangan geser $6,82 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Panjang dari batang baja adalah $0,15 \text{ m}$ dan luas penampang sisinya adalah $2,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Dengan mengabaikan berat dari batang itu sendiri, tentukan:

1. Massa benda yang tergantung
2. Defleksi vertikal (Δy) dari sisi bagian kanan batang (apabila modulus geser baja adalah $8,1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$)

Alur Cara Menjawab:

<p>Massa benda dapat dihitung dengan menggunakan tegangan geser. Perhatikan bahwa gaya yang bekerja pada benda adalah gaya berat!</p>	$\text{Tegangan geser} = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$ $m = \frac{\text{Tegangan geser} \times A}{g}$ $m = \frac{6,82 \times 10^6 \times 2,3 \times 10^{-4}}{10}$ $m = 156,86 \text{ kg}$
<p>Untuk mencari defleksi vertikal (lihat gambar), gunakan persamaan modulus geser!</p>	$\text{Modulus geser} = \frac{\text{Tegangan geser}}{\Delta y/L}$ $\Delta y = \frac{\text{Tegangan geser} \times L}{\text{Modulus geser}}$ $\Delta y = \frac{6,82 \times 10^6 \times 0,15}{8,1 \times 10^{10}}$ $\Delta y = 1,2629 \times 10^{-5} \text{ m}$

7.3 Osilasi Harmonik

Rangkuman Materi 7.3

Osilasi adalah suatu gerakan periodik (berulang) di sekitar titik setimbangnya. Osilasi ada beberapa jenis, yaitu:

1. Osilasi Harmonik Sederhana (OHS)
2. Osilasi Teredam
3. Osilasi Teredam Terpaksa

Untuk materi TPB, akan lebih fokus pada Gerak Osilasi Harmonik Sederhana (OHS)

Osilasi Harmonik Sederhana (OHS) OHS adalah salah satu gerak osilasi yang tidak mempertimbangkan gaya hambat yang membuat gerakan osilasi tersebut menjadi berhenti. Pada gerak OHS, diasumsikan semua gaya hambat diabaikan sehingga benda akan terus bergerak berulang (periodik) dalam waktu yang cukup lama. Untuk contoh kasus OHS yang akan dibahas adalah OHS pada pegas dan OHS pada bandul.

OHS Pada Pegas

Persamaan Hukum Newton:

$$\sum F_x = ma$$

$$-F_{\text{pegas}} = ma$$

$$-kx = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\boxed{\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0}$$

Persamaan Diferensial orde 2

Mencari solusi PD orde-2

Tebak Solusi:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

dengan:

- > A : Amplitudo
- > ω : frekuensi sudut

-) φ_0 : fasa awal

Perhatian! Tebakan solusi dapat berbentuk fungsi sinus atau cosinus. Penggunaannya tergantung yang diminta oleh soal. Apabila tidak diberitahu secara eksplisit, maka bebas mau menggunakan fungsi sinus atau cosinus (asalkan perhatikan sudut fasa awalnya!)

Tinjau turunan pertama dan turunan kedua:

$$\frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Kemudian, masukkan nilai $\frac{d^2x}{dt^2}$ ke dalam PD orde 2!

$$-A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) + \frac{k}{m} A \sin(\omega t + \varphi_0) = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Untuk mencari nilai A dan φ_0 , gunakan syarat batas seperti kecepatan awal dan posisi awal yang diberikan di soal!

Rangkuman Materi 7.4

Energi Mekanik OHS

Pada sistem osilasi harmonik sederhana, benda memiliki energi kinetik dan energi potensial. Energi potensial yang dimiliki benda adalah energi potensial pegas yang berbentuk

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

dengan

-) k merupakan konstanta pegas
-) x merupakan simpangan yang dialami pegas

Sehingga, energi mekaniknya adalah:

$$E_M = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2$$

Energi mekanik sistem OHS bernilai konstan.

Contoh Soal 7.2

Sebuah benda bergerak harmonik sederhana dengan fungsi simpangan terhadap waktu diberikan oleh $x(t) = (6 \text{ m}) \cos((2\pi \text{ rad/s})t + \pi/3 \text{ rad})$. Pada saat $t = 2$ sekon, tentukan

1. Perpindahan benda
2. Kecepatan
3. Percepatan
4. Fasa gerak benda
5. Frekuensi
6. Periode

Alur Cara Menjawab:

<p>1. Untuk menghitung perpindahan benda, masukkan nilai waktu $t = 2$ ke dalam persamaan simpangan benda</p> $x(t) = (6 \text{ m}) \cos((2\pi \text{ rad/s})t + \pi/3 \text{ rad})$	$x(2) = (6 \text{ m}) \cos\left(3\pi \times 2 + \frac{\pi}{3}\right)$ $x(2) = (6 \text{ m}) \cos\left(6\pi + \frac{\pi}{3}\right)$ $x(2) = (6 \text{ m}) \cos\left(\frac{19\pi}{3}\right)$ $x(2) = 6 \text{ m} \times \frac{1}{2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$x(2) = 3 \text{ m}$</div>
<p>2. Untuk memperoleh kecepatan atau laju benda, lakukan turunan terhadap waktu dari posisi simpangan benda. Kemudian, masukkan nilai $t = 2$</p>	$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$ $v(t) = -3\pi \times 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin\left(3\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ $v(t) = -18\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin\left(3\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$

	<p>Pada saat $t = 2$, kecepatan benda adalah</p> $v(2) = -18\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin\left(3\pi \times 2 + \frac{\pi}{3}\right)$ $v(2) = -18\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin\left(6\pi + \frac{\pi}{3}\right)$ $v(2) = -18\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin\left(\frac{19\pi}{3}\right)$ $v(2) = -18\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1}{2}\sqrt{3}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $v(2) = -9\sqrt{3}\pi \text{ m/s}$ </div>
<p>3. Untuk memperoleh percepatan benda, lakukan turunan terhadap waktu dari kecepatan benda. Kemudian, masukkan nilai $t = 2$. Lengkapi nilai percepatan di samping!</p>	$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$ $a(t) = -18\pi \times 3\pi \cos\left(3\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ $a(t) = -54\pi^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cos\left(3\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ <p>Pada saat $t = 2$, percepatan benda adalah</p> $a(2) = \dots \quad \text{m/s}^2$
<p>4. Fasa gerak benda adalah besaran yang berada di dalam fungsi cosinus.</p> <p>Dalam kasus ini, fasa gerak benda adalah</p> $\Delta\varphi = 3\pi t + \frac{\pi}{3}$ <p>Kemudian, hitung fasa gerak benda saat $t = 2$</p>	$\Delta\varphi = 3\pi \times 2 + \frac{\pi}{3}$ $\Delta\varphi = 6\pi + \frac{\pi}{3}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $\Delta\varphi = \frac{19\pi}{3} \text{ rad}$ </div>

<p>5. Frekuensi sudut gerak harmonik sederhana dapat diperoleh pada fungsi simpangan</p> $x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$ <p>Kemudian, hubungan frekuensi sudut dengan frekuensi adalah</p> $\omega = 2\pi f$	<p>Dari persamaan simpangan, diperoleh</p> $\omega = 3\pi$ <p>Sehingga, frekuensinya adalah</p> $\omega = 2\pi f$ $f = \frac{\omega}{2\pi}$ $f = \frac{3\pi}{2\pi}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $f = \frac{3}{2} \text{ Hz}$ </div>
<p>6. Hubungan perioda dengan frekuensi diberikan oleh persamaan</p> $T = \frac{1}{f}$	<p>Perioda gerak benda adalah</p> $T = \frac{1}{f}$ $T = \frac{1}{3/2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $T = \frac{2}{3} \text{ s}$ </div>

Contoh Soal 7.3 UTS 2007

Sebuah balok dengan massa 1 kg pada bidang horizontal licin dihubungkan dengan sebuah pegas (massa pegas diabaikan) sehingga berosilasi sejajar bidang tersebut (sumbu- x) dengan frekuensi osilasi sebesar 2 Hz. Jika pada saat $t = 1$ s benda berada pada $x = 5\sqrt{3} \times 10^{-2}$ m dan $v = -20\pi \times 10^{-2}$ m/s, tentukan:

1. Konstanta pegas dan amplitudo
2. Simpangan sebagai fungsi waktu

Alur Cara Menjawab

<p>Untuk mencari nilai konstanta pegas, karena pada soal diketahui nilai frekuensi dan massa, dapat menggunakan hubungan frekuensi sudut dengan konstanta pegas untuk sistem benda dengan satu pegas</p> $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow k = \omega^2 m$ $k = (2\pi f)^2 m = (2\pi \cdot 2)^2 \cdot 1$ $k = 16\pi^2 \text{ N/m}$
<p>Untuk mencari simpangan fungsi waktu, tebak bentuk solusinya yang merupakan fungsi sinus atau fungsi kosinus. Misalkan (karena tidak disebutkan di soal secara eksplisit), solusi yang kita pilih adalah fungsi sinus</p> $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ <p>Kemudian, cari nilai A dan φ_0 dengan menggunakan syarat batas yang ada di soal.</p>	<p>Diketahui saat $t = 1$, $x = 5\sqrt{3} \times 10^{-2}$ m, sehingga:</p> $x(1) = A \sin(4\pi \times 1 + \varphi_0) = A \sin(4\pi + \varphi_0)$ $5\sqrt{3} \times 10^{-2} = A \sin(\varphi_0) \dots (1)$ <p>karena $\sin(4\pi + \varphi_0) = \sin(\varphi_0)$.</p>
<p>Berikutnya, lakukan hal yang sama untuk syarat batas kecepatan. Masukkan nilai $t = 1$ ke dalam fungsi kecepatan $v(t)$</p>	<p>Diketahui saat $t = 1$, $v = -20\pi \times 10^{-2}$ m/s, sehingga</p> $v(1) = A(4\pi) \cos(4\pi \times 1 + \varphi_0)$ $-20\pi \times 10^{-2} \text{ m/s} = A(4\pi) \cos(\varphi_0)$ $-5 \times 10^{-2} = A \cos(\varphi_0) \dots (2)$ <p>karena $\cos(4\pi + \varphi_0) = \cos(\varphi_0)$</p>

<p>Untuk mencari nilai amplitudo A, kuadratkan persamaan (1) dan persamaan (2), kemudian jumlahkan hasil kuadrat tersebut.</p> <p>Gunakan identitas trigonometri berikut:</p> $\sin^2(\varphi_0) + \cos^2(\varphi_0) = 1$	<p>Dari persamaan (1) diperoleh:</p> $75 \times 10^{-4} = A^2 \sin^2(\varphi_0)$ <p>Dari persamaan (2) diperoleh:</p> $25 \times 10^{-4} = A^2 \cos^2(\varphi_0)$ <p>Jumlah kedua persamaan di atas sehingga diperoleh</p> $A^2(\sin^2(\varphi_0) + \cos^2(\varphi_0)) = 100 \times 10^{-4}$ $A^2 = 0,01$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$A = 0,1 \text{ m}$</div>
<p>Untuk memperoleh fasa awal, tinau kembali persamaan (1) dan (2) dengan memasukkan nilai amplitudo yang sudah diperoleh</p>	<p>Dari persamaan (1) diperoleh</p> $5\sqrt{3} \times 10^{-2} = 0,1 \sin(\varphi_0)$ $\sin(\varphi_0) = \frac{1}{2}\sqrt{3}$ <p>Diperoleh</p> $\varphi_0 = \frac{\pi}{3} \text{ atau } \varphi_0 = \frac{2\pi}{3}$
<p>Untuk memilih nilai φ_0 yang lebih tepat, lakukan <i>crosscheck</i> dengan fungsi kecepatan pada persamaan (2)</p>	<p>Dari persamaan 2 diperoleh</p> $-5 \times 10^{-2} = 0,1 \cos(\varphi_0)$ $\cos(\varphi_0) = -\frac{1}{2}$ <p>Diperoleh</p> $\varphi_0 = \frac{2\pi}{3} \text{ atau } \varphi_0 = \frac{4\pi}{3}$

	<p>Hasil yang cocok untuk kedua kasus adalah</p> $\varphi_0 = \frac{2\pi}{3}$ <p>Sehingga, persamaan simpangan benda adalah:</p> $x(t) = 0,1 \text{ m} \sin\left(4\pi t + \frac{2\pi}{3}\right)$
--	--

Rangkuman Materi 7.5

OHS Pada Bandul

Dari gambar, diperoleh persamaan gerak benda (ingat materi torsi dan gaya!)

$$\sum \tau = I\alpha$$

$$-mg \sin\theta \cdot l = ml^2 \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-g \sin\theta = l \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin\theta = 0$$

Syarat gerak harmonik sederhana pada bandul adalah sudut θ yang diasumsikan sangat kecil ($\theta \ll 1$) sehingga bisa diaproksimasi $\sin\theta \approx \theta$. Persamaan gerak bandul menjadi

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = 0$$

Persamaan di atas lagi-lagi merupakan persamaan diferensial orde 2 yang mirip dengan persamaan osilasi pada pegas.

Tebakan Solusi

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Masukkan ke dalam persamaan gerak osilasi bandul sehingga diperoleh

$$-A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) + \frac{g}{l} \cos(\omega t + \varphi_0) = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Untuk mencari nilai amplitudo A dan fasa awal φ_0 , gunakan syarat batas yang diberikan oleh soal.

7.4 Soal Latihan

- Gambar di samping menunjukkan kurva tegangan terhadap regangan dari suatu bahan. Diketahui nilai s adalah 300 dalam satuan 10^6 N/m^2 . Tentukan:
 - Modulus Young bahan
 - Tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan
- Sebuah benda yang mengalami gerak harmonik sederhana memerlukan waktu selama 0,25 detik untuk bergerak dari titik awal dengan kecepatan nol hingga ke titik berikutnya yang juga memiliki kecepatan nol. Jarak antara dua titik tersebut adalah 36 cm. Hitung:
 - Periode gerak
 - Frekuensi gerak
 - Amplitudo
- Sebuah osilator harmonik dinyatakan oleh fungsi $x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$. Tentukan konstanta fasa dari osilator harmonik yang digambarkan oleh grafik simpangan terhadap waktu $x(t)$ berikut! Diketahui nilai $x_s = 6 \text{ cm}$.
- Sebuah balok bermassa 55 gram beresilasi pada sebuah pegas dengan konstanta pegas sebesar $k = 1500 \text{ N/m}$. Persamaan simpangan balok tersebut berbentuk $x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$. Berapa lama waktu yang dibutuhkan balok tersebut untuk bergerak dari posisi $x = 0,8x_m$ menuju
 - $x = 0,6x_m$
 - $x = -0,8x_m$
- Sebuah balok bermassa $m = 2 \text{ kg}$ dikaitkan dengan pegas yang memiliki konstanta pegas sebesar $k = 200\pi^2 \text{ N/m}$. Balok tersebut mengalami gerak harmonik sederhana. Pada saat $t = 1 \text{ sekon}$, posisi balok tersebut adalah $x = 0,1 \text{ m}$ dan kecepatan balok tersebut adalah $v = \sqrt{3}\pi \text{ m/s}$.
 - Berapakah amplitudo osilasi balok tersebut?
 - Di mana posisi dan berapa kecepatan benda pada saat $t = 0$?



Ruled lines for writing answers to the physics questions below.

- 3. I'el raq t.) (a) $\Delta t = 1,76 \times 10^{-3}$ s (d) $\Delta t = 1,15 \times 10^{-2}$ s (e) $\Delta t = 0,1058$ m**
- 4. (a) $k = 500 \text{ N/m}$ (b) $m = 1,39 \text{ kg}$ (c) $1,91 \text{ Hz}$**
- 5. (a) $F = 72 \times 10^9 \text{ N}$ (b) 300 N (c) 5 m (d) $2,0 = \tau$ (e) $2 = \gamma$ (f) $2 = \lambda$ (g) $8 \text{ I} = A$**





BAB 8

GELOMBANG MEKANIK

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA

FI1101

8

MODUL

Bab 8: Gelombang Mekanik

8.1 Gelombang Tali

Rangkuman Materi 8.1

Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik hanya dapat terjadi pada media material dan diatur oleh hukum Newton. Berdasarkan arah getar dan arah rambatnya, gelombang mekanik dibedakan menjadi gelombang mekanik transversal dan gelombang mekanik longitudinal.

Gelombang mekanik transversal, adalah gelombang yang partikel mediumnya berosilasi tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Sementara **Gelombang mekanik Longitudinal** adalah Gelombang yang partikel mediumnya berosilasi sejajar dengan arah rambat gelombang.

Gelombang Sinusoidal

Gelombang sinusoidal yang bergerak ke arah positif sumbu- x memiliki bentuk fungsi

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

dengan A adalah amplitudo gelombang, k adalah bilangan gelombang, ω adalah frekuensi sudut, dan $kx - \omega t$ adalah fasa. Panjang gelombang λ dihubungkan

dengan bilangan gelombang k melalui persamaan

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Periode T dan frekuensi f gelombang dihubungkan dengan frekuensi sudut ω melalui persamaan

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Kecepatan gelombang v dihubungkan dengan parameter lainnya

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Persamaan Gelombang Berjalan

Setiap fungsi dari bentuk

$$y(x, t) = h(kx \pm \omega t)$$

dapat mewakili gelombang berjalan dengan kecepatan gelombang yang diberikan oleh Persamaan 4, dan bentuk gelombang diberikan oleh fungsi h . Tanda plus menunjukkan gelombang merambat dalam arah negatif sumbu x , dan tanda minus menunjukkan gelombang merambat dalam arah positif.

Kecepatan Gelombang pada Regangan Tali

Cepat rambat gelombang pada tali yang diregangkan ditentukan oleh sifat-sifat tali tersebut. Kecepatan tali yang mempunyai tegangan τ dan densitas μ yaitu

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

Daya Rata-rata

Daya rata-rata, atau laju rata-rata energi yang ditransmisikan oleh gelombang sinusoidal pada tali yang diregangkan diberikan oleh

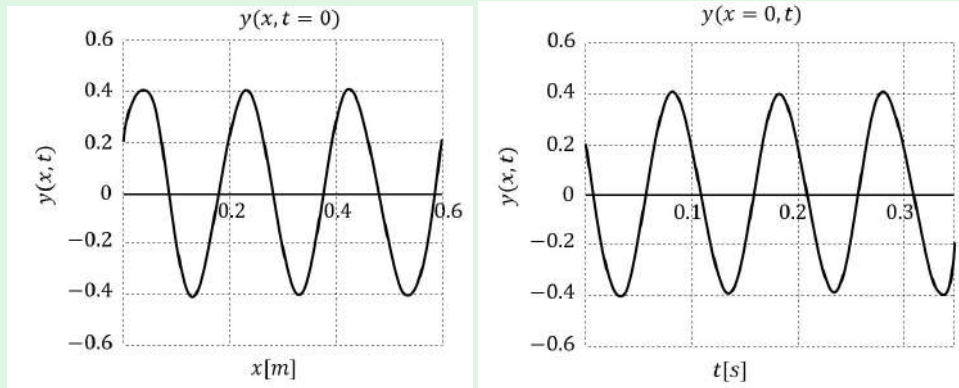
$$P_{\text{avg.}} = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 A^2$$

Contoh Soal 8.1

Suatu gelombang harmonik menjalar pada sebuah tali. Dua grafik di bawah menunjukkan simpangan gelombang tersebut pada posisi dan waktu tertentu dengan y dan x dalam meter, dan t dalam sekon. Dengan menggunakan informasi dari kedua grafik tersebut, tentukan:

1. Panjang gelombang (λ), bilangan gelombang (k), frekuensi (f), dan cepat rambat gelombang (v_x)

2. Arah rambat gelombang dan amplitudo simpangan,
3. Fasa awal gelombang (φ) serta tuliskan persamaan fungsi gelombang $y(x, t)$ dalam fungsi sinus!



Penyelesaian:

<p>Dari gambar sebelah kiri, dapat diperoleh informasi panjang gelombang. Panjang satu gelombang mencakup satu puncak dan satu lembah gelombang.</p>	<p>1. Dari gambar sebelah kiri, diperoleh panjang gelombang</p> $\lambda = (0,4 - 0,4) \text{ m}$ $\lambda = 0,2 \text{ m}$
<p>Bilangan gelombang didefinisikan oleh</p> $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ <p>Karena λ sudah diperoleh, dapat dihitung nilai bilangan gelombang k</p>	<p>Bilangan gelombangnya adalah</p> $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ $k = \frac{2\pi}{0,2}$ $k = 10\pi \text{ rad/m}$

<p>Dari gambar sebelah kanan, dapat diperoleh periode gelombang, yaitu waktu yang diperlukan untuk membentuk satu buah gelombang.</p> <p>Kemudian, frekuensi diperoleh dari hubungan</p> $f = 1/T$	<p>Dari gambar sebelah kanan, diperoleh periode gelombang:</p> $T = 0,2 - 0,1 \text{ s}$ $T = 0,1 \text{ s}$ <p>Sehingga, frekuensinya adalah</p> $f = \frac{1}{T}$ $f = \frac{1}{0,1}$ $f = 10 \text{ Hz}$
<p>Cepat rambat gelombang dapat diperoleh melalui</p> $v = \frac{\omega}{k}$ <p>Dengan $\omega = 2\pi f$ merupakan frekuensi sudut. Gelombang $y(x, t)$ merupakan gelombang yang merambat ke arah sumbu-x, sehingga cepat rambatnya dinyatakan oleh kecepatan arah sumbu-x atau v_x.</p>	<p>Cepat rambat gelombang</p> $v_x = \frac{\omega}{k}$ $v_x = \frac{2\pi f}{k}$ $v_x = \frac{2\pi \times 10}{10\pi}$ $v_x = 2 \text{ m/s}$
<p>Dari gambar sebelah kanan, terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya waktu, simpangan fungsi $y(x, t)$ berkurang. Agar hal tersebut terjadi, gelombang pada gambar di sebelah kiri harus bergerak ke kanan atau merambat ke sumbu-x positif.</p> <p>Dari gambar, dapat langsung dilihat juga amplitudo simpangan gelombang, yaitu simpangan terjauh gelombang tersebut.</p>	<p>2. Gelombang merambat ke sumbu-x positif dengan amplitudo sebesar</p> $y_{\max} = 0,4 \text{ m}$

<p>Karena gelombang digambarkan dalam fungsi sinus, maka persamaan gelombangnya berbentuk</p> $y(x, t) = (0,4 \text{ m}) \sin(kx - \omega t + \varphi)$ <p>Fungsi $kx - \omega t$ muncul karena gelombang merambat ke sumbu-x positif, sedangkan φ merupakan fasa awal. Gunakan informasi dari grafik pada saat $t = 0$ dan $x = 0$ untuk menentukan nilai fasa awal φ.</p> <p>Gunakan $\varphi = 5\pi/6$ karena dari gambar sebelah kanan terlihat bahwa laju getar bernilai negatif pada $t = 0$.</p>	<p>3. Persamaan fungsi gelombangnya adalah</p> $y(x, t) = (0,4 \text{ m}) \sin(kx - \omega t + \varphi)$ <p>Dari gambar grafik, diketahui bahwa simpangan $y(x, t)$ pada saat $t = 0$ dan $x = 0$ adalah $y = 0,2 \text{ m}$.</p> <p>Masukkan nilai $t = 0$ dan $x = 0$ pada persamaan simpangan:</p> $y(x = 0, t = 0) = (0,4 \text{ m}) \sin(0 + 0 + \varphi)$ $0,2 \text{ m} = 0,4 \text{ m} \sin \varphi$ $\sin \varphi = \frac{0,2}{0,4} = \frac{1}{2}$ $\varphi = \pi/6 \text{ atau } 5\pi/6$ <p>Dengan memasukkan nilai $k = 10\pi$ dan $\omega = 20\pi$, fungsi gelombang lengkapnya dituliskan oleh</p> $y(x, y) = (0,4 \text{ m}) \sin\left(10\pi x - 20\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$
---	--

8.2 Gelombang Bunyi

Rangkuman Materi 8.2

Gelombang bunyi merupakan gelombang mekanik longitudinal yang dapat merambat melalui benda padat, cair, atau gas. Cepat rambat (v) gelombang bunyi dalam medium yang mempunyai modulus Bulk (B) dan massa jenis ρ adalah

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \text{ (Kecepatan Suara)}$$

Gelombang suara menyebabkan perpindahan memanjang s suatu unsur bermassa dalam suatu medium.

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

dengan s_m adalah amplitudo perpindahan (perpindahan maksimum) dari kesetimbangan, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = 2\pi f$, dengan λ dan f masing-masing merupakan panjang gelombang dan frekuensi gelombang bunyi. Gelombang juga menyebabkan perubahan tekanan Δp dari tekanan kesetimbangan

$$\Delta p = \Delta p_m \sin(kx - \omega t)$$

dengan amplitudo tekanan

$$\Delta p_m = (v\rho\omega)s_m$$

8.3 Superposisi Gelombang

Rangkuman Materi 8.3

Ketika dua atau lebih gelombang melintasi medium yang sama, perpindahan setiap partikel medium adalah jumlah perpindahan yang dihasilkan oleh masing-masing gelombang.

Interferensi Gelombang

Dua gelombang sinusoidal pada dawai yang sama menunjukkan interferensi, penambahan atau pengurangan sesuai dengan prinsip superposisi. Jika keduanya merambat dalam arah yang sama dan mempunyai amplitude A dan frekuensi yang sama (maka panjang gelombangnya sama) tetapi fasanya berbeda sebesar konstanta fasa ϕ , hasilnya adalah gelombang tunggal dengan frekuensi yang sama:

$$y(x, t) = \left[2A \cos \frac{1}{2}\phi \right] \sin \left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\phi \right)$$

- Jika $\phi = 0$, gelombang-gelombang tersebut tepat sefasa dan interferensinya konstruktif penuh;
- Jika $\phi = \pi$ rad, maka berada di luar fase dan interferensinya bersifat destruktif sepenuhnya.

Fasor

Gelombang $y(x, t)$ dapat direpresentasikan dengan fasor. Ini adalah vektor yang besarnya sama dengan amplitude A gelombang dan berputar terhadap titik asal dengan kecepatan sudut sama dengan frekuensi sudut ω . Proyeksi putaran fasor pada sumbu vertikal memberikan persamaan perpindahan y suatu titik sepanjang rambatan gelombang.

8.4 Gelombang Berdiri dan Resonansi

Rangkuman Materi 8.4

Gelombang Berdiri

Interferensi dua gelombang sinusoidal identik yang bergerak berlawanan arah menghasilkan gelombang berdiri. Untuk tali yang ujung-ujungnya tetap, gelombang berdiri diberikan oleh persamaan

$$y(x, t) = [2A \sin kx] \cos \omega t$$

Gelombang berdiri dicirikan oleh lokasi tetap dengan perpindahan nol yang disebut *node* (simpul) dan lokasi tetap dengan perpindahan maksimum yang disebut *antinode* (perut).

Resonansi

Gelombang berdiri pada seutas tali dapat dibentuk dengan memantulkan rambat gelombang dari ujung-ujung senar. Jika suatu ujung tetap, maka itu haruslah posisi sebuah simpul. Hal ini membatasi frekuensi munculnya gelombang berdiri pada senar tertentu. Setiap frekuensi yang mungkin adalah frekuensi resonansi, dan pola gelombang berdiri yang sesuai adalah mode osilasi. Untuk tali yang diregangkan dengan panjang L dan ujung-ujungnya tetap, frekuensi resonansinya adalah

$$f = \frac{v}{\lambda} = n \frac{v}{2L}, \text{ untuk } n = 1, 2, 3, \dots$$

Mode osilasi yang berhubungan dengan $n = 1$ disebut mode fundamental atau harmonik pertama; modus yang sesuai dengan $n = 2$ adalah harmonik kedua; dan seterusnya.

Contoh Soal 8.2

Dua buah gelombang menjalar dalam arah yang berlawanan dan menghasilkan gelombang berdiri. Fungsi masing-masing gelombangnya mengikuti persamaan

$$y_1(x, t) = 4 \sin(3x - 2t)$$

dan

$$y_2(x, t) = 4 \sin(3x + 2t)$$

dengan x dan y dalam cm.

1. Carilah amplitudo dari gerak harmonik sederhana yang terjadi pada elemen tali yang terletak di $x = 2, 3$ cm.

2. Carilah posisi simpul dan perut jika salah satu ujung tali terletak di titik $x = 0$.
3. Berapakah nilai maksimum y pada posisi perut di gelombang berdiri yang terbentuk?

Penyelesaian:

<p>Fungsi gelombang superposisi diperoleh dengan menjumlahkan dua fungsi gelombang $y_1(x, t)$ dan $y_2(x, t)$</p> <p>Ingat identitas penjumlahan trigonometri</p> $\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$	<p>Superposisi gelombang:</p> $y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$ $y(x, t) = 2 \sin(3x - 2t) + 2 \sin(3x + 2t)$ $y(x, t) = 8 \sin 3x \cos 2t$
<p>Amplitudo simpangan gelombang berdiri terjadi ketika $\cos 2t = 1$</p> <p>Sehingga, amplitudo gelombang berdiri hasil superposisinya adalah</p> $y_m(x) = 8 \sin 3x$	<p>Amplitudo gelombang berdiri:</p> $y_m(x) = 8 \sin 3x$ <p>Pada saat $x = 2,3$ cm, amplitudonya adalah:</p> $y_m(2,3) = 8 \times \sin(3 \times 2,3)$ $y_m(2,3) = 8 \times \sin(6,9)$ $y_m(2,3) = 8 \times 0,58$ $y_m(2,3) = 4,64 \text{ cm}$

<p>Posisi simpul adalah posisi ketika</p> $\sin kx = 0$ <p>Sehingga</p> $kx = n\pi$ <p>Dengan $n = 0, 1, 2, \dots$</p> <p>Sedangkan posisi perut adalah posisi ketika</p> $\sin kx = 1$ <p>Sehingga</p> $kx = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$ <p>Dengan $n = 0, 1, 2, \dots$</p>	<p>Posisi simpul:</p> $\sin 3x = 0 \rightarrow 3x = n\pi$ <p>dengan $n = 0, 1, 2, \dots$</p> <p>Posisi simpul pertama adalah ketika $n = 1$</p> <p>Sehingga, posisi simpulnya adalah</p> $3x = \pi \rightarrow x = \frac{\pi}{3} \text{ cm}$ <p>Posisi perut:</p> $\sin 3x = 1 \rightarrow 3x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$ <p>Dengan $n = 0, 1, 2, \dots$</p> <p>Posisi perut pertama adalah ketika $n = 0$.</p> <p>Sehingga, posisi perutnya adalah</p> $3x = \frac{\pi}{2} \rightarrow x = \frac{\pi}{6} \text{ cm}$
---	--

8.5 Efek Doppler

Rangkuman Materi 8.5

Efek Doppler adalah perubahan frekuensi gelombang yang diamati ketika sumber atau detektor bergerak relatif terhadap media pemancar (seperti udara). Untuk suara, frekuensi pengamatan f' diberikan oleh

$$f' = \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S} f$$

dengan v_D adalah kecepatan detektor relatif terhadap medium, v_S adalah kecepatan sumber, dan v adalah kecepatan suara dalam medium, dan f adalah frekuensi yang dihasilkan oleh sumber. Tanda-tanda tersebut dipilih sedemikian rupa sehingga f' cenderung lebih besar untuk gerak mendekat dan lebih kecil untuk gerak menjauh.

8.6 Soal Latihan

1. Jika gelombang $y(x, t) = (6 \text{ mm}) \sin(kx + (600 \text{ rad/s})t + \phi)$ merambat sepanjang tali, berapa lama waktu yang dibutuhkan setiap titik pada tali untuk berpindah antar perpindahan $y = +2 \text{ mm}$ dan $y = -2 \text{ mm}$?
2. Gelombang sinusoidal yang bergerak sepanjang tali ditunjukkan dua kali pada Gambar ketika puncak A merambat dalam arah positif sumbu- x sejauh $d = 6 \text{ cm}$ dalam waktu 4 ms . Tanda centang sepanjang sumbu dipisahkan sejauh 10 cm ; tinggi $H = 6 \text{ mm}$. Persamaan gelombangnya berbentuk $y(x, t) = A \sin(kx \pm \omega t)$. Tentukan:

- (a) A ?
 - (b) k ?
 - (c) ω ?
 - (d) tanda di depan ω ?
3. Persamaan gelombang transversal pada tali adalah

$$y(x, t) = (2 \text{ mm}) \sin[(20 \text{ m}^{-1})x - (600 \text{ s}^{-1})t]$$

Tegangan tali adalah 15 N .

- (a) Berapakah cepat rambat gelombang?
 - (b) Tentukan kerapatan linier tali ini dalam gram per meter!
4. Empat buah gelombang dikirim sepanjang dawai yang sama, dalam arah yang sama:

$$y_1(x, t) = (4 \text{ mm}) \sin(2\pi x - 400\pi t)$$

$$y_1(x, t) = (4 \text{ mm}) \sin(2\pi x - 400\pi t + 0,7\pi)$$

$$y_1(x, t) = (4 \text{ mm}) \sin(2\pi x - 400\pi t + \pi)$$

$$y_1(x, t) = (4 \text{ mm}) \sin(2\pi x - 400\pi t + 1,7\pi)$$

Berapakah amplitudo gelombang resultannya?

5. Gelombang berdiri dihasilkan dari penjumlahan dua gelombang berjalan transversal yang diberikan oleh persamaan

$$y_1(x, t) = (0,05) \cos(\pi x - 4\pi t)$$

dan

$$y_2(x, t) = (0,05) \cos(\pi x + 4\pi t)$$

dengan x, y_1, y_2 dalam satuan meter dan t dalam satuan detik.



3. (a) 30 m/s (b) 16.6 g/m (c) 4.02 (d) 0.2 m (e) 1.4 s (f) 1.2 s (g) 4.61 m/s
Kunci jawaban 1. (a) 1.13×10^{-3} s (b) 3 mm (c) 12.7 rad/m (d) 232.2 rad/s (e) negatif





BAB 9

FLUIDA STATIS

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

9

MODUL

Bab 9: Fluida Statis

9.1 Tekanan dan Gaya Hidrostatik

Rangkuman Materi 9.1

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diberikan oleh fluida pada benda yang ada di dalamnya yang besarnya dipengaruhi oleh massa jenis fluida dan kedalaman benda tersebut dari permukaan.

Rumus Umum:

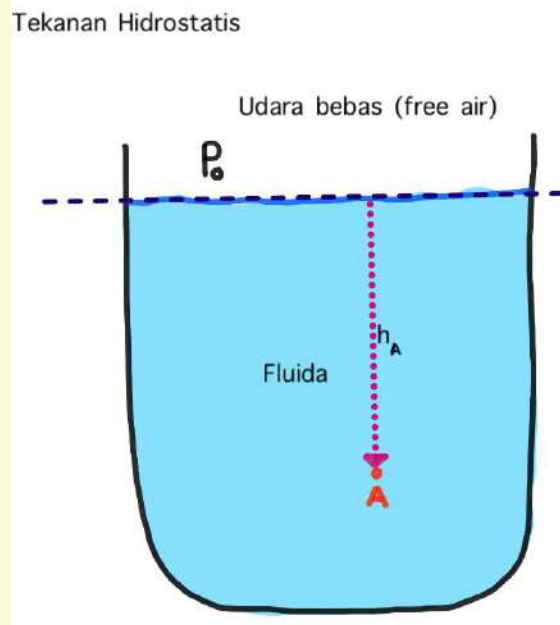
$$P_H = P_{\text{permukaan}} + \rho_{\text{fluida}}gh$$

$P_{\text{permukaan}}$: Tekanan pada permukaan titik yang dicari

-) Apabila permukaannya kontak langsung dengan udara luar (*free air*), maka tekanan permukaan sama dengan tekanan atmosfer ($P_0 = 1 \text{ atm}$ atau $P_0 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$).
-) Apabila permukaannya tertutup, maka tekanan permukaan tidak sama dengan tekanan atmosfer tapi sama dengan tekanan pada tutupnya.

Catatan!

Titik yang berada pada **kedalaman yang sama**, di suatu **wadah yang sama**, dan di **fluida yang sama** akan memiliki tekanan hidrostatik yang sama.



Gaya Hidrostatik adalah gaya yang menekan sisi wadah yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik tersebut

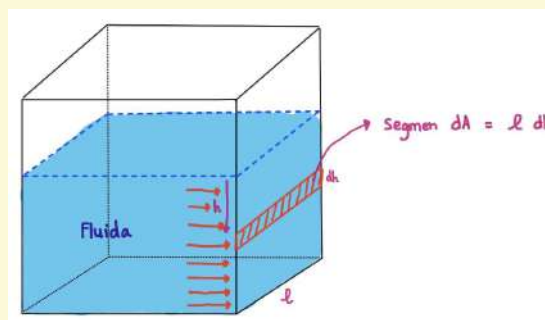
Rumus Dasar:

$$F_H = P_H A = (P_{\text{permukaan}} + \rho_{\text{fluida}} g h) A$$

Apabila kedalaman area yang mendapat tekanan tersebut tidak sama, maka rumus di atas menjadi:

$$F_H = \int P_H dA$$

$$F_H = \int (P_{\text{permukaan}} + \rho_{\text{fluida}} g h) dA$$

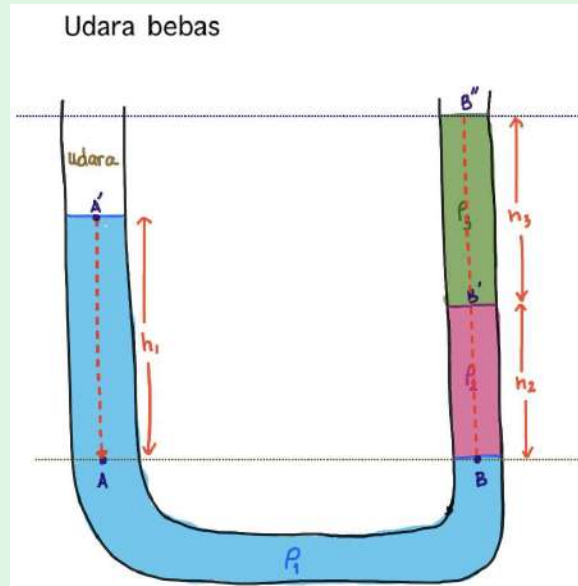


$$F_H = \int (P_{\text{perm}} + \rho_f g h) dA$$

$$F_H = \int_{h_1}^{h_2} (P_{\text{perm}} + \rho_f g h) l dh$$

Contoh Soal 9.1 Pipa U

Bagaimana hubungan tekanan pada pipa U pada gambar di bawah?



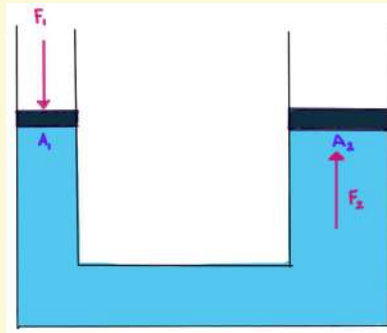
Tinjau tekanan pada titik A dan titik B	$P_A = P_B$ $P'_A + \rho_1 g h_1 = P'_B + \rho_2 g h_2$
Masukkan nilai tekanan di A dan tekanan di B. Perhatikan kedalaman pada masing-masing titik A dan B!	$P_0 + P_{\text{udara}} g (h_2 + h_3 - h_1) + \rho_1 g h_1$ $= P_0 + \rho_3 g h_3 + \rho_2 g h_2$ $\rho_{\text{udara}} (h_2 + h_3 - h_1) + \rho_1 h_1 = \rho_3 h_3 + \rho_2 h_2$
Asumsikan bahwa rapat jenis udara jauh lebih kecil dari rapat jenis fluida.	$\rho_{ud} \ll \rho_{1,2,3} \rightarrow \rho_{ud} (h_2 + h_3 - h_1) \approx 0$ $\boxed{\rho_1 h_1 = \rho_3 h_3 + \rho_2 h_2}$

9.2 Gaya Archimedes

Rangkuman Materi 9.2

Prinsip Pascal

Pada suatu wadah tertutup (tidak bocor) yang berisi fluida, tekanan yang diberikan pada fluida tersebut akan diteruskan ke segala arah dan sama besar. Konsep ini mendasari prinsip kerja hidrolis yang sering dipakai.

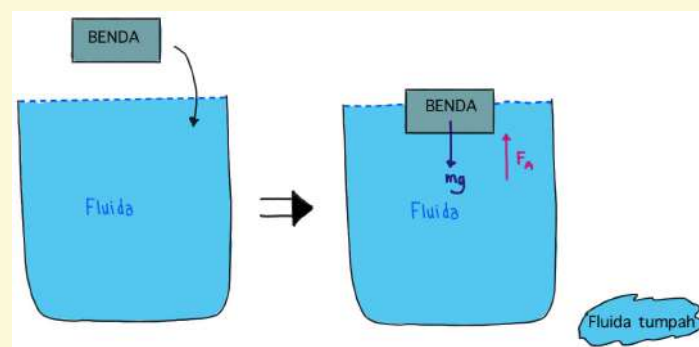


$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Prinsip Archimedes

Prinsip Archimedes menjelaskan bahwa fluida akan memberikan gaya angkat (F_A) pada benda yang ada di dalamnya. Gaya angkat tersebut sebanding dengan berat fluida yang dipindahkan (tumpah) akibat dimasukkan benda tersebut.



$$F_A = W_{\text{fluida tumpah}}$$

$$F_A = m_{\text{fluida tumpah}} \cdot g$$

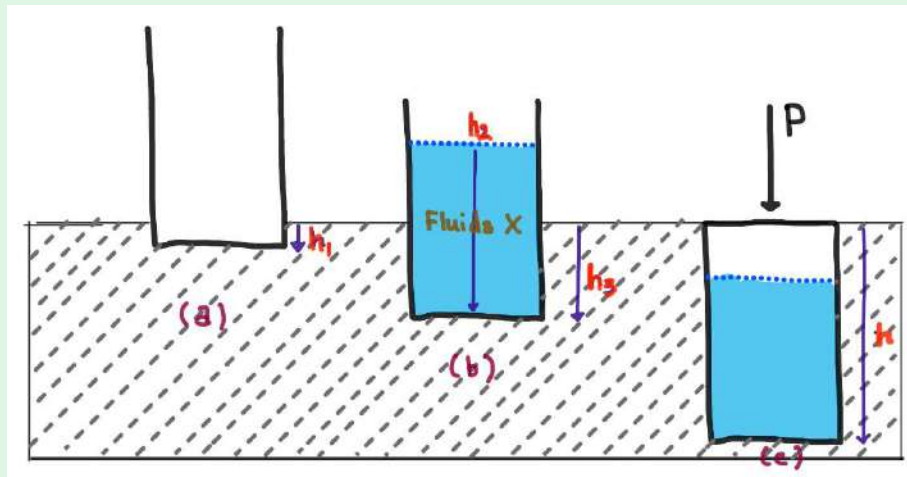
$$F_A = \rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{fluida tumpah}} \cdot g$$

$$F_A = \rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{benda yang tercelup}} \cdot g$$

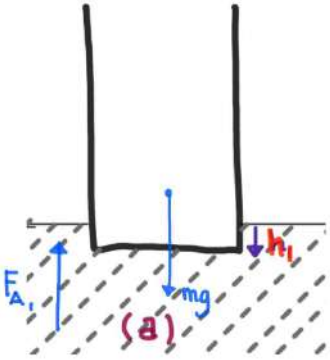
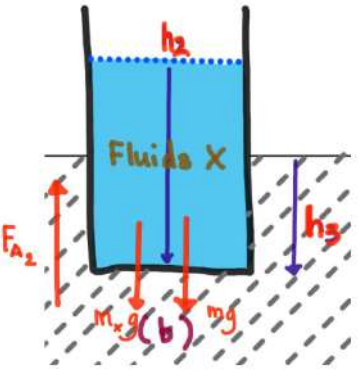
Contoh Soal 9.2 Soal UTS

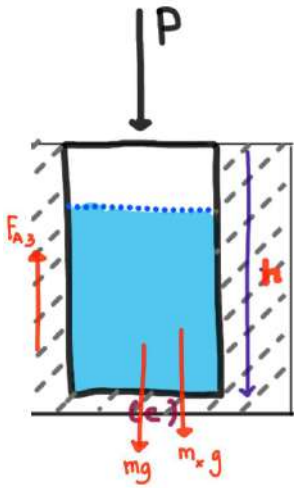
Sebuah kotak kosong yang alasnya berbentuk bujursangkar diletakkan di atas air dan tenggelam sedalam $h_1 = 10$ cm. Kotak tersebut kemudian diisi dengan suatu cairan x sehingga kotak dan cairan tersebut tenggelam lebih dalam lagi hingga kedalaman $h_3 = 15$ cm. Diketahui nilai $h_2 = 25$ cm dan dapat massa air adalah 1000 kg/m^3 . Tentukan:

1. Berapakah rapat massa cairan x tersebut?
2. Dalam kondisi kotak berisi cairan x tersebut, kotak ditutup kemudian ditekan dengan tangan hingga tepat akan tenggelam. Ternyata, butuh tekanan tangan sebesar 1500 Pa untuk melakukan itu. Berapakah ukuran tinggi kotak (h) tersebut?



Pembahasan:

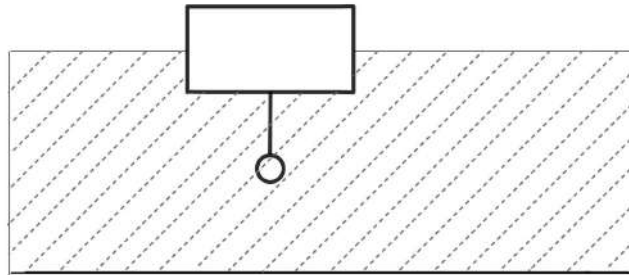
<p>Gambar (a) dan (b) merupakan kondisi setimbang. Sehingga, kita dapat mencari persamaan kesetimbangan untuk setiap keadaan.</p> 	<p>Gambar (a):</p> $\sum F_y = 0$ $F_{A_1} - m_k g = 0$ $F_{A_1} = m_k g$ $\rho_{\text{air}} g V_{\text{celup}} = m_k \cdot g$ $m_k = 1000 \cdot A \cdot 0,1$ $m_k = 100A \dots (1)$
<p>Tinjau persamaan kesetimbangan yang sama dari benda (b) juga.</p> 	<p>Gambar (b):</p> $\sum F_y = 0$ $F_{A_2} - m_x g - m_k g = 0$ $F_{A_2} = m_x g + m_k g$ $\rho_{\text{air}} g V_{\text{celup}} = m_x g + m_k g$ <p>masukkan nilai m_k dari persamaan (1)</p> $1000 \cdot A \cdot h_3 = m_x + 100A$ $1000 \cdot A \cdot 0,15 = m_x + 100A$ $m_x = 150A - 100A$ $m_x = 50A \dots (2)$

<p>Berikutnya, tentukan nilai rapat massa fluida x, ρ_x, dari massa fluida m_x dan volumenya.</p>	$\rho_x = \frac{m_x}{V_x}$ $\rho_x = \frac{m_x}{A \cdot h_2}$ $\rho_x = \frac{50A}{A \cdot 0,25}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $\rho_x = 200 \text{ kg/m}^2$ </div>
<p>Untuk mengerjakan yang bagian 2, tinjau lagi persamaan kesetimbangan pada kasus (c) dengan cara yang sama dengan kasus (a) dan (b).</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>Gambar (c):</p> $\sum F_y = 0$ $F_{A_3} - m_k g - m_x g - P \cdot A = 0$ $F_{A_3} = P \cdot A + m_k g + m_x g$ $\rho_{\text{air}} g V_{\text{celup}} = P \cdot A + m_k g + m_x g$ $1000 \cdot 10 \cdot A \cdot h = 1500 \cdot A + 100 \cdot A \cdot 10 + 50 \cdot A \cdot 10$ $10.000h = 1500 + 1000 + 500$ $10.000h = 3000$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $h = 0,3 \text{ m}$ </div>

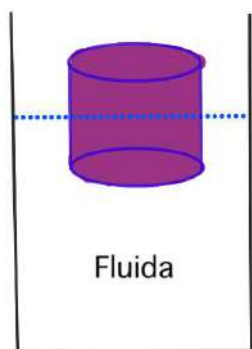
9.3 Soal Latihan

- [UAS 2012] Sebuah bola berongga memiliki jari-jari dalam sebesar 8 cm dan jari-jari luar sebesar 9 cm. Setengah dari bola tersebut mengapung dan sisanya tenggelam dalam zat cair yang memiliki rapat massa 800 kg/m^3
 - Berapakah massa bola berongga tersebut?
 - Tentukan rapat massa dari material bola!
- [UTS 2015] Berapa persenkah dari volume sebuah pecahan gunung es (densitas es 917 kg/m^3) yang dapat dilihat jika pecahan tersebut mengapung di lautan? (densitas air laut 1024 kg/m^3)

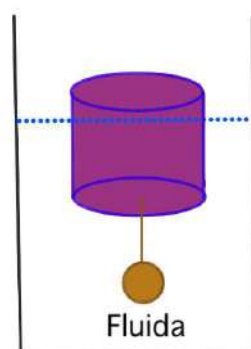
3. Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah bola besi tergantung pada sebuah silinder yang mengapung di air. Silinder memiliki tinggi 6 cm dan luas penampang 12 cm². Massa jenis silinder adalah 0,3 gr/cm³ dan tinggi silinder yang di atas permukaan air adalah 2 cm. Jika massa tiang gantungan diabaikan, berapakah jari-jari bola tersebut?



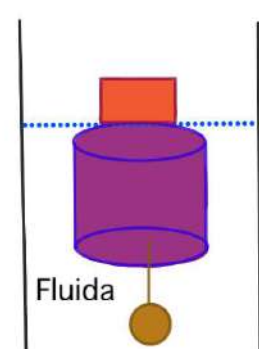
4. Hitunglah perbedaan tekanan darah antara otak dan kaki dari seseorang yang memiliki tinggi 1,83 m. Apabila densitas darah adalah 1060 kg/m³ dan gunakan percepatan gravitasi sebesar 10 m/s².
5. [UTS 2016] Sebuah silinder pejal dengan tinggi 4 cm dan luas penampang 8π cm² memiliki densitas sebesar ρ_s. Silinder tersebut dimasukkan ke dalam cairan dengan massa jenis ρ_f (lihat gambar 1). Apabila diketahui $\frac{\rho_s}{\rho_f} = \frac{1}{6}$, tentukan:
- Tinggi silinder yang muncul di permukaan air
 - Selanjutnya, silinder dihubungkan dengan bola besi dengan densitas ρ_b (gambar 2). Jika 1/2 volume silinder tercelup, berapakah jari-jari bola? ($\frac{\rho_b}{\rho_f} = 2$)
 - Agar silinder tercelup seluruhnya, maka di atas silinder ditaruh benda dengan massa M (gambar 3). Tentukan massa M apabila diketahui ρ_f = 1 gr/cm³!



Gambar 1



Gambar 2



Gambar 3

Kunci Jawaban : 1. (a) $m = 1,2508 \text{ kg}$ (b) $0,134 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ (c) $10,2 \text{ s}$ (d) $3,88 \text{ cm}^3$
4. 19304 Pa (a) 3,33 cm (b) 5 cm (c) $\frac{3}{2} \text{ m}$ (d) 1,9304 Pa



BAB 10

FLUIDA DINAMIS

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102



10

MODUL

Bab 10: Fluida Dinamis

10.1 Persamaan Kontinuitas

Rangkuman Materi 10.1

Fluida ideal bersifat inkompresibel dan tidak ada viskositas (sangat encer) sehingga alirannya bersifat stabil dan irrotasional (tidak ada rotasi atau vortex). Aliran fluida dalam suatu pipa memenuhi persamaan kontinuitas:

$$Q = Av = \text{konstan}$$

Dengan Q merupakan debit aliran (m^3/s), A merupakan luas penampang pipa (m^2), dan v merupakan laju aliran fluida (m/s).

10.2 Persamaan Bernoulli

Rangkuman Materi 10.2

Bab fluida dinamis membahas tentang aliran fluida yang memenuhi persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli datang dari prinsip kekekalan energi mekanik yang diaplikasikan pada aliran suatu fluida ideal. Bentuk persamaan Bernoulli

adalah:

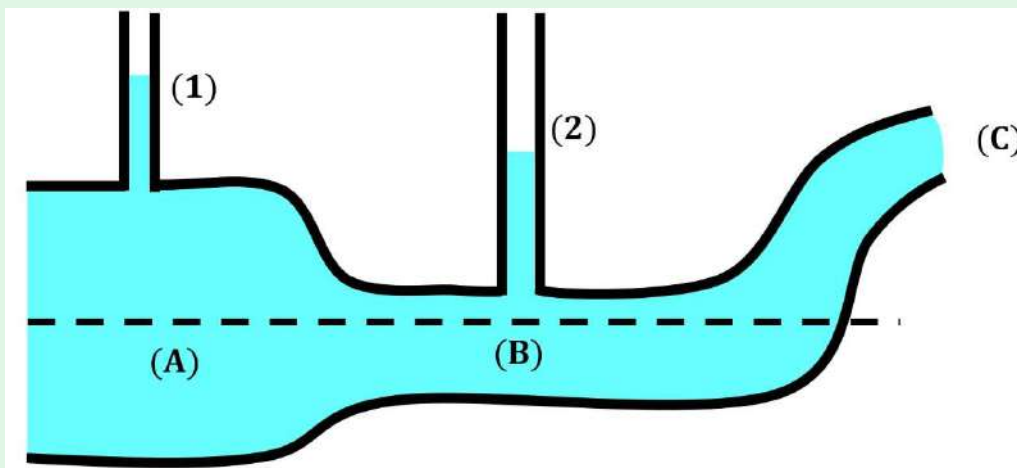
$$P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konstan}$$

dengan P merupakan tekanan (Pa), g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2), h merupakan ketinggian (m), ρ merupakan rapat massa fluida (kg/m^3), dan v merupakan laju aliran fluida (m/s).

Contoh Soal 10.1

Suatu pipa air memiliki bentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar. Diketahui ketinggian air pada pipa (1) dan pipa (2) terhadap pusat aliran air (garis putus-putus) masing-masing adalah 20 cm dan 10 cm. Diketahui $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ dan $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$.

1. Tentukan besar tekanan pada titik A dan titik B yang berada pada pusat aliran pipa mendatar!
2. Tentukan laju aliran air pada titik A dan titik B jika diketahui diameter pipa A dan B masing-masing adalah 10 cm dan 5 cm!
3. Hitung laju aliran air pada titik C jika ketinggian pipa C adalah 15 cm dari pusat aliran pada pipa A dan B !



Alur Cara Menjawab:

<p>Untuk menghitung tekanan fluida, gunakan persamaan</p> $P = \rho gh$ <p>Karena pipa vertikal terbuka ke udara (tidak tertutup), maka jangan lupa untuk memasukkan tekanan udara!</p>	<p>Tekanan di titik A:</p> $P_A = P_0 + \rho gh_1$ $P_A = 10^5 + 1000 \times 10 \times 0,2$ $P_A = 102.000 \text{ Pa}$ <p>Tekanan di titik B:</p> $P_B = P_0 + \rho gh_2$ $P_B = 10^5 + 1000 \times 10 \times 0,1$ $P_B = 101.000 \text{ Pa}$
<p>Laju aliran air pada titik A dan titik B dihubungkan oleh persamaan kontinuitas</p> $v_A A_A = v_B A_B$ <p>Selain itu, untuk menghitung laju v_A dan v_B, gunakan persamaan Bernoulli yang merupakan persamaan yang paling penting dalam materi fluida dinamis:</p> $P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$ <p>Karena titik A dan titik B berada pada level ketinggian yang sama, maka $h_A = h_B$</p>	<p>Dari persamaan kontinuitas, diperoleh</p> $v_A = \left(\frac{A_B}{A_A} \right) v_B$ $v_A = \frac{\pi(0,025)^2}{\pi(0,05)^2} v_B$ $v_A = \frac{1}{4} v_B$ <p>Substitusikan nilai v_A dan $h_A = h_B$ ke dalam persamaan Bernoulli</p> $P_A + \rho gh_B + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{1}{4} v_B \right)^2$ $= P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$

	<p>Masukkan nilai $P_A = 102.000$ Pa dan $P_B = 101.000$ Pa dan $\rho = 1000$ kg/m³</p> $102.000 + \frac{1}{2} \times 1000 \times \frac{1}{16} v_B^2$ $= 101.000 + \frac{1}{2} \times 1000 \times v_B^2$ $31,25 v_B^2 - 500 v_B^2 = 101.000 - 102.000$ $-468,75 v_B^2 = -1000$
	<p>Dari sini diperoleh nilai v_B:</p> $v_B^2 = \frac{1000}{468,75}$ $v_B^2 = 2,13$ $v_B = 1,46 \text{ m/s}$ <p>Masukkan nilai v_B untuk mendapatkan nilai v_A</p> $v_A = \frac{1}{4} v_B$ $v_A = \frac{1}{4} \times 1,46$ $v_A = 0,365 \text{ m/s}$

Untuk menghitung laju aliran air di titik C , lagi-lagi gunakan persamaan Bernoulli.

Kali ini, tinjau titik C dengan titik A atau titik B (bebas).

Apabila yang jadi acuannya adalah titik B , maka persamaan Bernoullinya menjadi

$$P_C + \rho gh_C + \frac{1}{2}\rho v_C^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

Dalam kasus ini, karena pipa C terbuka ke udara, maka tekanan di titik C adalah tekanan udara:

$$P_C = P_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

Tinjau titik B dan titik C

$$P_C + \rho gh_C + \frac{1}{2}\rho v_C^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

Anggap titik B di bawah sehingga $h_B = 0$.

$$P_0 + \rho gh_C + \frac{1}{2}\rho v_C^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

$$100.000 + 1000 \times 10 \times 0,15 + \frac{1}{2} \times 1000 \times v_C^2$$

$$= 101.000 + \frac{1}{2} \times 1000 \times (1,46)^2$$

$$100.000 + 1500 + 500v_C^2 = 101.000 + 1065,8$$

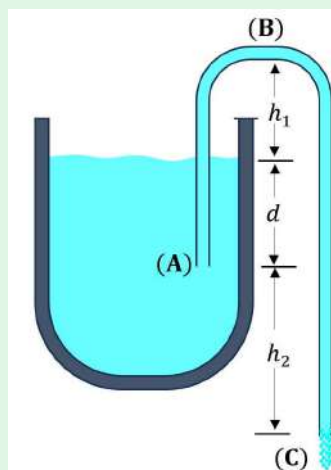
$$v_C^2 = 1,1316$$

$$v_C = 1,06 \text{ m/s}$$

Contoh Soal 10.2

Gambar di bawah merupakan *siphon* yaitu alat yang dapat memindahkan air dari suatu tangki. Tabung ABC terisi penuh oleh air yang memiliki densitas sebesar $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Diketahui tinggi $h_1 = 25 \text{ cm}$, $d = 12 \text{ cm}$, $h_2 = 40 \text{ cm}$.

1. Berapa laju aliran air yang keluar dari titik C ?
2. Apabila tekanan udara adalah $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, berapa tekanan pada titik B ?
3. Berapa tinggi maksimum h_1 yang mungkin?



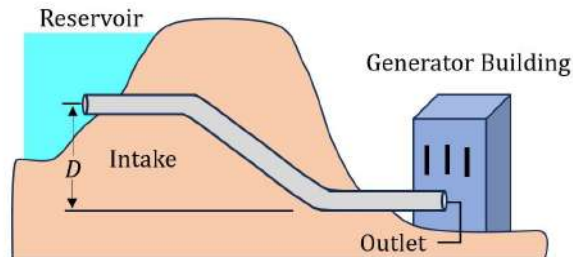
Lengkapi Bagian Kosong pada Tabel di Bawah ini!

<p>Seperti biasa, gunakan persamaan Bernoulli untuk menyelesaikan soal tentang fluida dinamis!</p> <p>Tinjau persamaan Bernoulli untuk titik A dan C, karena laju aliran air pada titik A dapat diambil nol! (Hal ini terjadi karena tangki sangat luas sehingga permukaan air pada tangki turun dengan sangat perlahan)</p> $P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_C + \rho gh_C + \frac{1}{2} \rho v_C^2$ <p>Apabila ketinggian di titik C dianggap nol, maka ketinggian di titik A adalah</p> $h_A = h_2 + d$	<p>Tinjau persamaan Bernoulli:</p> $P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_C + \rho gh_C + \frac{1}{2} \rho v_C^2$ <p>Gunakan $v_A \approx 0$, $P_A = P_C = P_0$</p> $P_0 + \rho gh_A = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_C^2$ <p>Ketinggian di titik A adalah</p> $h_A = h_2 + d = 0,52 \text{ m}$ <p>Masukkan angka ke persamaan Bernoulli</p> $P_0 + 1000 \times 10 \times 0,52 = P_0 + \frac{1}{2} \times 1000 \times v_C^2$ <p>Dari sini diperoleh</p> $500 v_C^2 = 5200$ $v_C^2 = 10,4$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $v_C = 3,22 \text{ m/s}$ </div>
<p>Untuk menghitung tekanan di titik B, lagi-lagi gunakan persamaan Bernoulli (memang di bab ini isinya persamaan Bernoulli, jangan bosan ya)</p> <p>Tinjau persamaan Bernoulli untuk titik A dan titik B</p> $P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$	<p>Tinjau persamaan Bernoulli:</p> $P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$ <p>Gunakan $v_A \approx 0$, $P_A = 0$. dan ketinggian di titik B adalah</p> $h_B = h_1 + d + h_2 = 0,77 \text{ m}$

<p>Perhatikan bahwa laju aliran air di titik B adalah sama dengan laju aliran air di titik C.</p> <p>Hal ini terjadi karena titik B dan titik C berada pada selang yang sama (ingat hukum kontinuitas!)</p> $v_B = v_C = 3,22 \text{ m/s}$	<p>Gunakan juga $v_B = v_C = 3,22 \text{ m/s}$ Sehingga persamaan Bernoulli menjadi</p> $100.000 + 1000 \times 10 \times 0,52$ $= P_B + 1000 \times 10 \times 0,77 + \frac{1}{2} \times 1000 \times (3,22)^2$ $100.000 + 5200 = P_B + 7700 + 5184,2$ $P_B = 92315,8 \text{ Pa}$
<p>Secara fisis, tekanan hidrostatik tidak mungkin bernilai negatif. Artinya, tinggi maksimum h_1 yang mungkin adalah tinggi yang menyebabkan nilai</p> $P_B = 0$ <p>Sehingga, kita dapat menggunakan persamaan Bernoulli yang sama, namun kali ini yang dicari adalah nilai h_B, dengan diketahui $P_B = 0$.</p> <p>Setelah diperoleh nilai h_B, nilai h_1 dapat dicari.</p>	<p>Tinjau persamaan Bernoulli antara titik A dan B</p> $P_A + \rho g h_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \rho g h_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$ <p>Gunakan $P_A = P_0$, $P_B = 0$, dan $v_A \approx 0$ sehingga</p> $P_0 + \rho g h_A = \rho g h_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$ $100.000 + 1000 \times 10 \times 0,52$ $= 1000 \times 10 \times h_B + \frac{1}{2} \times 1000 \times (3,22)^2$ $100.000 + 5200 = 10.000 h_B + 6184,2$ $10.000 h_B = 100.015,8$ $h_B = 1,00158 \text{ m}$ <p>Dari sini diperoleh nilai h_1:</p> $h_B = h_1 + d + h_2$ $h_1 = h_B - d - h_2$ $h_1 = 10 - 0,12 - 0,4$ $h_1 = 9,48 \text{ m}$

10.3 Soal Latihan

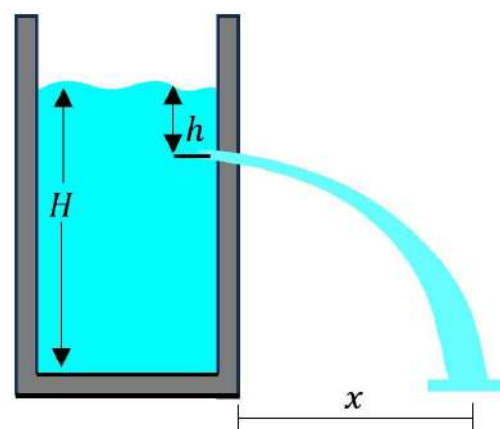
1. Pada daerah *intake* yang memiliki luas penampang sebesar $0,74 \text{ m}^2$, air mengalir dengan laju sebesar $0,4 \text{ m/s}$. Pada daerah *outlet* yang berada pada kedalaman $D = 180 \text{ m}$, air mengalir dengan laju sebesar $9,5 \text{ m/s}$. Tentukan perbedaan tekanan pada daerah *intake* dengan daerah *outlet*!



2. Air mengalir dengan laju sebesar 5 m/s di dalam sebuah pipa dengan luas penampang sebesar 4 cm^2 . Pipa tersebut mengarah ke bawah pada kedalaman 10 m dengan luas penampang di bawah sebesar 8 cm^2 . Tentukan:
 - (a) Laju lairan air di pipa bawah
 - (b) Apabila tekanan di atas adalah sebesar $1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$, berapa besar tekanan di bawah?
3. Suatu cairan mengalir melalui pipa mendatar (horizontal) yang memiliki jari-jari sebesar $0,02 \text{ m}$. Pipa tersebut berbelok ke atas hingga mencapai ketinggian 10 m dan dihubungkan dengan pipa horizontal lainnya yang memiliki jari-jari sebesar $0,04 \text{ m}$. Tentukan besar debit cairan agar tekanan pada kedua pipa horizontal tersebut sama besar! (Ingat bahwa debit adalah $Q = Av$)

4. Gambar di samping menunjukkan aliran air yang bocor dari sebuah lubang pada jarak $h = 10 \text{ cm}$ dari permukaan tangki. Ketinggian air di dalam tangki adalah $H = 40 \text{ cm}$. Anggap tangki sangat besar sehingga laju aliran air di permukaan tangki bisa dianggap nol. Tentukan:

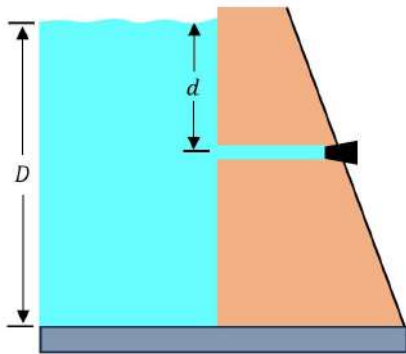
air.



- (a) Laju aliran air yang keluar dari tangki.
 - (b) Jarak yang ditempuh oleh aliran
5. Gambar di bawah menunjukkan suatu bendungan air yang memiliki kedalaman sebesar $D = 15 \text{ m}$. Sebuah pipa horizontal dengan diameter 4 cm berada pada

kedalaman $d = 6$ m dari permukaan bendungan air. Terdapat sebuah tutup penahan pada pipa sehingga air tidak bocor ke luar.

- Tentukan besar tekanan pada penutup pipa!
- Tentukan gaya gesek pada penutup pipa agar air tidak bocor!
- Apabila penutup pipa dilepas, tentukan laju air yang keluar!
- Tentukan berapa volume air yang keluar ketika penutup pipa dibuka selama 10 jam!



Lembar Jawaban



Kunci jawaban: 1.) $\Delta P = 1,7 \times 10^6 \text{ Pa}$ (a) $2,2 \text{ m/s}$ (d) $2,29 \times 10^2 \text{ Pa}$ (b) $1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
4.) (a) $\sqrt{2} \text{ m/s}$ (b) $0,34 \text{ m/s}^2$ (c) 60.000 Pa (d) $4,78 \times 10^5 \text{ N}$ (e) $10,92 \text{ m/s}$ (f) 4932 m^3



BAB 11

TEORI KINETIK GAS

Student Center for Learning
Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

Bab 11: Teori Kinetik Gas

11.1 Gas Ideal

Rangkuman Materi 11.1

Teori Kinetik Gas menghubungkan sifat makroskopis gas (misalnya tekanan dan suhu) dengan sifat mikroskopis molekul gas (misalnya kecepatan dan energi kinetik).

Bilangan Avogadro

Satu mol suatu zat mengandung satuan dasar N_A (bilangan Avogadro). Nilai N_A diperoleh secara eksperimental.

$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ (Bilangan Avogadro)}$$

Satu massa molar M suatu zat sama dengan massa satu mol zat tersebut. Hal ini terkait dengan massa m molekul individu suatu zat yang dihubungkan oleh persamaan

$$M = mN_A$$

Jumlah mol n yang terkandung dalam sampel bermassa M_{sam} , yang terdiri dari N molekul, diberikan oleh.

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{M_{\text{sam}}}{M} = \frac{M_{\text{sam}}}{mN_A}$$

Rangkuman Materi 11.2

Gas Ideal

Gas ideal adalah gas yang tekanan p , volume V , dan suhu T dihubungkan oleh persamaan gas ideal

$$pV = nRT \text{ (Persamaan Gas Ideal)}$$

dengan n merupakan jumlah mol gas dan $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$ adalah konstanta gas.

Persamaan gas udeal juga dapat dituliskan sebagai

$$pV = NkT$$

dengan k adalah konstanta Boltzmann yang bernilai

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Contoh Soal 11.1

Sebuah gelembung udara bervolume 20 cm^3 berada di dasar danau sedalam 40 m , dengan suhu 4° C . Gelembung naik ke permukaan, yang bersuhu 20° C . Jika suhu udara gelembung sama dengan suhu air di sekitarnya, ketika gelembung mencapai permukaan, berapakah volumenya?

Penyelesaian:

<p>Persamaan yang digunakan adalah persamaan gas ideal</p> $PV = nRT$ <p>Selain itu, persamaan ini juga dapat dituliskan</p> $\frac{PV}{T} = \text{konstan}$ <p>Artinya, keadaan awal dan keadaan akhir memiliki nilai $\frac{PV}{T}$ yang sama, atau</p> $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	<p>Gunakan hubungan gas ideal</p> $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ <p>Keadaan awal memiliki volume sebesar</p> $V_1 = 20 \text{ cm}^3$ <p>dan temperatur sebesar</p> $T_1 = 4 + 273 = 277 \text{ K}$
--	---

<p>Tekanan di dasar air perlu diperoleh dari tekanan hidrostatik</p> $P_1 = \rho gh + P_0$ <p>Dengan h merupakan kedalaman danau dan $P_0 = 1,01 \times 10^5$ Pa merupakan tekanan udara.</p>	<p>Tekanan awal memiliki nilai sebesar</p> $P_1 = \rho gh + P_0$ $P_1 = 1000 \times 10 \times 40 + 1,01 \times 10^5$ $P_1 = 400.000 + 101.000$ $P_1 = 501.000 \text{ Pa}$
	<p>Keadaan akhir memiliki temperatur sebesar</p> $T_2 = 20 + 273 \text{ K} = 293 \text{ K}$ <p>Sedangkan, tekanan di permukaan air danau adalah sebesar</p> $P_2 = P_0$ $P_2 = 101.000 \text{ Pa}$
<p>Cari nilai volume pada keadaan terakhir dengan persamaan gas ideal</p> $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	<p>Dari persamaan gas ideal, diperoleh</p> $\frac{501.000 \text{ Pa} \times 20 \text{ cm}^3}{277 \text{ K}} = \frac{101.000 \text{ Pa} \times V_2}{293 \text{ K}}$ $36173,28 \text{ cm}^3 = 344,71 V_2$ $V_2 = 104,94 \text{ cm}^3$

11.2 Laju Molekul dan Energi Kinetik Gas

Rangkuman Materi 11.3

Tekanan, Suhu, dan Kecepatan Molekul.

Tekanan yang diberikan oleh n mol gas ideal, dalam kaitannya dengan kecepatan molekulnya, adalah

$$p = \frac{nMv_{rms}^2}{3V}$$

dengan $v_{rms} = \sqrt{(v_{avg})^2}$ adalah akar rata-rata kuadrat kecepatan molekul gas, atau sama dengan

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$v_{avg} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \text{ (Kecepatan rata-rata)}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \text{ (Kecepatan yang paling mungkin)}$$

Rangkuman Materi 11.4

Suhu dan Energi Kinetik

Energi kinetik translasi rata-rata K_{avg} per molekul untuk gas ideal diberikan oleh

$$K_{avg} = \frac{3}{2}kT$$

Jalur Bebas Rata-rata

Jalur bebas rata-rata λ suatu molekul gas adalah panjang jalur rata-rata antar tumbukkan, diberikan oleh

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 N/V}$$

dengan N/V merupakan jumlah molekul per satuan volume dan d adalah diameter molekul.

Contoh Soal 11.2

Suatu gas dengan densitas massa sebesar $1,24 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ berada di dalam suatu wadah pada temperatur sebesar 273 K dan tekanan sebesar $1 \times 10^{-2} \text{ atm}$. Tentukan:

1. Laju rms v_{rms} dari molekul gas tersebut, dan
2. Massa molar gas.

Penyelesaian:

<p>Persamaan laju rms dari molekul gas diberikan oleh</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ <p>Ingat bahwa hubungan mol n dengan massa molar M adalah</p> $n = \frac{m}{M}$ <p>Sehingga,</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3nRT}{m}}$ <p>Kemudian, gunakan persamaan gas ideal</p> $PV = nRT$ <p>untuk memperoleh</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3PV}{m}}$ <p>Ingat juga bahwa rapat jenis dapat diperoleh melalui persamaan</p> $\rho = \frac{m}{V}$ <p>Sehingga</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$	<p>Hitung kecepatan rms dengan menggunakan persamaan</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$ <p>Diketahui tekanan</p> $P = 1 \times 10^{-2} \text{ atm}$ $P = 1 \times 10^{-2} \times 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$ $P = 1,01 \times 10^3 \text{ Pa}$ <p>Kemudian, diketahui rapat massa gas</p> $\rho = 1,24 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ $\rho = 1,24 \times 10^{-5} \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3}$ $\rho = 1,24 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$ <p>Sehingga, laju rms-nya adalah</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \times 1,01 \times 10^3}{1,24 \times 10^{-2}}}$ $v_{rms} = \sqrt{244354,84}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> $v_{rms} \approx 494,32 \text{ m/s}$ </div>
<p>Dengan menggunakan persamaan laju rms lagi,</p> $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ <p>dapat diperoleh massa molar gas</p> $M = \frac{3RT}{v_{rms}^2}$	<p>Massa molar gas</p> $M = \frac{3RT}{v_{rms}^2}$ $M = \frac{3 \times 8,314 \times 273}{(494,32)^2}$ $M \approx 0,02786 \text{ kg/mol}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> $M \approx 27,86 \text{ gr/mol}$ </div>

11.3 Kalor Jenis

Rangkuman Materi 11.5

Kalor Jenis Molar

Kalor jenis molar C_V suatu gas pada volume konstan didefinisikan sebagai

$$C_V = \frac{Q}{n\Delta T} = \frac{\Delta E_{int}}{n\Delta T}$$

dengan Q merupakan energi yang ditransfer sebagai panas (kalor) ke suatu sampel gas yang berjumlah n mol, ΔT adalah perubahan suhu pada gas, dan E_{int} adalah perubahan energi dalam gas. Untuk gas monoatomik ideal,

$$C_V = \frac{3}{2}R = 12,5 \text{ J/mol.K}$$

Kalor jenis molar C_P suatu gas pada tekanan konstan didefinisikan sebagai

$$C_P = \frac{Q}{n\Delta T}$$

dengan

$$C_P = C_V + R$$

Untuk n mol gas ideal,

$$E_{int} = nC_V T \text{ (gas ideal)}$$

Jika n mol gas ideal dalam keadaan terkurung mengalami perubahan suhu sebesar ΔT akibat suatu proses, maka perubahan energi dalam gas tersebut adalah

$$\Delta E_{int} = nC_V \Delta T \text{ (gas ideal, setiap proses)}$$

11.4 Derajat Kebebasan

Rangkuman Materi 11.6

Derajat Kebebasan dan C_V

Teorema ekuipartisi energi menyatakan bahwa setiap derajat kebebasan suatu molekul mempunyai energi sebesar $\frac{1}{2}kT$ per molekul ($= \frac{1}{2}RT$ per mol).

Jika f adalah banyaknya derajat kebebasan, maka

$$E_{int} = \left(\frac{f}{2}\right)nRT$$

dan

$$C_V = \left(\frac{f}{2}\right)R = 4,16f \text{ J/mol.K}$$

Untuk gas monoatomik, $f = 3$ (tiga derajat translasi); untuk gas diatomik, $f = 5$ (tiga derajat translasi dan dua derajat rotasi)

Proses Adiabatik

Ketika gas ideal mengalami perubahan volume adiabatik (perubahan $Q = 0$),

$$pV^\gamma = \text{konstan (proses adiabatik)}$$

dengan

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

adalah rasio kalor jenis molar gas. Namun, untuk ekspansi bebas, $pV = \text{konstan}$.

11.5 Latihan Soal

- Gas oksigen yang bervolume 1000 cm^3 pada suhu 40°C dan tekanan $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$ memuai hingga volumenya menjadi 1500 cm^3 dan tekanannya menjadi $1,06 \times 10^5 \text{ Pa}$. Tentukan:
 - Jumlah mol oksigen yang ada
 - Suhu akhir sampel
- Sebuah ban mobil mempunyai volume sebesar $1,64 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ dan berisi udara pada tekanan ukur (tekanan di atas tekanan atmosfer) sebesar 165 kPa pada suhu 0°C . Berapakah tekanan ukur udara dalam ban ketika suhu naik menjadi 27°C dan volumenya meningkat menjadi $1,67 \times 10^{-2} \text{ m}^3$? Asumsikan tekanan atmosfer adalah $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- Suhu dan tekanan di atmosfer matahari masing-masing adalah $2,00 \times 10^6 \text{ K}$ dan $0,03 \text{ Pa}$. Hitung kecepatan rms elektron bebas (massa elektron adalah $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$), dengan asumsi elektron tersebut merupakan gas ideal.
- Hitung kecepatan rms atom helium pada suhu 1000 K . Diketahui massa molar gas helium adalah $4,0026 \text{ g/mol}$.
- Tentukan nilai rata-rata energi kinetik translasi molekul gas ideal pada suhu (a) 0°C dan (b) 100°C . Berapa energi kinetik translasi per mol gas ideal pada (c) 0°C dan (d) 100°C ?



BAB 12

TERMODINAMIKA

Student Center for Learning

Fisika Dasar IA dan IB

FI1101/FI1102

Bab 12: Termodinamika

12.1 Hukum 1 Termodinamika

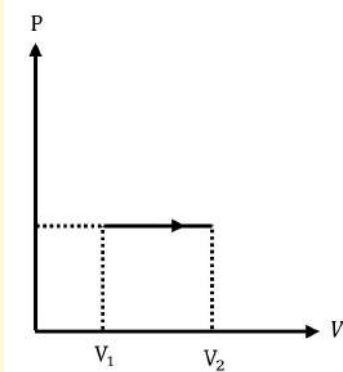
Rangkuman Materi 12.1

Hukum 1 termodinamika berbicara tentang kekekalan energi pada proses termodinamika yang secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = W + \Delta U$$

- W (usaha) = $\int_{V_1}^{V_2} P dV \rightarrow$ Luas di bawah grafik P terhadap V .
 - (+): Sistem melakukan kerja (W_{out}) \rightarrow Volume sistem bertambah
 - (-): Sistem menerima kerja (W_{in}) \rightarrow Volume sistem berkurang
- ΔU (Perubahan Energi Dalam) = $\frac{f}{2} nR\Delta T = C_V \Delta T$
 - (+): Temperatur sistem meningkat
 - (-): Temperatur sistem menurun
- $Q = W + \Delta U$ (Kalor)
 - (+): Sistem menyerap kalor (Q_{in})
 - (-): Sistem melepas kalor (Q_{out})

Rangkuman Materi 12.2

1. Isobarik (P konstan)


Usaha:

$$W_{\text{isobarik}} = \int P dV$$

$$W_{\text{isobarik}} = P\Delta V$$

$$W = nR\Delta T$$

Perubahan Energi Dalam:

$$\Delta U = \frac{f}{2} nR\Delta T = C_V \Delta T$$

Kalor:

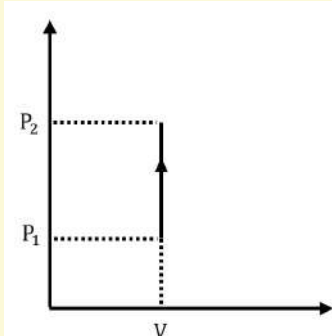
$$Q_{\text{isobarik}} = W_{\text{isobarik}} + \Delta U$$

$$Q_{\text{isobarik}} = P\Delta V + \frac{f}{2} nR\Delta T$$

$$Q_{\text{isobarik}} = nR\Delta T + C_V \Delta T$$

$$Q_{\text{isobarik}} = C_P \Delta T$$

Rangkuman Materi 12.3

2. Isokhorik (V konstan)


Usaha:

$$W_{\text{isokhorik}} = \int P dV = 0$$

Perubahan Energi Dalam:

$$\Delta U = \frac{f}{2} nR\Delta T = C_V \Delta T$$

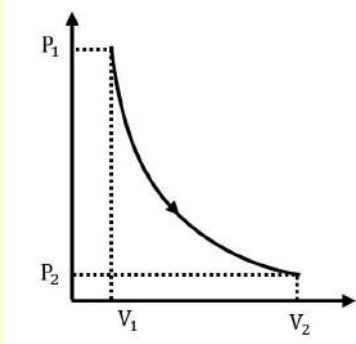
Kalor

$$Q_{\text{isokhorik}} = W_{\text{isokhorik}} + \Delta U$$

$$Q_{\text{isokhorik}} = \Delta U$$

$$Q_{\text{isokhorik}} = C_V \Delta T$$

Rangkuman Materi 12.4

Isotermal (T konstan)

Pada kasus isotermal, tekanan diberikan oleh persamaan (melalui persamaan gas ideal)

$$P = nRT \frac{1}{V}$$

karena T bernilai konstan, maka $P \sim \frac{1}{V}$ menyerupai grafik meluruh $f(x) = 1/x$.

Usaha:

$$W_{\text{isotermal}} = \int P dV$$

$$W_{\text{isotermal}} = \int_{V_i}^{V_f} nRT \frac{1}{V} dV$$

$$W_{\text{isotermal}} = nRT \ln \left| \frac{V_f}{V_i} \right|$$

Perubahan Energi Dalam:

$$\Delta U = \frac{f}{2} nR\Delta T = 0$$

Kalor:

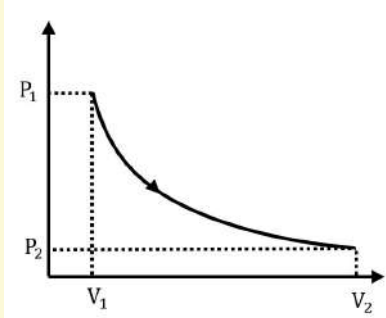
$$Q_{\text{isotermal}} = W_{\text{isotermal}} + \Delta U$$

$$Q_{\text{isotermal}} = W_{\text{isotermal}}$$

$$Q_{\text{isothermal}} = nRT \ln \left| \frac{V_f}{V_i} \right|$$

Rangkuman Materi 12.5

Adiabatik ($Q = 0$)



Khusus untuk kasus adiabatik, selain berlaku $PV = nRT$, juga berlaku:

$$PV^\gamma = \text{konstan}$$

Sehingga,

$$P = \text{konstan} \frac{1}{V^\gamma}, \quad \gamma > 1$$

Maka, bentuk kurva pada grafik $P - V$ untuk kasus adiabatik "mirip" dengan grafik $P - V$ isothermal tapi lebih curam karena $\gamma > 1$.

Usaha:

$$Q_{\text{adiabatik}} = W_{\text{adiabatik}} + \Delta U$$

$$0 = W_{\text{adiabatik}} + \Delta U$$

$$W_{\text{adiabatik}} = -\Delta U$$

Perubahan Energi Dalam:

$$\Delta U = \frac{f}{2} nR\Delta T = C_V \Delta T$$

Rangkuman Materi 12.6

Rangkuman proses-proses termodinamika:

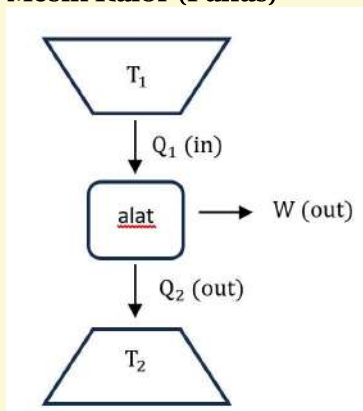
	Isobarik	Isokhorik	Isotermal	Adiabatik	Bukan ke-4 nya
W	$P\Delta V$ $nR\Delta T$	0	$nRT \ln \left \frac{V_f}{V_i} \right $	$-\Delta U$	$\int PdV$ (Hitung luas)
ΔU	$\frac{f}{2}nR$ $C_V\Delta T$	$\frac{f}{2}nR$ $C_V\Delta T$	0	$\frac{f}{2}nR$ $C_V\Delta T$	$\frac{f}{2}nR$ $C_V\Delta T$
Q	$C_P\Delta T$	$C_V\Delta T$	W $nRT \ln \left \frac{V_f}{V_i} \right $	0	$W + \Delta U$

12.2 Mesin Termodinamika

Rangkuman Materi 12.7

Mesin termodinamika adalah mesin yang memanfaatkan transfer panas (kalor). Secara umum mesin termodinamika dapat dibedakan menjadi:

1. Mesin Kalor (Panas)



Konsep dari mesin panas (kalor) adalah memanfaatkan perpindahan panas dari reservoir panas ke reservoir dingin untuk menghasilkan kerja (work).

Contoh mesin panas: Mesin motor, Mesin mobil, dll.

$$Q_{in} = W + Q_{out}$$

$$W = Q_{in} - Q_{out}$$

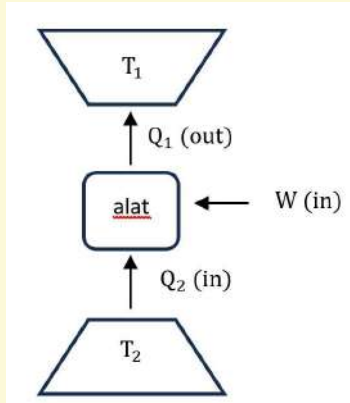
Efisiensi mesin kalor:

$$\eta = \frac{\text{apa yang diharapkan}}{\text{apa yang diberikan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{in}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{in}}} \times 100\%$$

2. Mesin Pendingin



Konsep dari mesin pendingin adalah membuat keadaan yang dingin menjadi semakin dingin (menurunkan temperatur rendah menjadi semakin rendah).

Contoh mesin pendingin: AC, Kulkas, dll.

$$Q_{\text{in}} + |W| = |Q_{\text{out}}|$$

$$|W| = |Q_{\text{out}}| - Q_{\text{in}}$$

Efisiensi mesin pendingin:

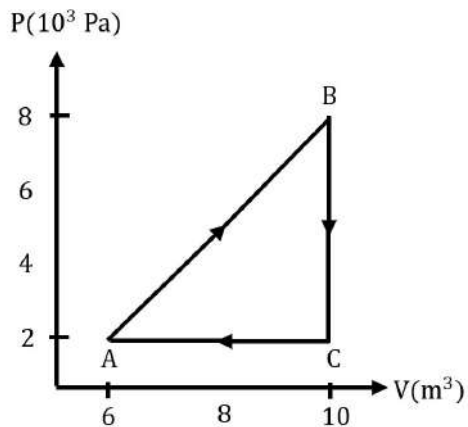
$$\eta = \frac{\text{apa yang diharapkan}}{\text{apa yang diberikan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{in}}}{|W|} \times 100\%$$

Contoh Soal 12.1 UAS 2012

Dua mol gas ideal ($\gamma = \frac{5}{3}$) menjalani suatu proses siklus ABCA seperti pada gambar di bawah. Hitunglah:

1. Temperatur untuk setiap keadaan A, B, C
2. Kalor (Q), kerja (W), dan perubahan energi dalam (ΔU) pada setiap proses AB, BC, CA
3. Efisiensi siklus tersebut dalam %



Untuk menjawab soal termodinamika dengan model siklus, akan sangat mudah apabila terlebih dahulu membuat tabel keadaan:

	A	B	C
P (Pa)	2000	8000	2000
V (m^3)	6	10	10
T (K)	$\frac{12.000}{nR}$	$\frac{80.000}{nR}$	$\frac{20.000}{nR}$

Dari tabel tersebut diperoleh:

a) Temperatur:

$$T_A = \frac{12.000}{(2)(8,314)} = 721,674 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{80.000}{(2)(8,314)} = 4796,163 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{20.000}{(2)(8,314)} = 1199,040 \text{ K}$$

b) Untuk menjawab soal (b), akan sangat mudah apabila dibuat tabel proses termodinamika. Isian tabel berupa nilai W dan ΔU dihitung untuk setiap proses dan nilai Q dapat diperoleh dari penjumlahan antara W dengan ΔU .

Proses AB:

• Usaha:

$$W_{AB} = \int P dV \rightarrow \text{Luas di bawah kurva}$$

$$W_{AB} = \frac{(2000 + 8000) \cdot 4}{2} = 20.000 \text{ J}$$

- Perubahan energi dalam:

$$\Delta U_{AB} = \frac{f}{2} nR\Delta T$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} nR \left(\frac{80.000 - 12.000}{nR} \right) = 102.000 \text{ J}$$

Proses BC:

- Usaha:

$$W_{BC} = 0 \text{ (isobarik)}$$

- Perubahan energi dalam:

$$\Delta U_{BC} = \frac{f}{2} nR\Delta T$$

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2} nR \left(\frac{20.000 - 80.000}{nR} \right) = -90.000 \text{ J}$$

Proses CA:

- Usaha:

$$W_{CA} = nR\Delta T$$

$$W_{CA} = nR \left(\frac{12.000 - 20.000}{nR} \right) = -8000 \text{ J}$$

- Perubahan energi dalam:

$$\Delta U_{CA} = \frac{f}{2} nR\Delta T$$

$$\Delta U_{CA} = \frac{3}{2} nR \left(\frac{12.000 - 20.000}{nR} \right) = -12.000 \text{ J}$$

Dari nilai-nilai yang diperoleh, tabel prosesnya menjadi:

	A → B	B → C (isokhorik)	C → D (isobarik)
W	20.000 J	0	-8000 J
ΔU	102.000 J	-90.000 J	-12.000 J
Q	122.000 J	-90.000 J	-20.000 J

- c) Efisiensi:

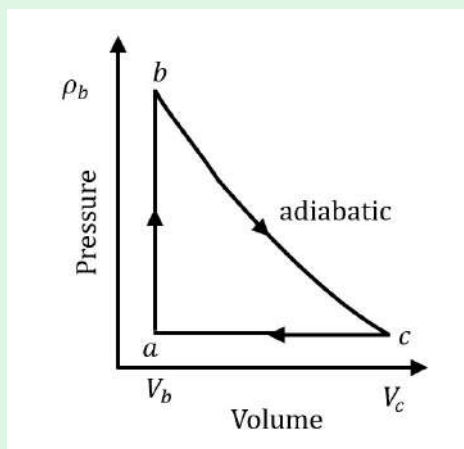
$$\eta = \frac{W_{\text{total}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{12.000}{122.000} \times 100\% = 9,83\%$$

Contoh Soal 12.2

Gambar di bawah menjelaskan proses siklus reversibel dari 1 mol gas ideal monoatomik. Diketahui $V_c = 8V_b$. Proses BC merupakan ekspansi adiabatik dengan $P_b = 10 \text{ atm}$ dan $V_b = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Hitunglah:

- Kalor yang ditambahkan (Q_{in})
- Kalor yang dilepas (Q_{out})
- Total kerja yang dilakukan oleh gas
- Efisiensi mesin



Untuk mempermudah menjawab, seperti soal sebelumnya, buat terlebih dahulu tabel keadaan dan tabel proses untuk siklus tersebut. Sebagai latihan, hitung sendiri bagaimana cara memperoleh angka pada masing-masing kolom tabel!

Tabel keadaan:

	A	B	C
P (Pa)	$0,3125 \times 10^5$	10×10^5	$0,3125 \times 10^5$
V (m^3)	10^{-3}	10^{-3}	8×10^{-3}
T (K)	$\frac{31,25}{nR}$	$\frac{1000}{nR}$	$\frac{250}{nR}$

Perhatikan bahwa nilai P_C diperoleh dari proses adiabatik dari B ke C. Ingat bahwa proses adiabatik memenuhi persamaan

$$P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma; \quad \gamma = \frac{5}{3}$$

sehingga

$$P_C = P_B \left(\frac{V_B}{V_C} \right)^\gamma = 10 \times 10^5 \left(\frac{1}{8} \right)^\gamma \approx 0,3125 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Berikutnya, tabel prosesnya adalah:

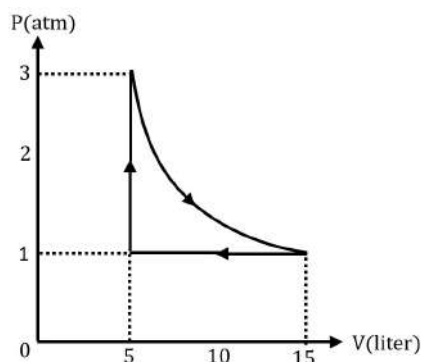
	AB (isokhorik)	BC (adiabatik)	CA (isobarik)
W	0	1125 J	-218,75 J
ΔU	1453,125 J	-1125 J	-328,125 J
Q	1453,125 J	0	-546,875 J

Dari sini dapat dijawab komponen-komponen soal:

- $Q_{\text{in}} = 1453,125 \text{ J}$
- $Q_{\text{out}} = -546,875 \text{ J}$
- $W_{\text{total}} = 0 + 1125 + (-218,75) = 906,25 \text{ J}$
- $\eta = \frac{W_{\text{total}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% = 62,365 \text{ J}$

12.3 Soal Latihan

- Sejumlah udara ($\gamma = 1,4$) berekspansi secara adiabatik dari tekanan awal 2 atm dan volume 2L pada temperatur 20°C menjadi 2 kali volume awal. Tentukan:
 - Tekanan akhir
 - Temperatur akhir
 - Usaha yang dilakukan oleh gas
- Suatu mesin berisi gas ideal monoatomik dengan nilai volume dan tekanan seperti pada gambar. Pada tekanan A, $T_A = 300 \text{ K}$, mengalami proses isokhorik menuju keadaan B dengan suhu T_B . Diketahui perubahan energi dalam pada proses AB adalah 1520 J. Selanjutnya, gas mengalami proses isothermal menuju keadaan C dan kembali ke keadaan A melalui proses isobarik (lihat gambar). Hitunglah:



- Jumlah mol dan T_B
 - Usaha W_{AB}, W_{BC}, W_{CA} . Jelaskan apa makna dari tanda positif dan negatif!
 - Hitunglah Q_{in} dan Q_{out}
 - Hitunglah efisiensi mesin
- [UTS 2015] Dua mol gas ideal monoatomik mengalami proses dari keadaan A dengan volume 10L ke keadaan B dengan volume 20L dengan menjaga tekanan bernilai tetap yaitu sebesar $5 \times 10^5 \text{ Pa}$. Kemudian, gas mengalami proses dari keadaan B ke keadaan C yang mengakibatkan terjadinya penambahan volume



**Keberhasilan itu
bukanlah selalu milik
orang yang pintar**

**Namun keberhasilan
itu ialah milik orang
yang senantiasa
berusaha**

