



“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal”.

QS. Ali Imran : 190

MODUL FISIKA KELAS XI

SMA MUHAMMADIYAH 1
YOGYAKARTA

Disusun oleh : MGMP FISIKA MUHI





PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Modul Fisika kelas XI Semester 1 ini terdiri dari 6 materi pembelajaran yang disusun sedemikian rupa dengan kegiatan pembelajaran serta metode pembelajaran yang telah disesuaikan. Harapannya modul ini memberikan penguatan bagi ananda dalam kegiatan pembelajaran daring, luring maupun tatap muka sehingga terciptanya proses belajar mengajar yang efisien dan efektif. Kegiatan pembelajaran tersebut meliputi Dinamika Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar, Elastisitas Bahan, Fluida Statis, Fluida Dinamis, Suhu dan Kalor, Serta Teori Kinetik Gas.

Modul ini disusun sebagai implementasi pengembangan kurikulum SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta guna menghadapi terpaan pandemic COVID-19 dan meningkatkan produktivitas serta kreativitas guru dalam menyiapkan media pembelajaran yang menarik, relevan bagi ananda. Modul ini dapat dipakai khususnya di semester awal pada mata pelajaran Fisika.

B. Prasyarat

Kemampuan awal yang dipersyaratkan dalam modul ini adalah Ananda sudah memiliki kemampuan dasar matematika, dan keinginan untuk berproses dalam mempelajari fisika.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini disusun sebagai suplemen dan penguatan bagi Ananda dalam mempelajari, memahami serta menyelesaikan masalah fisika dalam kehidupan sehari-hari. Petunjuk penggunaan modul ini sangat sederhana. Langkah-langkah belajar yang ditempuh, peserta dapat mempelajari dari uraian materi beserta petunjuk demonstrasi sederhana sesuai dengan arahan atau petunjuk pada materi tersebut (yang akan memberi ruang Ananda untuk lebih mengeksplorasi dan berfikir), materi didukung dengan virtual lab yang diiutsertakan dengan link dalam materi sehingga ananda memiliki gambaran praktikum secara real. Modul dilengkapi dengan latihan soal, tes formatif dan petunjuk praktikum sederhana yang dapat dicoba oleh ananda dalam meningkatkan kompetensi pengetahuan dan keterampilan fisika ananda



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR	ii
PENDAHULUAN	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I DINAMIKA ROTASI DAN KESETIMBANAN BENDA TEGAR	3
Momen Gaya	3
Momen Inersia	4
Hubungan Momen Gaya dan Momen Inersia	6
Hukum Newton II pada Gerak Rotasi	7
Momentum Sudut.....	12
Keseimbangan Benda Tegar.....	15
Titik Berat.....	17
UJI KOMPETENSI.....	20
BAB II ELASTISITAS BAHAN.....	27
Benda Elastis dan Tidak Elastis	27
Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastis	28
Elastisitas pada Pegas.....	31
Hukum Hooke untuk Susunan Pegas.....	32
UJI KOMPETENSI.....	38
BAB III FLUIDA STATIS.....	42
Tekanan.....	43
Hukum Pokok Hidrostatik	44
Hukum Pascal.....	46
Hukum Archimedes.....	47
Aplikasi Hukum Archimedes dalam Kehidupan Sehari-hari	49
Tegangan Permukaan Zat Cair	51
Kapilaritas	52
Viskositas Fluida	54
UJI KOMPETENSI.....	58
BAB IV FLUIDA DINAMIS.....	62
Debit	62
Kontinuitas	63



Hukum Bernoulli.....	64
Aplikasi Hukum Bernoulli.....	65
UJI KOMPETENSI.....	73
BAB V SUHU DAN KALOR....	78
Suhu	78
Kalor	78
Pemuaian Zat.....	82
Perpindahan Kalor	83
UJI KOMPETENSI.....	86
BAB VI TEORI KINETIK GAS....	90
Gas Ideal	90
Prinsip Ekuipartisi Energi	94
UJI KOMPETENSI.....	98
PENUTUP	102

PEMBELAJARAN

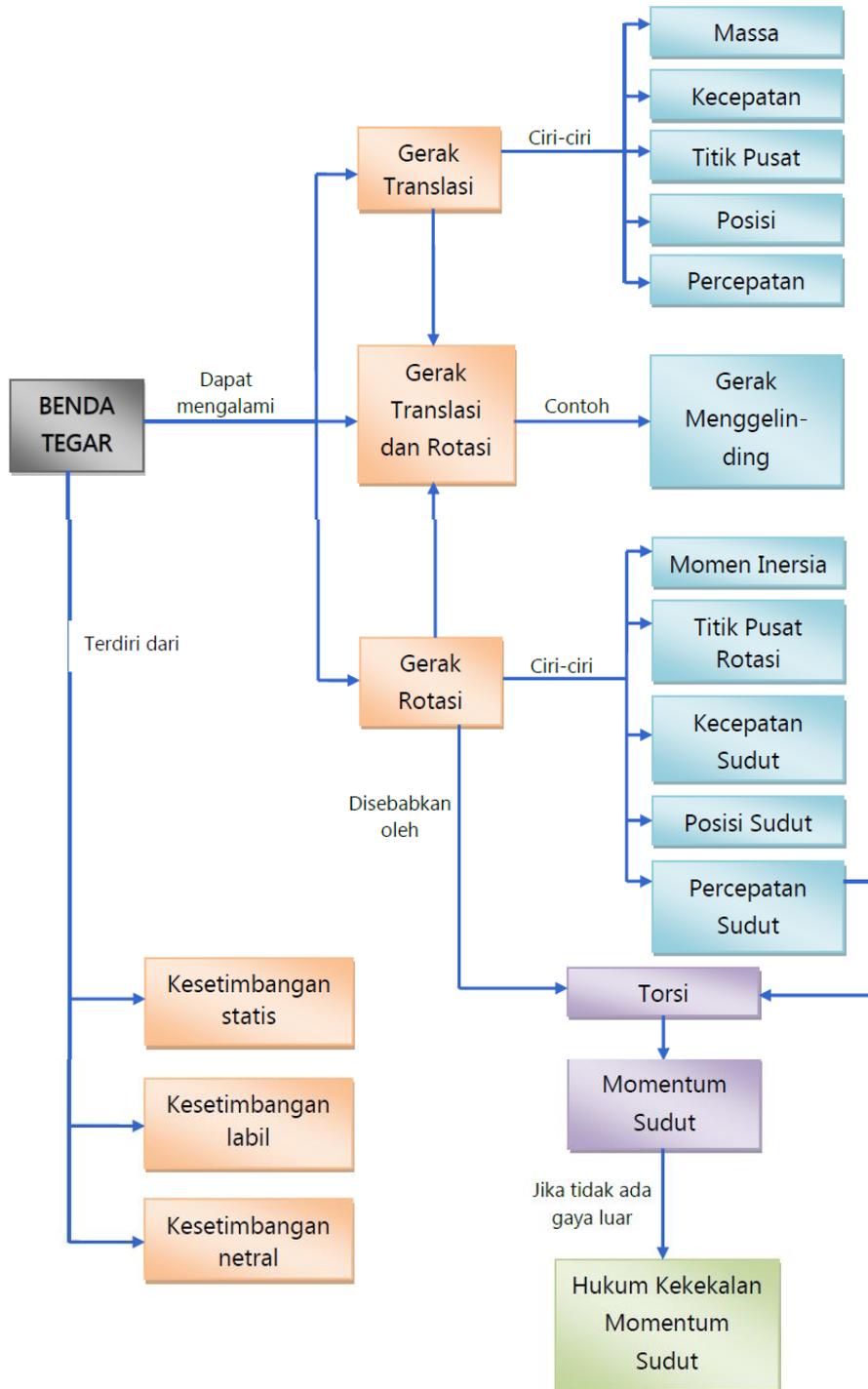
KOMPETENSI DASAR DAN INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Kompetensi Dasar	Indikator
3.1 Menerapkan konsep torsi, momen inersia, titik berat, dan momentum sudut pada benda tegar (statis dan dinamis) dalam kehidupan sehari-hari misalnya dalam olahraga	<p>3.1.1 Mendefinisikan momen gaya melalui pengamatan demonstrasi mendorong benda dengan posisi gaya yang berbeda-beda.</p> <p>3.1.2 Memahami penerapan keseimbangan benda titik, benda tegar dengan menggunakan resultan gaya dan momen gaya,</p> <p>3.1.3 Memahami penerapan konsep momen inersia, dinamika rotasi</p> <p>3.1.4 Memahami penerapan hukum kekekalan momentum pada gerak rotasi.</p> <p>3.1.5 Mengolah data hasil percobaan ke dalam grafik</p> <p>3.1.6 Menentukan persamaan grafik</p> <p>3.1.7 Menginterpretasi data dan grafik untuk menentukan karakteristik keseimbangan benda tegar</p> <p>3.1.8 Mempresentasikan hasil percobaan tentang titik berat</p>
4.1 Membuat karya yang menerapkan konsep titik berat dan kesetimbangan benda tegar	<p>4.1.1 Membuat karya yang menerapkan konsep titik berat dan kesetimbangan benda tegar</p> <p>4.1.2 Mempresentasikan hasil percobaan tentang titik berat</p>

TUJUAN PEMBELAJARAN

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peserta didik dapat menerapkan konsep torsi, momen inersia, titik berat, dan momentum sudut pada benda tegar (statis dan dinamis) dalam kehidupan sehari-hari misalnya dalam olahraga dan membuat karya yang menerapkan konsep titik berat dan kesetimbangan benda tegar, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

PETA KONSEP

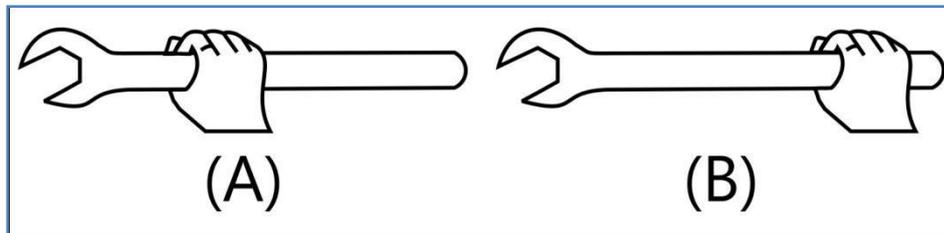


BAB I

Dinamika Rotasi dan Keseimbangan Benda Tegar

MOMEN GAYA (TORSI)

Sebuah benda memerlukan gaya untuk dapat melakukan rotasi terhadap porosnya. Semakin besar gaya yang dilakukan, maka semakin besar pula kecepatan sudutnya. Dalam kehidupan sehari-hari, penerapan gaya yang digunakan untuk memutar suatu benda salah satunya adalah memutar baut dengan menggunakan kunci Inggris. Seperti pada Gambar 1, semakin besar gaya yang dikeluarkan oleh pekerja untuk memutar baut, maka semakin mudah baut/kunci Inggris itu berputar. Pekerja tersebut juga akan merasa lebih ringan saat memutar baut, apabila menempatkan tangan lebih menjauhi poros putaran (baut).



Gambar 1. (A) Kunci Inggris yang Diputar oleh Tangan yang Dekat dengan Poros Putar
(B) Kunci Inggris yang Diputar oleh Tangan yang Jauh dari Poros Putar

Jarak antara posisi gaya terhadap sumbu putar kunci Inggris dapat disebut sebagai **lengan gaya/lengan momen**. Kecenderungan gaya untuk membuat sebuah benda bergerak melingkar terhadap sumbu putarnya dapat disebut dengan **torsi**. Besar torsi τ oleh sebuah gaya F yang bekerja tegak lurus pada benda dengan jarak r dari sumbu putar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = r \times F$$

Jika gaya yang diberikan tidak tegak lurus terhadap benda, maka lengan gaya digambarkan sebagai jarak **tegak lurus** antara sumbu rotasi dengan garis perpanjangan yang ditarik sepanjang garis gaya. Besar torsi yang dikerjakan oleh gaya tersebut dapat diketahui dengan menguraikan gaya yang bekerja menjadi komponen sumbu-x dan sumbu-y. Pada persamaan tersebut, nilai sudut yang digunakan yaitu sudut yang terbentuk antara gaya dengan lengan gaya, sehingga persamaan $\tau = r \times F$ dapat berubah fungsi menjadi fungsi sin atau fungsi cos tergantung sudut yang terbentuk antara gaya dengan lengan gaya dengan persamaan :

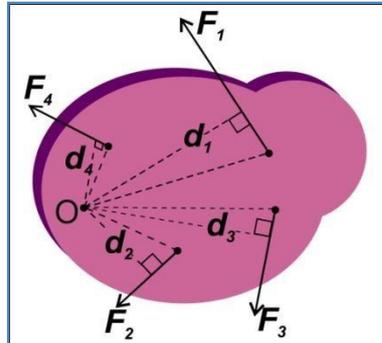
$$\tau = r F \sin \theta$$

atau

$$\tau = r F \cos \theta$$

Apabila terdapat 4 gaya yang bekerja pada suatu benda, seperti Gambar 2, masing-masing gaya dapat mengakibatkan benda berotasi terhadap sumbu O.

Gaya F_1 dan F_4 cenderung membuat benda berotasi berlawanan arah jarum jam, sedangkan gaya F_2 dan gaya F_3 cenderung membuat benda berotasi searah jarum jam



Gambar 2. Sebuah Benda yang Dikenai Gaya F_1 , F_2 , F_3 , dan F_4 .

Sebagai perjanjian, torsi bernilai positif (+) jika menyebabkan benda berotasi searah jarum jam, sedangkan torsi bernilai negatif (-) jika menyebabkan benda berotasi berlawanan arah jarum jam. Torsi total yang bekerja pada Gambar 1.3 dinyatakan sebagai jumlah vektor dari setiap torsi, sehingga secara matematis ditulis sebagai berikut :

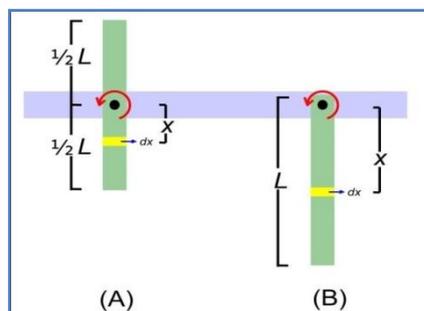
$$\Sigma \tau_T = \tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4$$

MOMEN INERSIA

Momen inersia merupakan ukuran kemampuan suatu benda mempertahankan keadaan terhadap perubahan dalam gerak rotasinya. Momen inersia sifatnya sama seperti massa pada sistem gerak linier, yaitu merupakan ukuran kecenderungan suatu benda melawan perubahan. Momen inersia (I) partikel merupakan hasil kali antara massa partikel m dengan kuadrat jarak tegak lurus dari sumbu rotasi ke partikel r^2 . Persamaan momen inersia partikel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I = m r^2$$

Nilai momen inersia benda-benda tegar dengan berbagai bentuk yang massanya tidak terkonsentrasi pada pusat massanya, seperti silinder, batang, bola dapat diketahui dengan menggunakan distribusi massa kontinu dalam bentuk integral.



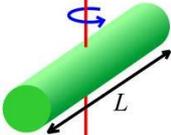
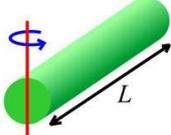
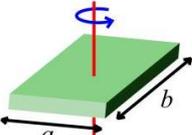
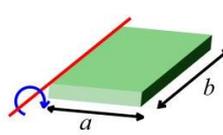
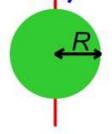
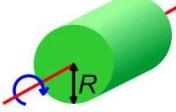
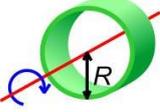
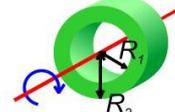
Gambar 3. (A) Batang Homogen dengan Sumbu Rotasi di Tengah Batang
(B) Batang Homogen dengan Sumbu Rotasi di Salah Satu Ujung Batang

Sebuah batang homogen memiliki panjang L dan massa M seperti pada Gambar 3. Pada Gambar 3.A, batang tersebut memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap batang melalui pusat massanya. Besar momen inersia batang yang terdapat pada Gambar 3.A dapat diketahui sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{12} ML^2$$

Nilai momen inersia pada batang tersebut dapat berubah apabila letak sumbu putarnya berpindah. Batang homogen dengan sumbu putar tegak lurus terhadap batang yang terletak di salah satu ujung batang, memiliki persamaan :

$$I = \frac{1}{3} ML^2$$

Batang Silinder	Batang Silinder	Pelat Segi Empat	Pelat Segi Empat
			
$I = \frac{1}{12} ML^2$	$I = \frac{1}{3} ML^2$	$I = \frac{1}{2} M(a^2 + b^2)$	$I = \frac{1}{3} Ma^2$
Bola Pejal	Silinder Pejal	Silinder Tipis Berrongga	Silinder Berrongga
			
$I = \frac{2}{5} MR^2$	$I = \frac{1}{2} MR^2$	$I = MR^2$	$I = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$

Gambar 4. Ringkasan Momen Inersia untuk Beberapa Benda Tegar

Teorema sumbu sejajar menyatakan bahwa momen inersia suatu benda terhadap sumbu yang sejajar dan berjarak D dari sumbu yang berada di pusat massa. Momen inersia suatu benda tegar dengan bentuk sederhana/simetris relatif lebih mudah dihitung, jika poros putarnya sama dengan sumbu simetrinya. Perhitungan momen inersia terhadap suatu sumbu rotasi sembarang termasuk sangat sulit, meskipun benda yang berbentuk simetris. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan teorema sumbu sejajar.

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

Momen Inersia (I) setiap partikel bergantung pada massa (m) partikel itu dan kuadrat jarak (r^2) partikel dari sumbu rotasi. Total massa semua partikel yang menyusun benda sama dengan massa benda itu. Jarak setiap partikel ke sumbu rotasi berbeda-beda. Momen inersia dari benda tersebut dapat diketahui dengan menjumlahkan momen inersia dari setiap partikel tersebut seperti persamaan berikut:

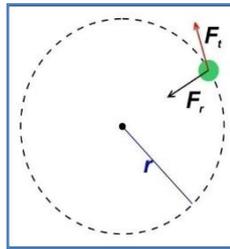
$$I = \sum_i m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_i r_i^2$$

HUBUNGAN MOMEN GAYA DENGAN MOMEN INERSIA

Gaya netto dari suatu benda menyebabkan percepatan benda dan bahwa percepatan benda tersebut sebanding dengan gaya netto nya (Hukum Newton II). Hal tersebut juga berlaku pada peristiwa gerak melingkar, yaitu percepatan sudut dari benda kaku yang berotasi terhadap suatu sumbu tetap sebanding dengan torsi netto yang bekerja pada sumbu tersebut.

Misalkan sebuah partikel bermassa m berotasi pada lintasan dengan jari-jari lintasan r akibat pengaruh gaya tangensial F_t seperti yang terdapat pada Gambar 6. Gaya F_t menghasilkan percepatan tangensial a_t , sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$F_t = ma_t$$



Gambar 5. Sebuah Partikel Berotasi Akibat Pengaruh Gaya F_t dan Gaya F_r

Besar torsi terhadap pusat rotasi akibat gaya F_t , yaitu :

$$\tau = r \times F_t$$

$$\tau = r \times ma_t$$

$$\tau = r \times m \alpha r$$

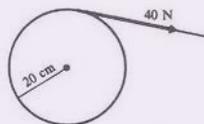
$$\tau = mr^2 \times \alpha$$

$$\tau = I \times \alpha$$

Berdasarkan Persamaan di atas, dapat diketahui bahwa nilai torsi yang bekerja pada suatu partikel berbanding lurus dengan nilai percepatan sudutnya, dan nilai momen inersia partikel sebagai konstanta kesebandingannya.

LATIHAN SOAL

1. Pada gambar menunjukkan gaya 40 N yang dikerjakan secara tangensial pada tepi roda berjari-jari 20 cm, dan bermomen inersia 30 kg . m².

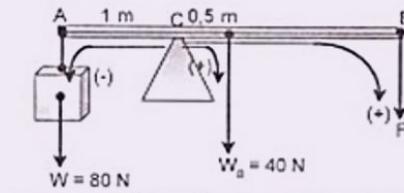


Tentukan momen gaya τ yang dimiliki benda tersebut!

Penyelesaian :

$$\tau = F r = (40)(0,2) = 8 \text{ Nm}$$

2. Batang AB yang massanya 4 kg dan panjang 3 m diberi penopang pada jarak 1 m dari ujung A. Pada ujung A diberi beban 80 N.



Agar batang seimbang, maka di ujung B harus diberi gaya sebesar ?

Penyelesaian :

$$W_{\text{batang}} = 4 \cdot 10 = 40 \text{ N (di tengah – tengah)}$$

Jadi gaya – gaya yang bekerja terlihat seperti pada gambar berikut

$$\sum \tau = 0$$

$$F(2) + (40)(0,5) - (80)(1) = 0$$

$$2F = 60$$

$$F = 30 \text{ N}$$

3. Sebuah partikel bermassa 2 kg diikatkan pada seutas tali yang panjangnya 0,5 meter. Berapa momen Inersia partikel tersebut jika diputar ?

Penyelesaian :

(Dalam soal ini kita membahas tentang rotasi partikel, bukan benda tegar. Jadi bisa dianggap massa benda terkonsentrasi pada pusat massanya)

Momen inersianya :

$$I = mr^2$$

$$I = (2 \text{ kg}) (0,5\text{m})^2$$

$$I = 0,5 \text{ kg m}^2$$

4. Baling – baling suatu pesawat bermassa 70 kg dengan radius girasi 75 cm. Berapakah momen inersia baling – baling itu? Agar baling – baling dapat dipercepat dengan percepatan sudut sebesar 4 put/s², berapakah torsi yang diperlukan?

Penyelesaian :

$$I = MR^2 = (70 \text{ kg}) (0,75 \text{ m})^2 = 39 \text{ kgm}^2$$

Dengan menggunakan $\tau = I a$, dan a harus dalam rad/s²

$$a = (4 \text{ put / s}^2) (2 \pi \text{ rad/putaran}) = 8 \pi \text{ rad/s}^2$$

Maka,

$$\tau = I a = (39 \text{ kgm}^2) (8 \pi \text{ rad/s}^2) = 990 \text{ Nm}$$

HUKUM NEWTON II PADA GERAK ROTASI

Sebuah benda bermassa (m) yang bergerak dengan kecepatan (v) akan memiliki energi kinetik (EK). Pada gerak rotasi, sebuah benda bermassa m yang berotasi terhadap suatu poros juga memiliki energi kinetik yang disebut **energi kinetik rotasi**. Persamaan energi kinetik rotasi dapat diperoleh dari persamaan energi kinetik pada gerak translasi (gerak lurus).

$$EK = \frac{1}{2}mv^2$$

karena $v = r\omega$, maka persamaan di atas menjadi :

$$EK = \frac{1}{2}mr^2\omega^2$$

dan karena $I = mr^2$ maka

$$EK = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Energi kinetik yang dimiliki benda yang menggelinding merupakan penjumlahan dari energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi, sehingga

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Pada benda yang menggelinding dari ketinggian tertentu, selain mempunyai energi kinetik, ia juga memiliki energi potensial. Energi total yang dimiliki benda merupakan energi mekanik yang dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$EM = EP + EK_{translasi} + EK_{rotasi}$$
$$EM = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

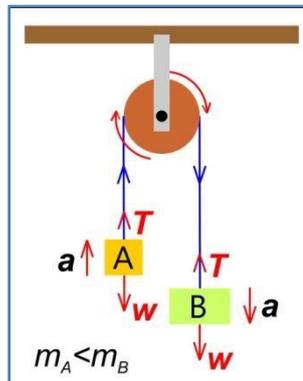
A. Katrol

Gerak rotasi pada katrol merupakan salah satu penerapan dari Hukum Newton II pada gerak rotasi. Katrol bergerak rotasi berporos pada sumbunya saat digunakan untuk mengangkat/menaruh benda. Gaya (F) yang dikerjakan pada tali menyinggung katrol menyebabkan katrol berotasi. Persamaan $\tau = I\alpha$ apabila diterapkan pada gerak katrol, maka diperoleh:

$$rF - rf = I\alpha$$

Jika katrol licin, maka :

$$rF = I\alpha$$



Gambar 2.1 Representasi Sistem Kerja Katrol

Perhatikan Gambar 2.1 ada 2 kemungkinan gerak benda pada Katrol yang berotasi yaitu gerak ke atas dan gerak ke bawah.

a. Gerak Benda ke Atas

Saat bergerak ke atas, berlaku persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ F - w &= ma \\ F &= ma + w \\ F &= ma + mg\end{aligned}$$

Substitusi Persamaan di atas ke dalam Persamaan $rF = I\alpha$ sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}r(ma + mg) &= I\alpha \\ rm(\alpha r) + rm g &= I\alpha \\ mr^2 \alpha + mgr &= I\alpha \\ mgr &= (I - mr^2) \alpha \\ \alpha &= \frac{mgr}{I - mr^2}\end{aligned}$$

b. Gerak Benda ke Bawah

Saat bergerak ke bawah, berlaku persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ w - F &= ma \\ F &= w - ma \\ F &= mg - ma\end{aligned}$$

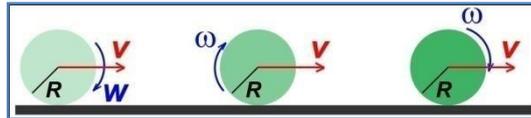
Substitusi Persamaan di atas ke dalam Persamaan $rF = I\alpha$ sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}r(mg - ma) &= I\alpha \\ rm g - rm(\alpha r) &= I\alpha \\ mgr - mr^2 \alpha &= I\alpha \\ mgr &= (I + mr^2) \alpha \\ \alpha &= \frac{mgr}{I + mr^2}\end{aligned}$$

B. Benda Menggelinding pada Lintasan Datar

Perhatikan Gambar 2.2, sebuah bola terletak pada bidang datar yang diberi gaya F , sehingga menggelinding pada lintasan datar. Agar dapat menggelinding, maka bidang datar harus kasar. Menurut Hukum Newton II, besarnya gerak translasi benda yang menggelinding pada lintasan datar dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma F &= ma \\ F - f &= ma \end{aligned}$$



Gambar 2.2 Sebuah Bola Menggelinding pada Lintasan Datar

Dari semua gaya yang bekerja pada benda dalam gerak rotasi, hanya gaya gesek yang menghasilkan momen inersia. Jadi, momen gaya ini akan menyebabkan benda bergerak rotasi pada porosnya. Persamaan momen gaya pada gerak rotasi benda yang menggelinding pada lintasan datar adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tau &= I\alpha = fr \\ f &= \frac{I\alpha}{r} \end{aligned}$$

Substitusi Persamaan di atas ke dalam Persamaan $F - f = ma$ sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} F - \frac{I\alpha}{r} &= ma \\ F - \frac{I\alpha}{r} &= m\alpha r \\ F &= m\alpha r + \frac{I\alpha}{r} \\ F &= \left(mr + \frac{I}{r}\right)\alpha \\ \alpha &= \frac{F}{mr + \frac{I}{r}} \end{aligned}$$

Energi kinetik yang dimiliki benda yang menggelinding merupakan penjumlahan dari energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi.

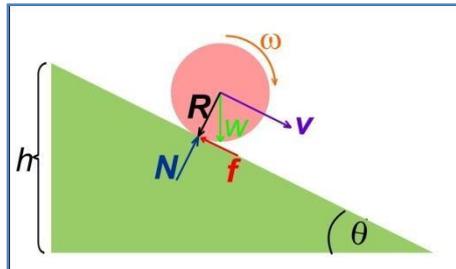
$$\begin{aligned} EK &= EK_{translasi} + EK_{rotasi} \\ EK &= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \end{aligned}$$

C. Benda Menggelinding pada Lintasan Miring

Secara konsep, benda yang menggelinding pada lintasan miring mirip dengan benda yang menggelinding pada lintasan datar. Perbedaannya terletak pada gaya yang bekerja pada benda harus disesuaikan dengan sudut kemiringan lintasan. Menurut Hukum Newton II, besarnya gerak translasi benda yang menggelinding pada lintasan miring dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Sigma F = ma$$

$$F \sin \alpha - f = ma$$



Gambar 2.3 Sebuah Bola Menggelinding pada Lintasan Miring Kasar

Pada Gambar 2.3, Gaya gesekan antara lintasan dengan bola mengerjakan torsi yang menambah kecepatan sudut bola, sehingga bola tetap menggelinding saat dipercepat menuruni bidang miring.

Momen gaya pada gerak rotasi benda yang menggelinding pada lintasan miring dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = I\alpha = fr$$

$$f = \frac{I\alpha}{r}$$

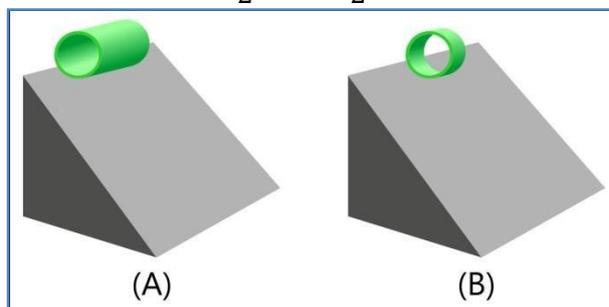
Dengan pola yang sama dengan proses benda menggelinding pada lintasan datar, diperoleh

$$\alpha = \frac{F \sin \alpha}{mr + \frac{I}{r}}$$

Pada benda yang menggelinding dari ketinggian tertentu, selain mempunyai energi kinetik, ia juga memiliki energi potensial. Energi total yang dimiliki benda merupakan energi mekanik yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$EM = EP + EK_{translasi} + EK_{rotasi}$$

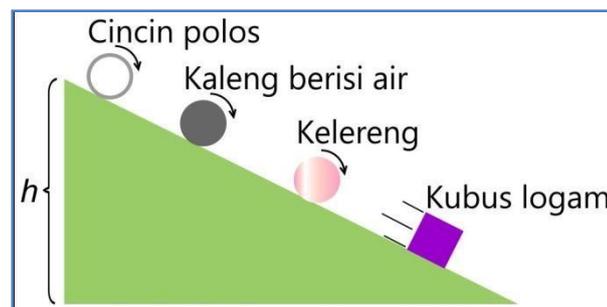
$$EM = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$



Gambar 2.4 (A) Pipa Panjang yang Mengelinding Pada bidang Miring
(B) Pipa Pendek yang Mengelinding Pada bidang Miring

Berdasarkan pada percobaan yang telah kalian lakukan seperti pada Gambar 2.4, pipa yang berukuran lebih pendek akan menggelinding lebih cepat dibandingkan dengan pipa yang berukuran lebih panjang. Kedua pipa memiliki jari-jari yang sama besar, namun memiliki perbedaan pada massa dan ukuran panjangnya, sehingga nilai momen inersianya pun berbeda. Berdasarkan nilai momen inersianya, pipa pendek akan sampai terlebih dahulu daripada pipa panjang. Nilai momen inersia suatu benda berpengaruh terhadap nilai percepatan sudut benda tersebut. Suatu benda yang memiliki nilai momen inersia yang lebih besar, maka nilai percepatan sudut benda tersebut akan lebih kecil, hal ini telah dibuktikan pada Persamaan 2.17. Percepatan sudut suatu benda berpengaruh terhadap kecepatan sudut benda tersebut, sehingga berpengaruh pula terhadap energi kinetik benda tersebut saat menggelinding, seperti yang telah dibuktikan pada Persamaan 2.18.

Terdapat beberapa benda, yaitu cincin polos, kelereng, kaleng berisi air, dan sebuah kubus logam. Cincin, kelereng, dan kaleng menggelinding tanpa selip dan kotak meluncur tanpa selip menuruni bidang miring dengan ketinggian vertikal h . Semua benda tersebut mulai dari keadaan diam pada saat bersamaan dan dari titik asal yang sama. Urutan benda yang akan sampai dasar bidang miring dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Beberapa Benda yang Bergerak pada Bidang Miring

Pada peristiwa tersebut, kubus logam yang meluncur tanpa gesekan akan sampai di dasar paling awal. Benda-benda yang menggelinding kelajuannya dipengaruhi nilai momen inersia masing-masing benda. Kubus yang bergerak translasi, kecepatannya tidak bergantung pada nilai massanya, sedangkan benda-benda yang bergerak rotasi dan translasi bergantung pada nilai massa dan jari-jari benda tersebut.

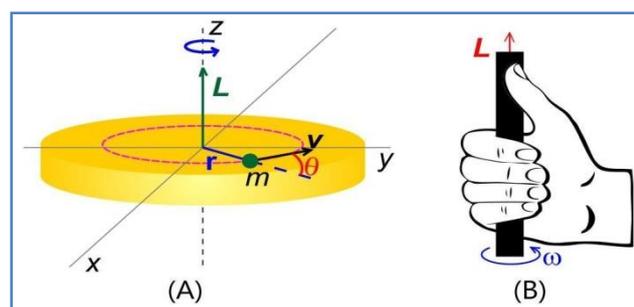
Tabel 1. Hubungan Besaran pada Gerak Translasi – Gerak Rotasi

Persamaan Gerak Linier	Persamaan Gerak Rotasi	Hubungan
Posisi/Perpindahan Linier (s)	Posisi/Perpindahan Sudut (θ)	$s = \theta r$
Kecepatan Linier (v)	Kecepatan Sudut (ω)	$v = \omega r$
Percepatan Linier (a)	Percepatan Sudut (α)	$a = \alpha r$
Massa (m)	Momen Inersia (I)	$I = mr^2$
Gaya (F) $F = ma$	Momen Gaya (τ) $\tau = Ia$	$\tau = Fr$
Momentum (p) $p = mv$	Momentum Sudut (L) $L = I\omega$	$L = pr$
Energi Kinetik Translasi $EK = \frac{1}{2}mv^2$	Energi Kinetik Rotasi $EK = \frac{1}{2}I\omega^2$	
Usaha $W = Fs$	Usaha $W = \tau\theta$	

MOMENTUM SUDUT

Momentum linier (**p**) adalah momentum yang dimiliki oleh benda-benda yang bergerak pada lintasan lurus, maka momentum sudut merupakan momentum yang dimiliki oleh benda-benda yang melakukan gerak rotasi. Persamaan momentum sudut mirip dengan persamaan momentum linier. Persamaan momentum sudut (**L**), yaitu:

$$L = r \times p = r \times m \times v$$



Gambar 6 (A) Hubungan antara **L**, **r**, dan **v** pada Momentum Sudut

(B) Kaedah Tangan Kanan untuk Momentum Sudut

Berdasarkan Gambar 6.A dapat diketahui bahwa arah momentum sudut dapat diketahui dengan **kaedah tangan kanan** seperti yang terdapat pada Gambar 6.B. Pada saat menggengam dengan ibu jari ditegakkan di luar, maka ibu jari menunjukkan arah momentum sudut dan keempat jari menunjukkan arah

rotasi. Arah momentum sudut (L) tegak lurus dengan arah r dan arah v dan sudut θ merupakan sudut antara r dan v , sehingga Persamaan dapat ditulis menjadi :

$$L = r \times p = mv(r \sin \theta)$$

Apabila ditinjau berdasarkan besaran skalar, maka Persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$L = r mv$$

$$L = r m\omega r$$

$$L = r^2 m\omega$$

$$L = I\omega$$



Gambar 7. (A) Seorang Pria yang Duduk dengan Melipat Tangannya sedang Berputar pada Kursi Putar
(B) Seorang Pria yang Duduk dengan Merentangkan Tangannya sedang Berputar pada Kursi Putar

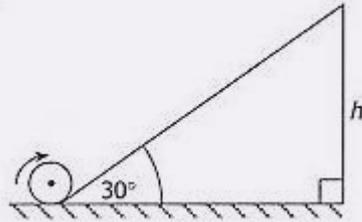
Pada gambar tersebut terdapat seorang pria duduk di atas kursi yang sedang putar, namun memiliki dua keadaan, yaitu tangannya dilipat ke depan dada dan tangannya direntangkan ke luar tubuhnya. Nilai momen inersia pria tersebut berubah sesuai keadaan tangannya, karena berpengaruh terhadap nilai jari-jari yang dimiliki pria tersebut. Saat direntangkan, maka momen inersia pria tersebut akan semakin besar. Ketika sedang berputar, tiba-tiba pria tersebut melipat tangannya yang terentang, maka momen inersianya akan berkurang. Keadaan tersebut berpengaruh terhadap kecepatan sudut pria tersebut. Saat tangannya dilipat, maka pria tersebut akan berputar semakin cepat karena nilai kecepatan sudutnya menjadi lebih besar. Oleh karena itu, Hukum Kekekalan Momentum Sudut pada momentum sudut awal (L_1) dengan momentum sudut akhir (L_2) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$L_1 = L_2$$

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

LATIHAN SOAL

1. Sebuah silinder pejal menggelinding menaiki suatu bidang miring seperti pada gambar. Kecepatan awal silinder saat akan menaiki bidang miring adalah 20 m/s. ?



Bila energi yang hilang akibat gesekan dapat diabaikan, ternyata silinder mampu mencapai ketinggian h sebelum berbalik arah. Berapakah tinggi h ? (Silinder pejal, $I = \frac{1}{2} mR^2$)

Penyelesaian :

$$EM_1 = EM_2$$

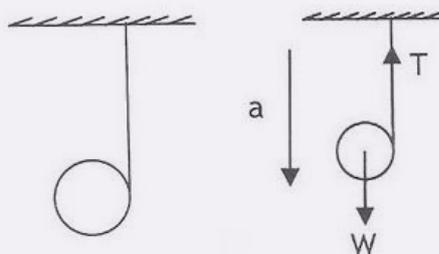
$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}mR^2\right)\frac{v^2}{R^2}$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{4}v^2$$

$$h = \frac{3v^2}{4g} = \frac{3(20)^2}{4(10)} = 30 \text{ m}$$

2. Sebuah yoyo bermassa 500 gram melakukan gerak seperti pada gambar.



Berapa percepatan yang dialami?

Penyelesaian :

Anggap yoyo sebagai silinder pejal, $I = \frac{1}{2} mR^2$

Ditinjau dari gerak translasi

$$\Sigma F = ma$$

$$w - T = ma$$

$$T = w - ma$$

Ditinjau dari gerak rotasi

$$\Sigma \tau = I \alpha$$

$$T r = \left(\frac{1}{2} mR^2\right) \frac{a}{R}$$

$$T = \frac{1}{2} ma$$

Persamaan gerak rotasi disubstitusi ke persamaan gerak translasi

$$T = w - ma$$

$$\frac{1}{2} ma = w - ma$$

$$\frac{3}{2} ma = mg$$

$$a = \frac{2}{3} g = \frac{2}{3} (10) = 6,67 \text{ m/s}^2$$

3. Sebuah bola pejal 500 g berjari-jari 7 cm dengan momen kelembaman (inersia) sebesar 0,00098 kgm², berputar dengan 30 putaran/detik pada sebuah sumbu yang melalui titik pusatnya. Berapakah

a. energi kinetik rotasi

b. momentum sudut.

(Catatan : ω harus dalam rad/s).

Penyelesaian :

a. Dengan mengetahui bahwa $\omega = 30 \text{ put/s} = 188 \text{ rad/s}$, maka akan kita peroleh

$$EK \text{ rotasi} = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} (0,00098 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) (188 \text{ rad/s})^2 = 17,3 \text{ J}$$

b. Momentum sudutnya :

$$L = I \omega = (0,00098 \text{ kgm}^2) (188 \text{ rad/s}) = 0,184 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

Berbicara kesetimbangan, tidak akan pernah terlepas dari konsep Al-Qur'an yang Allah SWT sudah tuliskan di dalamnya, agar manusia mempelajarinya. Dalam Surat Al-Mulk ayat 3, Allah SWT berfirman yang artinya “yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang?”

Benda tidak harus diam pada saat keadaan setimbang, tetapi harus memiliki percepatan linear $a = 0$ dan percepatan sudut $\alpha = 0$. Benda yang dalam keadaan diam dan setimbang disebut setimbang statis, sedangkan benda yang setimbang namun tidak diam disebut setimbang mekanis. Setimbang mekanis dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Setimbang translasi, yaitu benda dalam keadaan setimbang, tetapi bertranslasi dengan kecepatan v konstan.
2. Setimbang rotasi, yaitu benda dalam keadaan setimbang, tetapi berotasi dengan kecepatan sudut ω konstan.

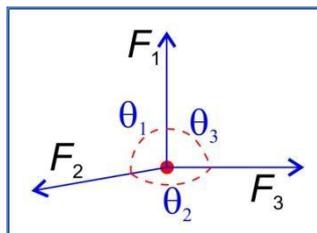
Pada sistem partikel, benda dianggap sebagai suatu titik materi. Semua gaya yang bekerja pada benda dianggap bekerja pada titik materi tersebut, sehingga gaya yang bekerja pada partikel hanya menyebabkan gerak translasi. Syarat kesetimbangan sistem partikel:

$$\sum F = 0; \quad \sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

Pada gambar di bawah, terdapat 3 buah gaya yang bekerja pada suatu titik partikel dan partikel tersebut berada pada posisi setimbang, maka berlaku :

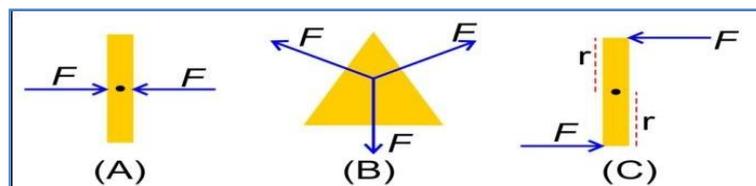
$$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_3}{\sin\theta_3}$$

jika $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 180^\circ$



Gambar 8. Tiga Gaya yang Bekerja pada Suatu Partikel

Pada Gambar 8., resultan gaya yang bekerja pada setiap benda adalah nol. Pada Gambar benda A dan benda B, semua garis kerja gaya berpotongan pada satu titik, sedangkan pada benda C garis gaya tidak berpotongan.

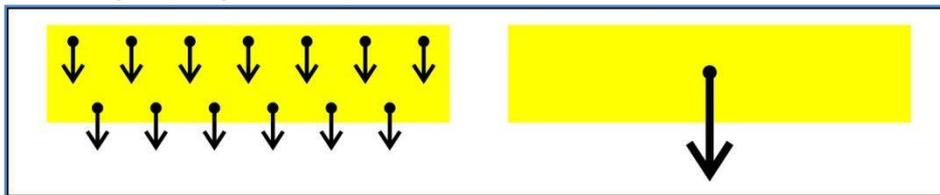


Gambar 9. Representasi Diagram Gaya Benda dalam Kesetimbangan

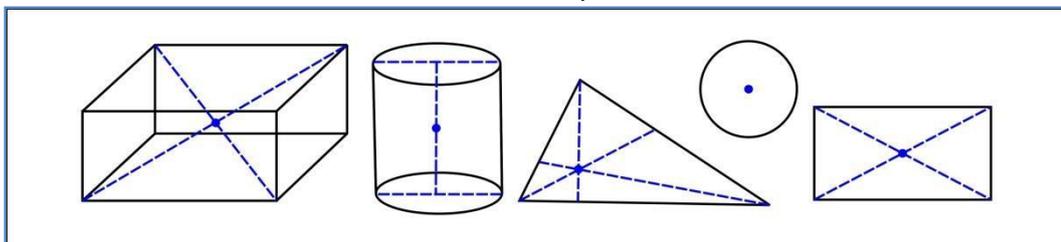
Pada Gambar 9. benda A dan benda B dalam keadaan setimbang statis, karena resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol dan semua garis kerja gaya berpotongan pada satu titik yang disebut titik massa. Benda C dalam keadaan setimbang mekanis, karena resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol, tetapi bergerak rotasi akibat dari garis kerja gaya tidak saling berpotongan. Selain itu, benda C berotasi dengan ω konstan, karena resultan torsi pada benda C tidak sama dengan nol. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa benda dikatakan setimbang, apabila setimbang translasi $\sum F = 0$ dan setimbang rotasi $\sum \tau = 0$.

TITIK BERAT

Setiap partikel yang menyusun suatu benda tegar memiliki berat. Berat suatu benda merupakan resultan gaya gravitasi yang bekerja pada setiap partikel penyusun benda dan bekerja pada satu titik yang disebut **titik berat**, seperti pada Gambar 10. Suatu benda tegar apabila diletakkan dengan tumpuan pada titik beratnya akan berada pada posisi setimbang statis, karena resultan torsi oleh gaya gravitasi yang bekerja pada setiap partikel adalah nol. Letak titik berat benda homogen yang bentuknya simetris dapat ditunjukkan pada Gambar 11.

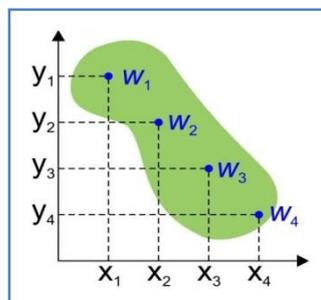


Gambar 10. Konsep Titik Berat



Gambar 11. Letak Berat Benda Homogen Simetris

Letak titik berat benda homogen yang bentuknya asimetris dapat diketahui dengan persamaan matematis dan bantuan garis koordinat, seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Benda Homogen Asimetris

Jika berat masing-masing partikel penyusun benda tersebut adalah $w_1, w_2, w_3, w_4, \dots$ dan nilai g dianggap sama di semua tempat, maka koordinat titik berat benda (x_0, y_0) , hasil dari resultan torsi yang bekerja pada benda terhadap sumbu-x adalah:

$$x_0 = \frac{\sum m_n x_n}{m_T}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk mencari letak titik berat benda terhadap sumbu-x, sedangkan letak titik berat sumbu-y dapat dicari dengan Persamaan 3.3.

$$y_0 = \frac{\sum m_n y_n}{m_T}$$

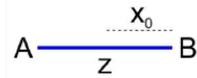
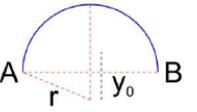
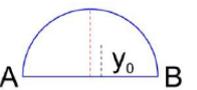
Selain menggunakan w atau m , letak titik berat benda-benda homogen dapat dicari dengan menggunakan volume dan luas benda seperti persamaan di atas.

$$x_0 = \frac{\sum A_n x_n}{A_T}, \quad x_0 = \frac{\sum A_n x_n}{A_T}$$

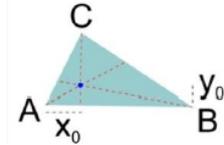
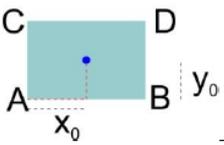
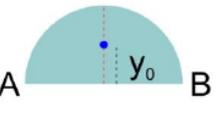
$$x_0 = \frac{\sum V_n x_n}{V_T}, \quad x_0 = \frac{\sum V_n x_n}{V_T}$$

Berikut ini beberapa Tabel yang berisi persamaan untuk mencari letak titik berat benda homogen berdimensi satu, berdimensi dua, dan berdimensi tiga.

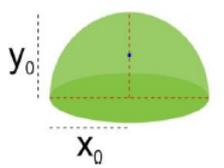
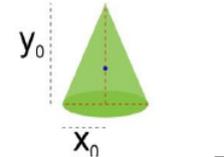
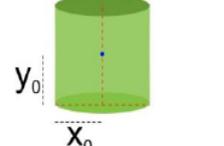
Tabel 2. Letak Titik Berat Benda Pejal Homogen Berdimensi Satu

No	Gambar	Nama Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
1		Garis Lurus	$y_0 = \frac{1}{2} l_{AB}$	z = Titik tengah garis
2		Busur Lingkaran	$y_0 = \frac{\overline{AB}}{AB} r$	\overline{AB} = Tali busur AB AB = busur AB r = jari-jari
3		Busur Setengah Lingkaran	$y_0 = \frac{2r}{\pi}$	r = jari-jari

Tabel 3. Letak Titik Berat Benda Pejal Homogen Berdimensi Dua

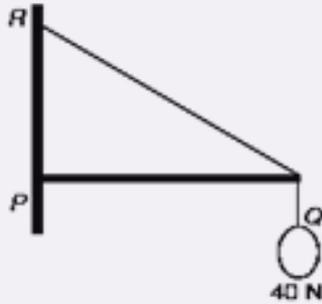
No	Gambar	Nama Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
1		Segitiga	$x_0 = \frac{1}{2}x$ $y_0 = \frac{1}{3}t$	x = panjang t = tinggi
2		Persegi Panjang	$x_0 = \frac{1}{2}x$ $y_0 = \frac{1}{2}l$	x = panjang l = lebar
3		Setengah Lingkaran	$x_0 = \frac{1}{2}r$ $y_0 = \frac{4r}{3\pi}$	r = jari-jari

Tabel 4. Letak Titik Berat Benda Pejal Homogen Berdimensi Tiga

No	Gambar	Nama Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
1		Setengah Bola	$x_0 = \frac{1}{2}r$ $y_0 = \frac{3}{8}r$	r = jari-jari
2		Kerucut	$x_0 = \frac{1}{2}r$ $y_0 = \frac{1}{4}t$	t = tinggi kerucut r = jari-jari
3		Tabung	$x_0 = \frac{1}{2}r$ $y_0 = \frac{1}{2}t$	t = tinggi tabung r = jari-jari

LATIHAN SOAL

1. Batang PQ horizontal beratnya 60 N menggunakan engsel pada titik P. Pada ujung Q diikat tali bersudut 30° terhadap batang. (Lihat gambar!)



Jika pada titik Q digantungkan beban 40 N maka besar gaya tegangan tali QR
.....

Penyelesaian :

$$\Sigma \tau = 0$$

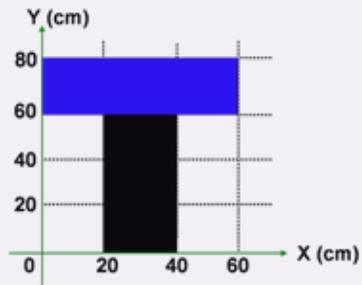
$$T \sin \theta \cdot R_{PQ} - w_{\text{beban}} \cdot R_{PQ} - w_{\text{batang}} \cdot \frac{1}{2} R_{PQ} = 0$$

$$T \cdot \frac{1}{2} - 40 - 60 \cdot \frac{1}{2} = 0$$

$$T \cdot \frac{1}{2} = 70$$

$$T = 140 \text{ N}$$

2. Tentukan letak titik berat (x_0, y_0) bangun berupa luasan berikut !



Penyelesaian :

Data dari soal :

Benda 1 (warna hitam)

$$A_1 = (20 \times 60) = 1200$$

$$Y_1 = 30$$

Benda 2 (warna biru)

$$A_2 = (20 \times 60) = 1200$$

$$Y_2 = (60 + 10) = 70$$

$$x_0 = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A_1 + A_2}$$

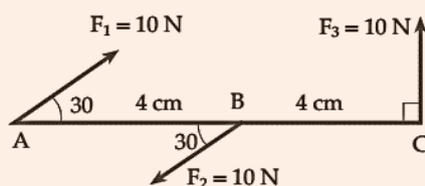
$$x_0 = \frac{(1200)(30) + (1200)(30)}{1200 + 1200} \quad x_0 = \frac{72000}{2400} = 30 \text{ cm}$$

UJI KOMPETENSI

- Sebuah tongkat yang panjangnya L , hendak diputar agar bergerak rotasi dengan sumbu putar pada batang tersebut. Jika besar gaya untuk memutar tongkat F (newton), maka torsi maksimum akan diperoleh ketika :
 - F melalui tegak lurus di tengah
 - F melalui segaris dengan batang
 - F melalui tegak lurus di ujung batang
 - F melalui $1/4 L$ dari sumbu putar
 Pernyataan yang benar adalah ...
 - 1 dan 2
 - 2 dan 3
 - 2 dan 4
 - Hanya 1
 - Hanya 3

- Diketahui besar momen gaya suatu benda adalah 50 Nm , dan gaya yang digunakan adalah 5 N . Jika gaya tersebut membentuk sudut 30° terhadap lengan, maka berapakah panjang lengan momen gaya tersebut?
 - 10 m
 - 15 m
 - 20 m
 - 25 m
 - 30 m

- Perhatikan gambar berikut!



Pada batang AC yang massa batang diabaikan bekerja 3 gaya yang besar dan arahnya seperti pada gambar. Berapakah momen gaya total terhadap titik C ?

- 10 N cm
 - 20 N cm
 - 40 N cm
 - 80 N cm
 - 100 N cm
- Sebuah benda batang homogen bermassa 2 kg yang memiliki panjang 6 m berputar dipusat massa. Besar momen inersia benda tersebut adalah . . .
 - 6 kg m^2
 - 18 kg m^2
 - 36 kg m^2
 - 64 kg m^2
 - 72 kg m^2

5. Sebuah silinder pejal ($I = \frac{1}{2} MR^2$) bermassa 8 kg menggelinding tanpa slip pada suatu bidang datar dengan kecepatan 15 m/s. Energi kinetik total silinder adalah ...
 - a. 1800 J
 - b. 1350 J
 - c. 900 J
 - d. 450 J
 - e. 225 J
6. Sebuah silinder pejal ($I = \frac{1}{2} MR^2$) dengan massa 3 kg bergerak menggelinding tanpa tergelincir yang akan menaiki bidang miring kasar yang mempunyai sudut elevasi α dengan $\sin \alpha = 0,6$. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 dan kecepatan awal benda itu 10 m/s, maka panjang lintasan miring itu ditempuh benda sebelum berhenti adalah
 - a. 9,5 m
 - b. 10,5 m
 - c. 11,5 m
 - d. 12,5 m
 - e. 13,5 m
7. Sebuah bola pejal bermassa 10 kg dan berjari-jari 50 cm menggelinding di atas bidang datar karena dikenai gaya 14 N. Besar percepatan linier bola adalah m/s^2
 - a. 7
 - b. 3,5
 - c. 2
 - d. 1,5
 - e. 1
8. Seorang sedang melakukan percobaan seperti gambar di bawah.

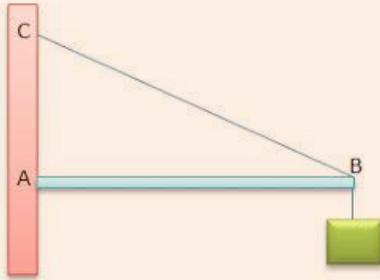


Julio Wardiman yang memiliki massa 55 kg dan tinggi 160 cm, berputar dengan kecepatan sudut 0,5 rad/s ketika tangannya direntangkan. Ketika tangan Julio Wardiman dilipat dengan diameter 50 cm, berapa kecepatan sudutnya?

(Diketahui : $g = 10 m/s^2$, diameter rentang tangan manusia sama dengan tinggi badannya, anggap Julio Wardiman sebagai silinder pejal)

- a. 1,50
- b. 2,25
- c. 3,90
- d. 4,23
- e. 5,12

9. Perhatikan gambar di bawah ini !

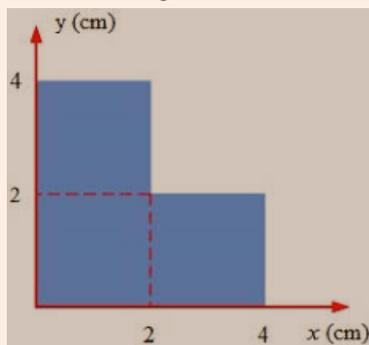


Sebuah balok kayu dengan massa 5 kg digantung pada ujung batang AB dengan massa 2 kg dan panjang 2 m. Batang AB dan balok kayu tersebut rencananya akan ditahan dengan tali BC yang membentuk sudut 30° terhadap batang AB.

Berapa tegangan tali BC yang dibutuhkan agar batang AB dan balok kayu tertahan secara setimbang seperti gambar ?

- a. 40
- b. 60
- c. 80
- d. 100
- e. 120

10. Perhatikan gambar di bawah ini !



Koordinat titik berat sumbu y bidang berbentuk U di samping adalah ...

- a. 1,67
- b. 2,00
- c. 2,25
- d. 3,00
- e. 3,33

PEMBELAJARAN

Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi	
Kompetensi Dasar	Indikator
3.2 Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari	3.2.1 Mengidentifikasi sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari 3.2.2 Memahami pengaruh gaya terhadap perubahan panjang pegas/karet 3.2.3 Mengolah data dan menganalisis hasil percobaan ke dalam grafik 3.2.4 Menentukan persamaan 3.2.5 Membandingkan hasil percobaan dengan bahan pegas/karet yang berbeda, perumusan tetapan pegas susunan seri-paralel
4.2 Melakukan percobaan tentang sifat elastisitas suatu bahan berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya	4.2.1 Melakukan percobaan hukum Hooke dengan menggunakan pegas/karet, mistar, beban gantung, dan statif secara berkelompok 4.2.2 Membuat laporan hasil percobaan dan mempresentasikannya

Tujuan Pembelajaran

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peserta didik dapat menguasai keterampilan dalam mengidentifikasi sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari, memahami pengaruh gaya terhadap perubahan panjang pegas/karet, mengolah data dan menganalisis hasil percobaan ke dalam grafik, menentukan persamaan, membandingkan hasil percobaan dengan bahan pegas/karet yang berbeda, perumusan tetapan pegas susunan seri-paralel, melakukan percobaan hukum Hooke dengan menggunakan pegas/karet, mistar, beban gantung, dan statif secara berkelompok, membuat laporan hasil percobaan dan mempresentasikannya, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

BAB II

Elastisitas Bahan

BENDA ELASTIS DAN TIDAK ELASTIS

Ananda sekalian, jika kalian suatu saat kalian dimintai tolong oleh ibumu untuk membeli gula pasir atau beras ke warung tetangga satu kilogram saja. Kira-kira wadah apa digunakan untuk membawa gula atau beras tadi? Biasanya plastik transparan bukan? Jika kalian perhatikan dengan teliti benda apa yang dipakai untuk mengikat gula atau beras di dalam plastik tadi? Biasanya menggunakan karet gelang atau kalau pedagang kehabisan stok karet gelang dia akan menggunakan kantong plastik transparan baru yang ditarik terlebih dahulu, kemudian digunakan untuk mengikat gula atau beras dalam plastik tadi.

Nah sekarang apa perbedaan mendasar antara karet gelang dengan kantong plastik yang digunakan untuk mengikat plastik gula atau beras tadi? Karet akan memanjang pada saat ditarik dengan kedua tangan kita dan jika dilepas tarikannya karet akan memendek lagi, sedangkan plastik akan memanjang pada saat ditarik dan tidak kembali memendek lagi pada saat tarikannya dilepaskan.

Itu artinya karet merupakan bersifat elastis, sementara plastik tidak elastis. Apa perbedaan antara benda yang elastis dan tidak elastis? Benda elastis adalah benda yang lentur, jika suatu benda diberi gaya akan mengalami perubahan panjang dan dapat kembali lagi ke bentuk semula setelah gaya yang bekerja padanya dihilangkan. Sedangkan untuk benda tidak elastis/plastis adalah benda yang tidak lentur, jika suatu benda diberi gaya akan mengalami perubahan panjang dan tidak dapat kembali lagi ke bentuk semula setelah gaya yang bekerja padanya dihilangkan.

Nah, kemampuan yang dimiliki benda untuk kembali ke kondisi awalnya saat gaya yang diberikan pada benda tersebut dihilangkan disebut **elastisitas** atau benda tersebut memiliki sifat yang elastis. Contohnya seperti karet gelang, pegas, per, dsb. Sementara jika benda tidak memiliki kemampuan untuk kembali lagi ke kondisi awalnya saat gaya yang diberikan dihilangkan, maka benda tersebut memiliki sifat tidak elastis atau **plastis**. Contohnya adalah plastisin, plastik, permen karet, tanah liat, dsb.

Pernahkah kalian memperhatikan kendaraan yang ditarik dengan kuda atau andong dan kendaraan yang ditarik dengan sapi atau gerobak? Apa perbedaan mendasar antara keduanya? Pada andong ada per diatas dudukan roda sementara pada gerobak tidak ada. Jika kalian harus menaiki kedua kendaraan tersebut secara bergantian melewati jalan yang tidak rata atau berlubang, kendaraan mana yang lebih nyaman? Andong lebih nyaman karena ada pernya sementara gerobak kurang nyaman.



Pada semua kendaraan bermotor, baik mobil ataupun sepeda motor, bahkan bagi yang menyukai olahraga bersepeda gunung juga dipasang sistem alat yang berfungsi untuk meredam kejutan yang dinamakan shockabsorber, atau sering disebut dengan shockbreaker yang di dalamnya terdapat pegas berupa per spiral sebagai komponen utama, ada pula yang menggunakan udara untuk shockabsorber yang berjenis air suspension. Pada saat berkendara melewati jalan yang berlubang, berat kendaraan dan pengendara akan menekan pegas sehingga pegas akan memampat atau memendek. Pegas baru akan kembali ke bentuk semula jika permukaan jalan sudah rata. Dengan adanya peredam kejut/shockabsorber tersebut, pengendara hanya merasakan sedikit guncangan. Apa yang akan terjadi jika kendaraan tersebut tidak menggunakan shockabsorber? Sudah dapat dipastikan pengendaranya akan cepat lelah dan sangat tidak nyaman.



TEGANGAN, REGANGAN, DAN MODULUS ELASTISITAS

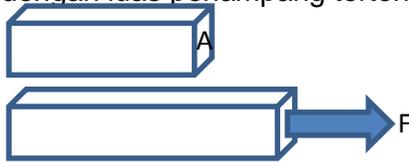
Benda elastis adalah suatu benda yang dapat kembali lagi ke bentuk semula setelah gaya yang mengenainya dihilangkan. Pada saat kalian menarik atau menekan pegas hingga berubah panjangnya, pegas akan segera kembali ke ukuran semula sesaat gaya tersebut dihilangkan. Sebaliknya, benda yang tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya yang mengenainya dihilangkan disebut benda plastis.

Elastisitas adalah sifat suatu benda untuk kembali ke bentuk semula sesaat setelah gaya yang mengenai benda tersebut dihilangkan.

Selanjutnya kita bahas beberapa besaran yang berhubungan dengan sifat elastisitas benda, antara lain:

A. Tegangan (δ)

Sebuah benda jika diberi gaya tarik atau gaya tekan akan mengalami perubahan struktur atau ketegangan benda berubah. Nah yang dimaksud dengan tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda dengan luas penampang tertentu.



Secara matematis, tegangan dirumuskan sebagai berikut.

$$\delta = \frac{F}{A}$$

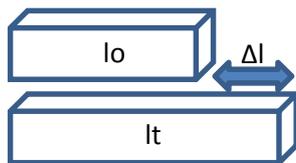
δ = tegangan (Nm^{-2})

F = gaya (N)

A = luas penampang (m^2)

B. Regangan (e)

Jika pada sebuah gaya dikerjakan pada sebuah benda sehingga panjangnya berubah atau meregang. Kalau begitu apa apa yang dimaksud dengan regangan?



Regangan adalah perubahan relatif ukuran benda yang mengalami tegangan, besarnya regangan dihitung dengan cara membandingkan pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang semula. Secara matematis, regangan dirumuskan sebagai berikut.

$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

e = regangan

Δl = perubahan panjang (m)

l_0 = panjang semula (m)

C. Modulus Elastisitas (Modulus Young)

Tahukah kalian apa itu Modulus elastisitas atau modulus Young?

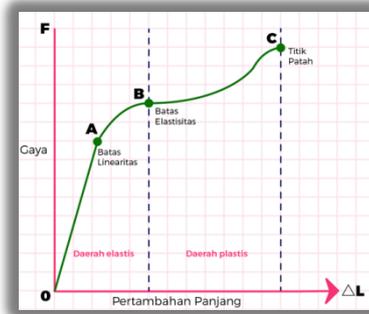
Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada benda. Besarnya modulus Young menunjukkan tingkat elastisitas suatu benda. Semakin besar modulus Young, semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk meregangkan benda dan sebaliknya semakin kecil modulus Young, semakin kecil pula tegangan yang diperlukan untuk meregangkan suatu benda. Secara matematis modulus Young dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$$

Y = Modulus Elastisitas/Young (Nm^{-2})

D. Batas Elastis

Elastisitas suatu benda memiliki batas sampai pada suatu besar gaya tertentu.



Jika gaya yang diberikan lebih kecil dari batas elastisitas, benda akan kembali ke bentuk semula ketika gaya tersebut dihilangkan, tetapi jika gaya yang diberikan melebihi dari batas elastisitas benda, benda tidak dapat kembali ke bentuk semula atau benda akan berubah bentuk secara permanen.

LATIHAN SOAL

- Seutas kawat logam berdiameter 1,4 mm yang panjangnya 40 cm digantungi beban bermassa 100 gram, sehingga kawat tersebut bertambah panjang 0,2 mm. Apabila percepatan gravitasi bumi sebesar 10 m/s^2 , tentukan:
 - tegangan,
 - regangan, dan
 - modulus Young bahan.

Penyelesaian:

Ditanyakan :

- $\delta = ?$
- $e = ?$
- $Y = ?$

Jawab:

- $\delta = F/A = m \cdot g / \pi r^2 = (0,1 \cdot 10) / ((22/7) \cdot 7 \cdot 10^{-4})^2 = 64,9 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
- $e = \Delta l / l_0 = 2 \times 10^{-4} / 0,4 = 5 \cdot 10^{-4}$
- $Y = \delta / e = 64,9 \cdot 10^5 / 5 \cdot 10^{-4} = 1,29 \cdot 10^9 \text{ Nm}^{-2}$

- Sebuah logam sepanjang 1 meter ditarik dengan gaya 2 N. Luas penampang kawat tersebut 4 mm^2 dan modulus elastisitasnya 10^{10} N/m^2 . Berapa panjang kawat akibat gaya yang diberikan!

Penyelesaian :

$$Y = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot Y} = \frac{2 \cdot 1}{4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{10}} = 1 \cdot 10^{-4} = 0,1 \text{ mm}$$

Sehingga panjang kawatnya = $l_0 + \Delta l = 1 + 0,0001 = 1,0001 \text{ m}$

ELASTISITAS PADA PEGAS

Tahukah kalian benda apa saja yang komponennya terdapat pegas?

Pegas adalah benda elastis karena dapat kembali ke bentuk semula ketika gaya yang bekerja pada pegas tersebut dihilangkan. Gaya yang dapat mengembalikan benda ke bentuk semula tersebut dinamakan gaya pemulih.

Dalam al qur'an surat arrahman ayat 7, Allah telah menyatakan:

وَالسَّمَاءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيزَانَ

“Dan Allah telah meninggikan langit dan Dia meletakkan neraca (keadilan)”.

A. Hukum Hooke

Robert Hooke menyatakan bahwa apabila pegas ditarik dengan suatu gaya tanpa melampaui batas elastisitasnya, pada pegas akan bekerja gaya pemulih yang sebanding dengan simpangan benda dari titik seimbangya tetapi arah-nya berlawanan dengan arah gerak benda.

Sampai saat sekarang pernyataan ini dikenal dengan hukum Hooke. Secara matematis, dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

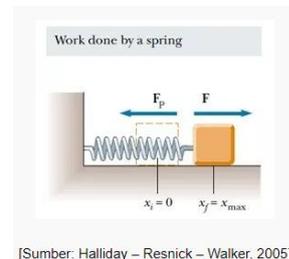
$$F_p = -k \Delta x$$

F_p = gaya pegas (N)

k = konstanta pegas (Nm^{-1})

Δx = perubahan panjang pegas (m)

Tanda negatif pada hukum Hooke bermakna bahwa gaya pemulih pada pegas selalu berlawanan dengan arah simpangan pegas.



[Sumber: Halliday – Resnick – Walker, 2005]

B. Tetapan Gaya pada Benda Elastis

Dari pembahasan di atas modulus Young dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$$

Dengan demikian besarnya gaya yang bekerja pada benda adalah:

$$F = \frac{Y \cdot A}{l_0} \Delta l$$

Besarnya gaya pemulih pada pegas sebesar $F = -k\Delta x$ atau $F = -k\Delta l$

Sehingga konstanta gaya pada benda elastis adalah:

$$K = \frac{Y \cdot A}{l_0}$$

LATIHAN SOAL

1. Sebuah pegas memiliki panjang 25 cm saat digantung vertikal. Pada saat diberi beban seberat 30 N, ternyata pegas bertambah panjang menjadi 30 cm. Tentukan konstanta pegas dan panjang pegas ketika ditarik gaya 45 N?

Penyelesaian :

- a. $k = F/\Delta x = 30/(0,30 - 0,25) = 30/0,05 = 600 \text{ Nm}^{-1}$
 b. $\Delta x = F/k = 45/600 = 0,075 \text{ m}$
 $x_2 = x_0 + \Delta x = 0,25 + 0,075 = 0,325 \text{ m} = 32,5 \text{ cm}$

HUKUM HOOKE UNTUK SUSUNAN PEGAS

A. Susunan Pegas Seri

$$F_p = -k\Delta x$$

$$\Delta x = -\frac{F_p}{k}$$

Pertambahan panjang pegas yang disusun seri merupakan jumlah pertambahan panjang kedua pegas. Sehingga tetapan pegas yang disusun seri dihitung:

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

$$\Delta x = \frac{F_p}{k_1} + \frac{F_p}{k_2}$$

$$\Delta x = F_p \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)$$

$$\Delta x = F_p \left(\frac{1}{k_{\text{seri}}} \right)$$

$$\frac{1}{k_{\text{seri}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

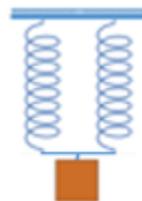


Jadi, ketetapan pegas yang disusun seri dihitung:

$$\frac{1}{k_{\text{seri}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots$$

B. Susunan Pegas parallel

Sebuah gaya yang digunakan untuk menarik kedua pegas identik yang tersusun parallel akan mengakibatkan pertambahan panjang pada kedua pegas sama.



$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

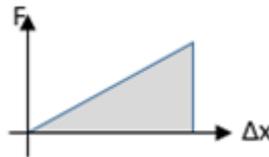
$$k_p \Delta x = \Delta x k_1 + \Delta x k_2$$

$$k_p \Delta x = \Delta x (k_1 + k_2)$$

$$k_p = k_1 + k_2$$

C. Energi Potensial Pegas

Pernahkah kalian melihat atau melakukan olahraga memanah? Atau pernahkah kalian melontarkan batu atau tanah liat dengan ketapel, semakin besar tarikan gendewa atau karet ketapel jika kemudian dilepaskan maka jarak lontaran akan semakin jauh. Ini artinya energi potensial yang dimiliki dirubah menjadi energi kinetik. Energi potensial pegas merupakan kemampuan pegas untuk kembali ke bentuk semula. Besarnya gaya pemulih sebanding dengan simpangan benda.



Grafik $F-\Delta x$ disamping ini menunjukkan bahwa daerah yang diarsir merupakan usaha yang dilakukan untuk menarik pegas atau besarnya energi potensial pegas untuk kembali ke bentuk semula. Besarnya energi potensial pegas dihitung dengan langkah sebagai berikut.

$W = \Delta E_p = \text{luas segitiga yang diarsir}$

$$W = \frac{1}{2} F \cdot \Delta x$$

$$W = \frac{1}{2} k \cdot \Delta x \cdot \Delta x$$

$$W = \frac{1}{2} k \cdot \Delta x^2$$

LATIHAN SOAL

- Sebuah benda digantungkan pada dua buah pegas masing-masing dengan konstanta 300 Nm^{-1} dan 600 Nm^{-1} yang disusun secara seri menyebabkan susunan pegas bertambah panjang 5 cm. Jika percepatan gravitasi $g=10 \text{ ms}^{-2}$, massa benda yang digantungkan tersebut adalah

Penyelesaian:

Rangkaian pegas pengganti seri:

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

$$k = \frac{300 \times 600}{300 + 600}$$

$$k = 200 \text{ N/m}$$

Rumus gaya pegas:

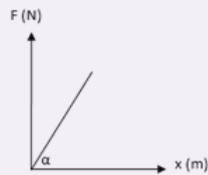
$$F = k \cdot \Delta x$$

$$m \cdot g = k \cdot \Delta x$$

$$10 \text{ m} = 200 \cdot 0,05$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

2. Data yang didapat dari percobaan menggunakan sebuah pegas digambarkan dengan grafik hubungan F dan x seperti gambar berikut ini.



Usaha yang diperlukan untuk menarik pegas sejauh 1 cm adalah... (tg $\alpha = 200$)

Penyelesaian :

rumus usaha pegas:

$$W = E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 0,01^2$$

$$W = 100 \cdot 10^{-4}$$

$$W = 10^{-2}$$

$$W = 0,01 \text{ Joule}$$

3. Pada olahraga memanah, busur panah yang digunakan terbuat dari bahan elastis dengan $k = 400 \text{ N/m}$, jika anak panah yang bermassa 100 gram ditarik pada busur dan menyebabkan busur panah merenggang sepanjang 50 cm, kecepatan anak panah sesaat setelah di lepaskan adalah...

Penyelesaian :

$$E_p = E_k$$

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$400 \cdot 0,5^2 = 0,1 \cdot v^2$$

$$100 = 0,1 \cdot v^2$$

$$10 = v^2$$

$$v = \sqrt{10} \text{ m/s}$$

LEMBAR KERJA SISWA

Kelompok :

Nama : 1.
2.
3.
4.

Kelas :

Hari/Tanggal percobaan :

1. Judul Percobaan : Sifat Benda Elastis Dan Plastis
2. Tujuan Percobaan
Untuk membedakan sifat benda elastis dan Plastis
3. Alat-alat Percobaan :
 - a. Karet gelang
 - b. Pegas
 - c. Kawat tembaga
 - d. Plastisin
 - e. Tanah
4. Langkah-langkah Percobaan:
 - 1) Ambillah karet gelang, lalu berikan gaya (tarik) dan amatilah apa yang terjadi.
 - 2) Ambillah pegas, lalu berikan gaya (tarik) dan amatilah apa yang terjadi kemudian catat dalam tabel pengamatan.
 - 3) Ambillah tanah liat, lalu berikan gaya (tarik) dan amatilah apa yang terjadi, kemudian catat dalam tabel pengamatan. Amatilah apa yang terjadi? Benda manakah yang tergolong elastis dan benda plastis. Lalu catat hasil pengamatan dalam tabel pengamatan.

Tabel Pengamatan

Berilah tanda cheklist pada kolom sifat benda yang pilih di bawah ini:

No	Nama benda	Sifat Benda		Posisi Benda	
		Elastis	Plastis	Berubah Bentuk	Bentuk Asli Benda
1	Karet Gelang				
2	Pegas				
3	Tanah Liat				
4	Kawat tembaga				
5	Plastisin				

5. Bahan Diskusi
 1. Apakah yang dimaksud dengan elastisitas?
Jawaban:.....
 2. Mengapa benda-benda tersebut dapat berubah bentuk?
Jawaban:.....

3. Sebutkan contoh-contoh benda lain yang memiliki sifat elastis dan plastis dalam kehidupan sehari-hari?

Jawaban:.....
.....
.....

4. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan diatas!

Jawaban:.....
.....
.....

LEMBAR KERJA SISWA

Kelompok :

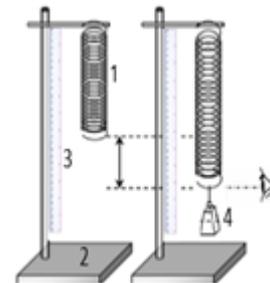
Nama : 1.
2.
3.
4.

Kelas :

Hari/Tanggal percobaan :

1. Judul Percobaan : Mengukur Pertambahan Panjang Pegas/karet
2. Tujuan Percobaan
Menyelidiki pengaruh gaya tarik terhadap pertambahan panjang pegas/karet

3. Alat-Alat Percobaan
 - 1)Pegas/karet
 - 2)Statif
 - 3)Penggaris
 - 4)Lima beban 50 g masing-masing 5 buah



4. Langkah-Langkah Percobaan
 - 1) Rangkailah peralatan seperti pada gambar di samping!
 - 2) Sebelum diberi beban, catatlah kedudukan ujung bawah pegas/karet!
 - 3) Gantungkan sebuah beban di ujung pegas/karet, lalu bacalah skala pada mistar!
 - 4) Ulangilah langkah no. 3). dengan berbagai beban yang semakin berat dan catat skala pada mistar setiap kali penggantian beban!
 - 5) Catatlah hasil pengamatan anda seperti pada tabel berikut!



No	Massa Beban (kg)	Gaya Tarik $F = m \cdot g$ (N)	Panjang awal X_0 (m)	Panjang akhir X (m)	Pertambahan Panjang $\Delta X = X - X_0$ (m)	Konstanta Pegas $K = F/\Delta X$ (N/m)
1						
2						
3						
4						
5						

5. Pertanyaan :

a. Apa yang terjadi jika pegas/karet diberi beban?

Jawaban:.....

b. Mengapa pegas/karet dapat bertambah panjang?

Jawaban:.....

c. Bagaimanakah bunyi dari hukum hooke serta bagaimana perumusannya?

Jawaban:.....

d. Hitunglah konstanta masing-masing pegas/karet?

Jawaban:.....

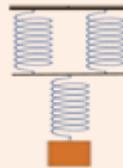
e. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan diatas!

Gaya (N)	Pertambahan Panjang (m)
0,90	$8 \cdot 10^{-4}$
1,80	$1,6 \cdot 10^{-3}$
2,70	$2,4 \cdot 10^{-3}$
3,60	$3,2 \cdot 10^{-3}$

.....

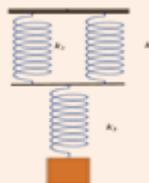
UJI KOMPETENSI

- Sebatang logam homogen dengan panjang L , pada saat ditarik dengan gaya F bertambah panjang sebesar ΔL . Agar pertambahan panjang menjadi 4 semula maka besar gaya tariknya sebesar
 - $1/4 F$
 - $1/2 F$
 - $2 F$
 - $4 F$
 - $16 F$
- Tiga pegas identik dengan konstanta pegas masing-masing 100 N/m , disusun seperti gambar.



Ketika diberi beban 100 gram (percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$) maka pertambahan panjang susunan pegas sebesar

- $x = 0,50 \text{ cm}$
 - $x = 0,75 \text{ cm}$
 - $x = 0,85 \text{ cm}$
 - $x = 1,00 \text{ cm}$
 - $x = 1,50 \text{ cm}$
- Data yang diperoleh dari percobaan elastisitas suatu pegas seperti tabel di bawah ini. Besarnya nilai konstanta pegas tersebut adalah
 - 1.002 N/m
 - 1.125 N/m
 - 1.225 N/m
 - 1.245 N/m
 - 1.250 N/m
 - Tiga buah pegas dirangkai seperti gambar berikut ini.



Jika konstanta pegas $k_1 = k_2 = 300 \text{ Nm}^{-1}$ dan $k_3 = 600 \text{ Nm}^{-1}$, konstanta susunan pegas adalah

- 100 Nm^{-1}
- 300 Nm^{-1}
- 750 Nm^{-1}
- 1200 Nm^{-1}
- 1500 Nm^{-1}

5. Karet yang panjangnya L digantungkan beban sedemikian rupa sehingga diperoleh data seperti pada tabel.

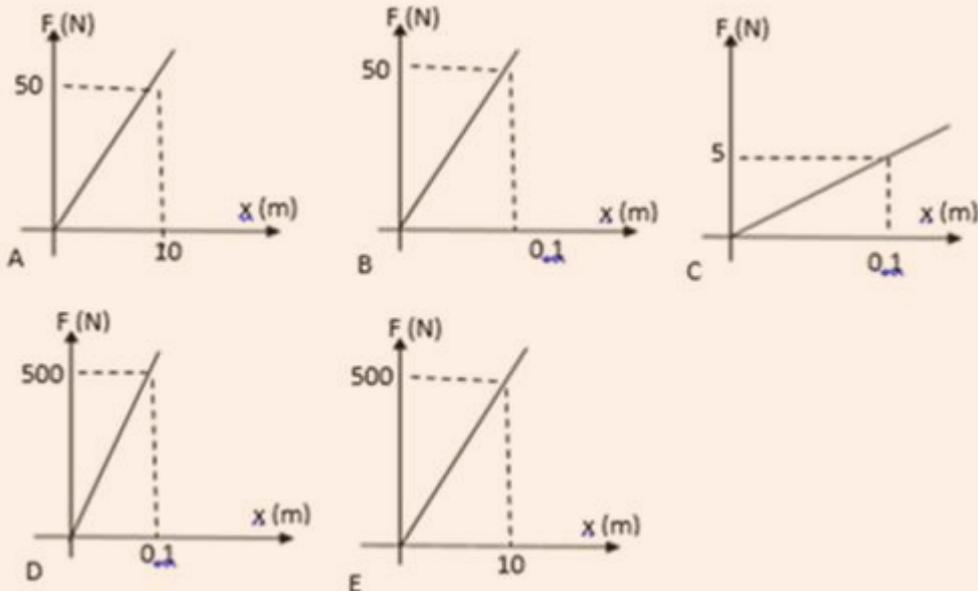
Beban (N)	2 N	3 N	5 N
Pertambahan Panjang (Δl)	0,40 cm	0,60 cm	1,00 cm

Berdasarkan tabel tersebut, disimpulkan besar konstanta pegas adalah

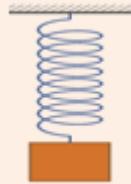
- A. 250 Nm^{-1}
 - B. 300 Nm^{-1}
 - C. 400 Nm^{-1}
 - D. 460 Nm^{-1}
 - E. 500 Nm^{-1}
6. Data dari percobaan menentukan elastisitas karet dengan menggunakan beberapa karet ban diperoleh data seperti pada tabel berikut. Nilai konstanta terbesar adalah

No.	Gaya (N)	Pertambahan Panjang (cm)
A	7	$3,5 \cdot 10^{-2}$
B	8	$2,5 \cdot 10^{-2}$
C	6	$2,0 \cdot 10^{-2}$
D	9	$4,5 \cdot 10^{-2}$
E	10	$3,3 \cdot 10^{-2}$

7. Perhatikan beberapa grafik hubungan antara gaya (F) terhadap pertambahan panjang (ΔX) berikut! Konstanta elastisitas terbesar adalah

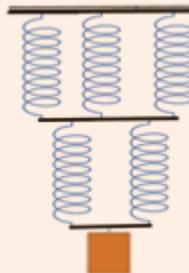


8. Gaya sebesar 20 N digunakan untuk meregangkan sebuah pegas sejauh 5 cm . Energi potensial pegas ketika meregang sejauh 10 cm adalah
- A. 50 Joule
 - B. 32 Joule
 - C. 16 Joule
 - D. 8 Joule
 - E. 2 Joule
9. Sebuah pegas mengalami pertambahan panjang 5 cm ketika diberi beban 4 kg.



Jika percepatan gravitasi bumi 10 m.s^{-2} , maka besarnya energi potensial elastis pegas tersebut

- A. 4,0 J
 - B. 3,0 J
 - C. 2,5 J
 - D. 1,0 J
 - E. 0,5 J
10. Lima buah pegas identik masing-masing mempunyai konstanta elastisitas 600 Nm^{-1} , disusun seri-paralel (lihat gambar).



Beban w yang digantung menyebabkan sistem pegas mengalami pertambahan panjang secara keseluruhan sebesar 5 cm. Berat beban w adalah

- A. 6 N
- B. 12 N
- C. 15 N
- D. 30 N
- E. 45 N

PEMBELAJARAN

KOMPETENSI DASAR DAN INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Kompetensi Dasar	Indikator
3.3 Menerapkan hukum-hukum fluida statik dalam kehidupan sehari-hari	3.3.1 Mengidentifikasi penerapan fluida dalam kehidupan sehari-hari 3.3.2 Menyimpulkan konsep tekanan hidrostatis 3.3.3 Menyimpulkan konsep hukum Pascal 3.3.4 Menyimpulkan konsep prinsip hukum Archimedes
4.3 Merancang dan melakukan percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya	4.3.1 Merancang percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya 4.3.2 Melakukan percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya 4.3.3 Membuat laporan hasil percobaan 4.3.4 Mempresentasikan penerapan hukum-hukum fluida statik

Tujuan Pembelajaran

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peserta didik dapat menguasai keterampilan dalam mengidentifikasi penerapan fluida dalam kehidupan sehari-hari, menyimpulkan konsep tekanan hidrostatis, menyimpulkan konsep prinsip hukum Archimedes, menyimpulkan konsep hukum Pascal, merancang percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya, melakukan percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya. membuat laporan hasil percobaan, mempresentasikan penerapan hukum-hukum fluida statis, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

BAB III

Fluida Statis

Apakah ananda sudah tahu itu apa fluida? Fluida adalah zat alir atau zat yang dapat mengalir yang meliputi zat cair, dan gas karena keduanya dapat mengalir, sebaliknya kayu, batu, dan benda-benda keras yang lain atau seluruh zat padat tidak digolongkan kedalam fluida karena tidak bisa mengalir. Bisakah ananda memberikan contoh benda apa saja yang termasuk dalam zat cair? Pernahkah ananda berteduh di bawah pohon saat terik matahari? Apakah yang ananda rasakan? Atau apa yang ananda rasakan saat berada di depan kisi AC yang sedang menyala? Ada angin yang berhembus, betulkan? Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Fluida merupakan salah satu aspek yang penting dalam kehidupan kita sehari-hari, bisa jadi tanpa ada fluida kita juga tidak ada. Penyebabnya adalah karena setiap hari semua makhluk hidup bernafas menghirup udara, minum, mandi, terapung, melayang atau tenggelam di dalamnya. Bukankah setiap hari pesawat udara terbang melaluinya semua hewan air atau kapal selam melayang di dalamnya atau terapung dan kapal laut mengapung di atasnya. Saat kita bernafas udara yang dihirup juga bersirkulasi di dalam tubuh manusia, demikian juga darah kita setiap saat juga bersirkulasi walaupun sering kita tidak menyadarinya.

Sebagaimana telah kita ketahui bahwa, fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalir berarti meliputi zat cair dan gas, karena keduanya dapat mengalir. Sedangkan zat padat seperti kayu, batu atau logam padat tidak dapat mengalir sehingga tidak bisa digolongkan dalam fluida. Agar lebih jelas, jika kita tinjau beberapa contoh dalam kehidupan sehari-hari. Pada saat kita mandi, pastilah membutuhkan air sebab kalau tidak namanya tayamum. Untuk sampai ke bak penampung, air dialirkan dari mata air atau disedot dari sumur.

Kita semua tahu bahwa siswa Muhi berasal dari seluruh penjuru ibu pertiwi bukan? Maukah ananda berjalan kaki dari tempat asal sampai di sini? Tentunya tidak mungkin bukan, ananda pasti membutuhkan alat bantu atau moda transportasi. Semua moda transportasi mesin pasti butuh bahan bakar mesin, minyak pelumas dan yang tidak ketinggalan udara karena tana udara tidak akan pernah terjadi proses pembakaran di dalam mesin kendaraan tanpa minyak pelumas mesin akan berhenti berputar atau terbakar karena ada gesekan antar metal di dalam mesin kendaraan tersebut.

Di alam ini terdapat tiga jenis zat yaitu zat padat, zat cair dan gas, selain itu terdapat suatu jenis zat lagi yang dinamakan dengan plasma. Plasma adalah zat gas yang terionisasi dan sering dinamakan sebagai wujud keempat dari materi. Khusus wujud yang keempat ini akan ananda pelajari di perguruan tinggi.

Ananda sekalian, apakah ada yang sudah tahu apa yang dimaksud dengan fluida statis?

Fluida statis atau *hidrostatika* adalah salah satu cabang ilmu sains yang membahas tentang karakteristik fluida saat diam, umumnya membahas tentang tekanan pada fluida ataupun yang diberikan oleh fluida (*gas atau cair*) pada suatu objek yang tenggelam didalamnya

Pernahkah ananda menyelam atau berjalan menuju ke puncak gunung?

Dari kegiatan tersebut akan ada fenomena seperti kenaikan besar tekanan air pada kedalamannya dan perubahan besar tekanan atmosfer terhadap ketinggian pengukuran dari permukaan laut.

TEKANAN

Ada yang tahu, apakah yang dimaksud dengan tekanan? Tekanan didefinisikan sebagai gaya normal (tegak lurus) yang bekerja pada suatu bidang dibagi dengan luas bidang tersebut. Secara matematis dituliskan

$$p = \frac{F}{A}$$

p = tekanan (Pa)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m²)

Satuan Pascal (disingkat Pa) untuk memberi penghargaan kepada *Blaise Pascal*, penemu hukum Pascal.

1 Pa = 1 Nm⁻². atau atmosfer (atm), cmHg atau mmHg, dan milibar.

1 mb = 0,001; 1 bar = 10⁵ Pa

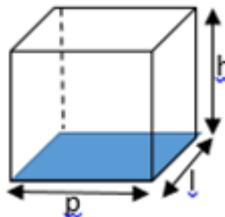
1 atm = 76 cmHg = 1,01 x 10⁵ Pa = 1,01 bar

Untuk menghormati *Torricelli*, fisikawan Italia penemu barometer, ditetapkan satuan tekanan dalam torr, torr = 1 mmHg

A. Tekanan Hidrostatik

Apa yang dimaksud dengan tekanan hidrostatik? Nah untuk menjawabnya kita pakai gambaran sebagai berikut:

Misal sebuah bak mandi berbentuk balok seperti pada gambar disamping berisi zat cair penuh dengan volume p x l x h, jika luas penampang yang diarsir p x l berada pada kedalaman h di bawah permukaan zat cair yang massa jenisnya ρ.



Tekanan pada setiap titik pada bidang yang diarsir :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{p \times l} = \frac{\rho \times V \times g}{p \times l} = \frac{\rho \times p \times l \times h \times g}{p \times l}$$

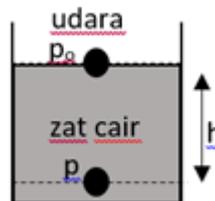
$$p = \rho \times g \times h$$

Jadi, **tekanan hidrostatik zat cair** (p_h) dengan massa jenis ρ pada ketinggian h dirumuskan dengan

$$p_h = \rho \times g \times h$$

B. Tekanan mutlak pada suatu kedalaman zat cair

Sebagaimana kita sudah ketahui bahwa bumi kita diselimuti oleh lapisan udara yang dikenal dengan nama atmosfer. Kerapatan udara yang menyelimuti bumi kita ini berbeda-beda tergantung pada ketinggiannya diukur dari permukaan laut. Semakin rendah suatu tempat akan semakin besar kerapatan udaranya, sebaliknya semakin tinggi suatu tempat akan semakin rendah kerapatan udaranya. Karena adanya gaya gravitasi yang bekerja pada atmosfer itu, menyebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang sesuai dengan ketinggiannya.



Dengan demikian besarnya tekanan hidrostatik pada kedalaman tertentu sebesar

$$p = p_0 + \rho gh$$

p = tekanan hidrostatik mutlak

p_0 = tekanan atmosfer

ρ = massa jenis fluida

h = kedalaman fluida

g = percepatan gravitasi bumi

HUKUM POKOK HIDROSTATIKA

Pernahkah ananda memperhatikan bangunan di pinggir tebing? Terlihat miring bukan? Apakah betul bangunan rumah tersebut miring?



Ternyata tidak miring, karena pada saat tukang membangunnya, mereka menggunakan bejana berhubungan yang sangat sederhana yakni sebuah selang yang diisi air. Dari alat tersebut akan diketahui bahwa permukaan air di kedua ujung selang tersebut rata.

Sebagaimana ditunjukkan oleh gambar bejana berhubungan di berikut ini. Seperti yang ananda lihat bahwa tinggi permukaan air di setiap tabung sama,

walaupun bentuk tabungnya berbeda. Kemudian perhatikan pula di dalam tabung ada titik A, B, C, D dan E yang terlihat segaris.



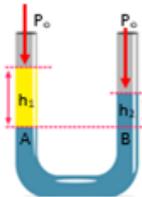
Apakah tekanannya sama? Hal ini sudah dinyatakan dalam *hukum pokok hidrostatis* bahwa: “*Semua titik yang terletak pada satu bidang datar yang sama di dalam zat cair sejenis memiliki tekanan yang sama*”.

Bagaimana jika pada bejana berhubungan tersebut diisi dengan dua jenis fluida yang berbeda? Mungkinkah keduanya bercampur menjadi satu? Ataukah tetap tidak bercampur? Coba jelaskan mengapa bisa demikian?

Sebelum kita bahas lebih lanjut ada baiknya mari kita simak kalam Allah dalam QS Al Furqan ayat 53:

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ
أَجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi.”



Pada prinsipnya adalah kita ambil acuan batas antara kedua fluida ditarik garis mendatar, di semua titik yang terletak pada satu bidang datar tersebut tekanannya sama besar.

$$p_A = p_B$$

$$p_0 + \rho_1 g h_1 = p_0 + \rho_2 g h_2$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

p_0 = tekanan atmosfer

ρ_1 = massa jenis fluida 1

ρ_2 = massa jenis fluida 2

g = percepatan gravitasi

h_1 = jarak titik A ke permukaan fluida 1

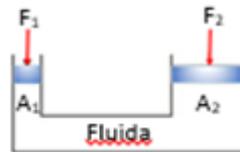
h_2 = jarak titik B ke permukaan fluida 3

Tugas:

Alat apa saja yang digunakan untuk mengukur tekanan pada fluida?

Hukum Pascal

Untuk dapat memahami dengan baik hukum Pascal, cobalah ambil kantong plastic dan buatlah lubang yang banyak, kemudian isilah dengan air dan cobalah ditekan ke arah bawah. Apa yang terjadi? Ternyata air memancar sama kuat dari semua lubang yang anda buat tadi. Hal ini sesuai dengan apa yang telah dilakukan oleh Blaise Pascal bahwa, *“Tekanan yang diberikan pada zat cair dalam ruang tertutup diteruskan sama besar ke segala arah”*

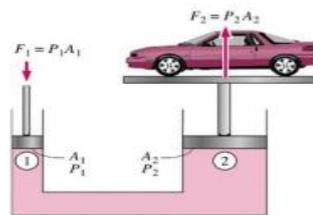


Jika pada penampang A_1 diberikan gaya F_1 , maka gaya tersebut akan diteruskan sampai ke penampang A_2 . Agar terjadi kesetimbangan maka pada penampang A_2 harus diberikan gaya sebesar F_2 .

Sehingga , $P_1 = P_2$

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

Aplikasi dari hukum Pascal ini anda temukan pada rem hidrolis pada kendaraan, dongkrak hidrolis, sistem pengangkatan mobil di tempat cuci mobil, dll.



Cara Kerja Mesin Hidrolis pengangkat mobil

Sumber:

<http://echoplazabengkel.com/2016/10/01/peralatan-standard-euroii/hydrolic-doorsmeer/>

LATIHAN SOAL

1. Sebuah bejana berbentuk U yang berisi zat cair dan diberi pengisap (berat dan gesekan diabaikan). Agar pengisap tetap seimbang, maka beban F_2 yang harus diberikan adalah

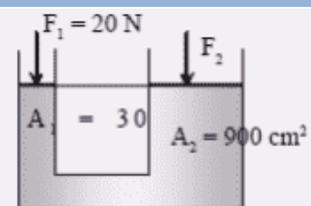
Penyelesaian :

Dengan hukum pascal

$$F_1/F_2 = A_1 / A_2$$

$$20/F_2 = 30/900$$

$$F_2 = 600 \text{ N}$$



Hukum Archimedes

Siapaakah Archimedes itu? Dia adalah seorang ahli matematika sekaligus penemu yang berasal Yunani (287 SM – 212 SM). Ia terkenal karena menemukan hukum hidrostika atau lebih dikenal dengan Hukum Archimedes. Penemuannya dimulai dari hal yang sangat sederhana. Pada saat itu Raja Hieron II, yang meminta Archimedes untuk menyelidiki apakah mahkotanya terbuat dari emas murni atautkah dicampuri perak. Archimedes yang memikirkan masalah ini dengan serius sampai akhirnya sangat letih sehingga dia menceburkan dirinya ke dalam bak mandi umum yang dipenuhi air. Dia melihat bahwa ada air yang tumpah ke lantai dan seketika itu pula ia menemukan jawabannya. Ia bangkit berdiri, dan berlari sepanjang jalan ke rumah. Setiba di rumah ia berteriak pada istrinya, “Eureka! Eureka!” yang artinya “sudah kutemukan! sudah kutemukan!” Lalu hukum Archimedes menyatakan: **“Jika sebuah benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapat gaya yang disebut dengan gaya apung (gaya ke atas) sebesar berat zat cair yang dipindahkannya.”**

Ada hubungan gaya berat dan gaya ke atas pada suatu benda jika dimasukkan ke dalam air, akibat adanya gaya angkat ke atas (gaya apung), benda yang ada didalam zat cair mengalami pengurangan berat.. Sehingga benda yang diangkat dalam air menjadi lebih ringan dibandingkan dengan diangkat di udara. Secara matematis dituliskan dengan:

$$W_f = W - F_a$$

W_f = Berat benda dalam air

W = berat benda sebenarnya

F_a = gaya ke atas atau gaya apung

Besarnya gaya apung (F_a) dapat dinyatakan dengan:

$$F_a = \rho_{\text{cair}} V_b g$$

V_b = volume benda yang tercelup (m^3)

ρ_{cair} = massa jenis zat cair (kg/m^3)

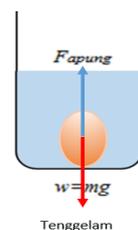
g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Jika suatu benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka akan ada 3 kemungkinan yang terjadi bisa tenggelam, melayang, atau terapung.

A. Tenggelam

Benda dinyatakan tenggelam dalam zat cair jika posisi benda selalu berada pada dasar tempat zat cair berada. Keadaan ini terjadi saat massa jenis zat cair lebih kecil dari massa jenis benda. ($\rho_b < \rho_f$)

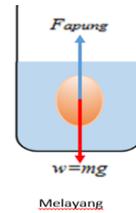
Contoh: Batu yang dimasukkan ke dalam air



B. Melayang

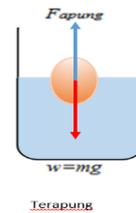
Benda melayang didalam zat cair jika posisi benda berada di bawah permukaan zat cair dan dari atas dasar tempat zat cair berada. Keadaan ini terjadi saat massa jenis zat cair sama dengan massa jenis benda. ($\rho_b = \rho_f$)

Contoh: telur ketika dimasukkan ke dalam air



C. Terapung

Benda terapung dalam zat cair jika posisi benda sebagian muncul dipermukaan zat cair dan sebagian terbenam dalam zat cair. Keadaan ini terjadi saat massa jenis zat cair lebih besar dari massa jenis benda. ($\rho_b > \rho_f$)



Silahkan dilihat pada: <https://www.youtube.com/watch?v=WzxePDMPs6c>

Terkait dengan benda yang berat tetapi dapat mengapung di permukaan air karena massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis air. Hal ini sudah disiratkan dalam kitab suci Al Qur'an sejak 14 abad yang lalu. Diantaranya dalam QS. Al Baqarah: 164:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالاخْتِلاَفِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ

“*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia.*”.

Imam Ibnu Katsir *rahimahullah* mengatakan bahwa manfaat bahtera di lautan adalah dapat memindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain.

Juga renungkan ayat berikut,

رَبُّكُمُ الَّذِي يُرْجِي لَكُمْ الْفُلْكَ فِي الْبَحْرِ لِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ إِنَّه كَانَ بِكُمْ رَحِيمًا

“*Rabb-mu adalah yang melayarkan kapal-kapal di lautan untukmu, agar kamu mencari sebahagian dari karunia-Nya. Sesungguhnya Dia adalah Maha Penyayang terhadapmu.*” (QS. Al Israa': 66).

Syaikh As Sa'di dalam *Taisir Karimir Rahman* berkata, “Kapal yang berada di lautan diambil manfaatnya. Berbagai barang dibawa untuk kepentingan manusia dan untuk dagang mereka. Ini semua karena rahmat Allah pada hamba-Nya. Allah senantiasa menyayangi hamba-Nya dan memberikan manfaat pada mereka.”

Juga dalam ayat lain disebutkan,

اللَّهُ الَّذِي سَخَّرَ لَكُمْ الْبَحْرَ لِتَجْرِيَ الْفُلُكُ فِيهِ بِأَمْرِهِ وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ

“*Allah-lah yang menundukkan lautan untukmu supaya kapal-kapal dapat berlayar padanya dengan seizin-Nya dan supaya kamu dapat mencari karunia-Nya dan mudah-mudahan kamu bersyukur.*” (QS. Al Jatsiyah: 12).

LATIHAN SOAL

1. Sepotong kayu di udara memiliki berat 25 N. Jika dimasukkan ke dalam air beratnya menjadi 15 N. Bila massa jenis air adalah 10^3 kg/m^3 dan percepatan gravitasinya 10 m/s^2 maka massa jenis kayu adalah ...

Penyelesaian :

Gaya Archimedes = berat di udara - berat di air

$$F_A = W_{\text{diudara}} - W_{\text{di fluida}}$$

$$\rho \cdot g \cdot V_{\text{benda yang tercelup}} = 25 - 15$$

$$1000 \cdot 10 \cdot V = 10$$

$$V = 10^{-3}$$

$$\rho = m/v$$

$$\rho = 2,5/10^{-3}$$

$$\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

2. Sebuah benda berbentuk kotak yang tingginya 20 cm dan memiliki massa jenis $0,75 \text{ gram/cm}^3$ mengapung di atas zat cair yang memiliki massa jenis $1,5 \text{ gram/cm}^3$. Tinggi kotak yang berada di permukaan zat cair adalah

Penyelesaian :

$$\rho_B \cdot V_B = \rho_f \cdot V_{BT}$$

$$\rho_B \cdot A \cdot h_B = \rho_f \cdot A \cdot h_{BT}$$

$$\rho_B \cdot h_B = \rho_f \cdot h_{BT}$$

$$0,75 \cdot 20 = 1,5 \cdot h_{BT}$$

$$h_{BT} = 10 \text{ cm}$$

Tinggi kotak yang muncul:

$$h_{\text{muncul}} = h_B - h_{BT}$$

$$h_{\text{muncul}} = 20 - 10$$

$$h_{\text{muncul}} = 10 \text{ cm}$$

APLIKASI HUKUM ARCHIMEDES DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI**A. Hidrometer**

Hidrometer adalah alat untuk mengukur massa jenis zat cair. Alat ini berbentuk tabung yang berisi pemberat dan ruang udara sehingga akan terapung tegak dan stabil seketika. Hidrometer bekerja sesuai dengan prinsip Archimedes. Dimana semakin besar massa jenis zat cair, maka akan semakin sedikit pula bagian hidrometer yang tenggelam. Hidrometer ini banyak dipakai untuk mengetahui besarnya kandungan air dalam susu, atau minuman lain.

**B. Balon Udara**

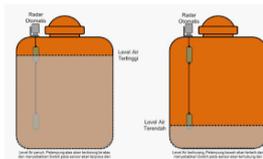
Agar balon udara dapat melayang di udara, diisi dengan gas yang memiliki massa jenis lebih kecil daripada massa jenis udara di atmosfer.



medaninside.com, Albuquerque – Festival Internasional Balloon Fiesta kembali digelar di Albuquerque, New Mexico, AS.

C. Kran Otomatis

Pada tangki penampungan air di rumah/kantor yang diletakkan pada ketinggian tertentu di dalamnya terdapat dua buah pelampung yang berfungsi untuk menghidupmatikan mesin pompa air atau sebagai kran otomatis sehingga air tidak akan luber.



Cara Memasang Pelampung otomatis tangki ...
duniaberbagilmuuntuksemua.blogspot.com

D. Kapal Laut

Kapal laut tidak tenggelam karena badan kapal mempunyai rongga yang sangat besar, dengan demikian volume air laut yang dipindahkan oleh badan kapal juga besar. Hal ini yang menghasilkan gaya apung kapal, karena gaya apung sebanding dengan volume air laut yang dipindahkannya.



Perjalanan 10 Kapal Pesiar Mewah Dunia ...
economy.okezone.com

E. Jembatan Ponton

Jembatan ponton terbuat dari kumpulan drum kosong yang berjajar diikat mejadi satu kesatuan sehingga membentuk jembatan yang akan bergerak naik turun mengikuti pasang surutnya air.



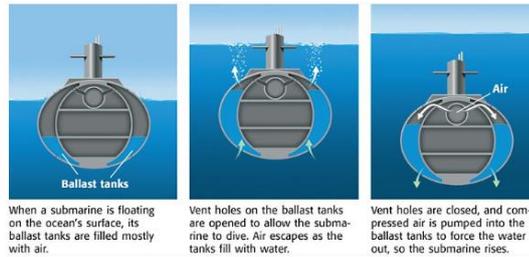
Jembatan Trestle Baja Konstruk...
m.indonesian.baileytrussbridge.com

F. Kapal Selam

Kapal selam memiliki ruang cadangan yang dipergunakan untuk menampung air laut atau udara. Jika akan menyelam, maka air laut dimasukkan ke dalam ruang cadangan sehingga membuat berat kapal bertambah. Sebaliknya untuk mengapung, maka kapal akan mengeluarkan air laut dari ruang cadangan. Untuk dapat dapat menyelam pada kedalaman tertentu dilakukan dengan mengatur jumlah air laut yang dimasukkan ke dalam ruang cadangan.



Kedatangan kapal selam KRI Ardadadali-404
elinea.id



<https://www.youtube.com/watch?v=RIbcrM7LeWA>

G. Galangan Kapal

Galang kapal berfungsi untuk membangun kapal atau memperbaiki kerusakan pada bagian bawah kapal. Prinsip yang digunakan seperti pada kapal selam, jika ada kapal yang akan masuk ke galangan, maka galangan dibuat tenggelam baru kapal yang akan diperbaiki dimasukkan. Setelah kapal masuk galangan dibuat terapung kembali.



pemerintah rilis kebijakan galangan kapal
slinea.id

TEGANGAN PERMUKAAN ZAT CAIR

Pernahkah ananda mengamati mengapa nyamuk atau serangga air dapat terapung di permukaan air? Atau pernahkah ananda mencoba meletakkan penjepit kertas, silet atau jarum tangan di atas permukaan air? Mengapa dapat seperti itu?

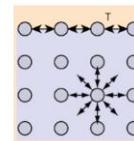
Jawabannya karena di permukaan air terdapat gaya ikat antar partikel air yang ke samping dan ke bawah sehingga seolah-olah merupakan selaput tipis yang dinamakan dengan tegangan permukaan. Kalau ananda perhatikan bentuk tetes air dan embun selalu berbentuk bola, apa alasannya?



Tegangan Permukaan dan Kapilaritas ...
fisikasekolah.com



Konsep Tegangan Permukaan Zat Cair ...
gunungeografi.id



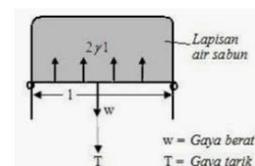
Gambar 17. Gaya pada molekul air
(sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/nbase/burten.html>)

Untuk mempraktekkannya kita dapat menggunakan peralatan yang sederhana seperti ini.

Seutas kawat dibengkokan hingga berbentuk U, dan seutas kawat kedua dapat meluncur pada kaki-kaki kawat U. Alat ini dicelupkan dalam larutan sabun kemudian dikeluarkan, kawat kawat U ditarik ke atas maka kawat yang lurus akan bergerak ke bawah dan akhirnya berhenti karena ada gaya yang menahan kawat tersebut

Pada saat seperti ini $\Sigma F = 0$, $F = T + w$.

Jika panjang kawat yang lurus adalah l . Larutan sabun yang menyentuh kawat kedua memiliki dua permukaan, sehingga gaya tegangan permukaan bekerja sepanjang $2l$ panjang permukaan. **Tegangan permukaan** (γ) dalam larutan sabun didefinisikan sebagai *perbandingan antara gaya tegangan*



Laporan Tegangan Permukaan
dokumen.tips

permukaan (F) dan panjang permukaan (d) di mana gaya itu bekerja. Secara matematis kita tulis:

$$\gamma = F/d, \text{ untuk } d = 2l \text{ sehingga}$$

$$\gamma = F/d$$

Berikut ini daftar tegangan permukaan beberapa zat cair yang umum dijumpai dalam keseharian.

Zat Cair yang Kontak dengan Udara	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan Permukaan ($\times 10^{-3} \text{ N/m}$)
Air	0	75,6
Air	25	72,0
Air	80	62,6
Etil Alkohol	20	22,8
Aseton	20	23,7
Gliserin	20	63,4
Raksa	20	43,5

Tugas: Carilah aplikasi tegangan permukaan dalam kehidupan sehari-hari!

KAPILARITAS

Pernahkan ananda memperhatikan mengapa pada musim penghujan bagian bawah dinding rumah terlihat seperti ada air yang naik sampai pada ketinggian tertentu? Atau mengapa air dari gelas yang penuh bisa mengalir ke gelas disampingnya yang semula kosong melalui kain atau tisu? Atau mengapa air tanah dapat mengalir ke pucuk daun pohon yang sangat tinggi? Tugas: Buatlah alat yang dapat menaikkan air tanah tanpa tenaga listrik.

Baiklah mari kita mulai pembahasan dimulai dari materi meniskus. Adakah yang sudah tahu?

A. Meniskus

Meniskus adalah merupakan kelengkungan bentuk permukaan fluida di dalam bejana, ada yang berbentuk cekung dan ada yang berbentuk cembung.



Gejala meniskus sangat terkait dengan adanya gaya adhesi dan gaya kohesi. Apa gaya adhesi dan gaya kohesi itu? Gaya adhesi adalah gaya tarik-menarik antara partikel yang tidak sejenis misal antara fluida dengan bejana. Sedangkan gaya kohesi adalah gaya tarik-menarik antara partikel yang sejenis. Tugas: carilah penyebab perbedaan antara kedua meniscus tersebut.

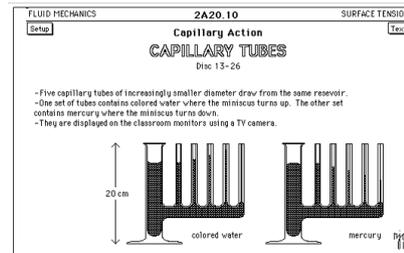
B. Kapilaritas.

Ananda sudah tahukah kalian apakah kapilaritas itu? Kapilaritas adalah gejala naik turunnya permukaan fluida dalam pipa kapiler yang disebabkan oleh adanya gaya adhesi dan kohesi.



What Is Capillary Action? » Science ABC
scienceabc.com

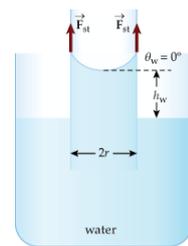
Di gambar sebelah ini ada dua bejana berhubungan yang sama, tetapi diisi dengan fluida yang berbeda. Yang kiri diisi air dan yang kanan diisi raksa terlihat yang diisi air pada pipa kapiler permukaannya paling tinggi sementara yang diisi raksa permukaannya paling rendah.



2A20_10.GIF
physics.bu.edu

Bagaimana cara menentukan tinggi rendahnya fluida dalam pipa kapiler. Pada gambar di samping jari-jari penampang pipa kapiler r , tegangan permukaan zat cair $\bar{\gamma}$, massa jenis zat cair ρ , dan besarnya sudut kontak θ .

Permukaan zat cair menyentuh dinding pipa sepanjang keliling lingkaran ($2\pi r$). Permukaan zat cair menarik dinding dengan gaya $\bar{F} = 2\pi r\bar{\gamma}$, membentuk sudut θ terhadap dinding ke arah bawah. Akibatnya, dinding menarik zat cair ke atas dengan gaya yang sama tetapi berlawanan arah.



$$w = F \cdot \cos \theta$$

$$mg = 2\pi r\gamma \cdot \cos \theta$$

$$\rho Vg = 2\pi r\gamma \cdot \cos \theta$$

$$\rho \pi r^2 y g = 2\pi r\gamma \cdot \cos \theta$$

sehingga $y = 2\gamma \cdot \cos \theta / \rho r g$

y : naik atau turunnya zat cair dalam pipa kapiler (m)

ρ : massa jenis zat cair (kg/m^3)

γ : tegangan permukaan zat cair (N/m)

r : jari-jari penampang pipa (m)

θ : sudut kontak

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

VISKOSITAS FLUIDA

Hampir semua ananda sudah memanfaatkan kendaraan bermotor sebagai alat transportasi sehari-hari, semua komponen mesin kendaraan dapat berfungsi normal karena adanya oli yang mempunyai ukuran kekentalan tertentu dan secara periodik harus diganti. Mengapa demikian?

Viskositas adalah ukuran tentang kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida yang terjadi karena gaya kohesi antar molekul fluida. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida, maka semakin sulit suatu fluida mengalir dan semakin sulit suatu benda bergerak di dalam fluidanya. Secara umum, viskositas η adalah perbandingan antara stress (F/A) dengan gradient kecepatan (v/l) dalam suatu fluida.

$$\eta = \frac{F/A}{v/l} \text{ atau } F = \frac{\eta Av}{l}$$

η = koefisien viskositas (Pa.s)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m²)

L = tebal lapisan (m)

A. Hukum Stokes

Jika suatu benda bergerak dengan kelajuan v dalam suatu fluida kental yang koefisien viskositasnya η , maka benda tersebut akan mengalami gaya gesekan fluida sebesar $F_s = k \eta v$, dengan k adalah konstanta yang bergantung pada bentuk geometris benda. Berdasarkan perhitungan laboratorium, pada tahun 1845, Sir George Stokes menunjukkan bahwa untuk benda yang bentuk geometrisnya berupa bola nilai $k = 6\pi r$. Bila nilai k dimasukkan ke dalam persamaan, maka diperoleh persamaan seperti berikut.

$$F_s = 6\pi\eta rv$$

Persamaan di atas selanjutnya dikenal sebagai hukum Stokes.

Keterangan:

F_s : gaya gesekan stokes (N)

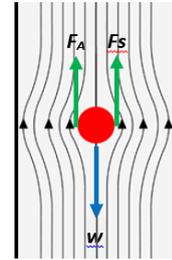
η : koefisien viskositas fluida (Pa s)

r : jari-jari bola (m)

v : kelajuan bola (m/s)

B. Kecepatan Terminal

Sebuah kelereng yang dilepaskan jatuh bebas dalam suatu fluida kental, kecepatannya makin membesar sampai mencapai suatu kecepatan terbesar yang tetap. Kecepatan terbesar yang tetap ini dinamakan **kecepatan terminal**. Mengapa demikian? Ini terjadi karena gaya tarik gravitasi dihambat oleh kekentalan fluida.



$$\Sigma F = 0, mg - f_a - F_f = 0, F_f = mg - f_a$$

$$v_t = \frac{(2r^2g)}{9\eta}(\rho_b - \rho_a)$$

v_t = kecepatan terminal (m/s)

r = jejari kelereng (m)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

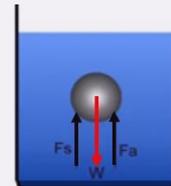
η =kekentalan fluida (Pa s)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m³)

ρ_a = massa jenis fluida (kg/m³)

LATIHAN SOAL

- Sebuah bola besi berdiameter 1 cm dijatuhkan secara bebas dalam oli yang massa jenisnya = 0,8 g/cm³. Jika koefisien kekentalan oli 0,03 Pas, massa jenis bola besi 2,6 g/cm³ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, kecepatan terbesar yang dicapai bola besi adalah



Penyelesaian :

$$v_t = \frac{(2r^2g)}{9\eta}(\rho_b - \rho_a)$$

$$v_t = 2 \cdot (0,5 \times 10^{-2})^2 \cdot 10 (2,6 - 0,8) / 9 \cdot 0,03$$

$$v_t = 16 \times 10^{-2} / 0,27$$

$$v_t = 59,25 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

LKS FLUIDA STATIS**A. TUJUAN**

Setelah melakukan percobaan peserta didik diharapkan dapat:

1. Menentukan besarnya gaya apung dan membuktikan hukum archimedes
2. Menentukan massa jenis sebuah fluida dengan hukum utama hidrostatis
3. Memahami konsep tegangan permukaan dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari
4. Memahami konsep kapilaritas dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari

B. ALAT DAN BAHAN

1. Statif
2. Beban dengan Massa yang berbeda
3. Gelas Ukur
4. Neraca Pegas
5. Pipa U
6. Air
7. Minyak makan
8. Mistar
9. Penjepit Kertas
10. Air
11. Gelas
12. Kerta tisu dan HVS
13. Pewarna

C. LANGKAH PERCOBAAN**Hukum Archimedes**

- 1) Siapkan alat dan bahan
- 2) Ikat benda dengan tali pada neraca pegas, ukurlah berat benda diudara dan dan berata benda di dalam air catat hasilnya pada tabel 5.1
- 3) Catat volum air sebelum (V_0) benda di masukan dan volum setelah (V) benda dimasukan Catat hasilnya pada tabel 5.1
- 4) Hitunglah massa jenis benda jika massa jenis air 1 gram/cm^3

Hukum Utama Hidrostatis

- 1) Siapkan pipa U, air, minyak goreng
- 2) Isi pipa U dengan air secukupnya
- 3) Tambahkan minyak goreng pada salah satu pipa
- 4) Dihitung kerapatan minyak goreng dengan menggunakan persamaan hukum utama hidrostatis
- 5) Ulangi kembali langkah 2-4 untuk volume berbeda .
- 6) Catat hasil percobaan pada tabel 5.2

Tegangan Permukaan

- 1) Isi sebuah gelas dengan air sampai penuh
- 2) Dengan hati-hati letakkan klip di permukaan air sehingga saat diletakkan, klip akan mengapung di permukaan air
- 3) Dengan keadaan klip mengapung, tambahkan sedikit larutan detergen atau larutan sabun ke dalam air. Maka klip segera tenggelam.

- 4) Perhatikan apa yang terjadi pada klip setelah air diberi detergen. Catat hasil pengamatan pada tabel 5.3

Kapilaritas

- 1) Siapkanlah satu lembar Kertas tisu, HVS, dan 2 buah gelas
- 2) Aduk Pewarna makanan pada segelas air
- 3) Masukkan salah satu ujung kertas tisu dan HVS pada gelas yang berisi air berwarna dan satunya pada gelas yang kosong
- 4) Amati apa yang terjadi pada kerta tisu dan HVS. Catat hasil pengamatan pada Tabel 5.4

D. DATA HASIL PERCOBAAN

Tabel 5.1 Data Hasil Percobaan Hukum Archimedes

No	Massa Beban (Gram)	Berat Beban Di Udara (W_u) (N)	Berat Beban Di Air (W_a) (N)	Volume Awal (V_0) (ml)	Volume Akhir (V_t) (ml)	Volume Benda (ml)	Massa Jenis Benda (P_{benda}) (G/Cm^3)
1	20						
2	40						
3	60						
4	80						
5	100						

Tabel 5.2 Data Hasil Percobaan Hukum Utama Hidrostatik

NO	h_{air} (cm)	h_{minyak} (cm)	ρ_{air} (g/cm^3)	ρ_{minyak} (g/cm^3)
1				
2				
3				
4				
5				

Tabel 5.3 Data Hasil Percobaan Tegangan Permukaan

Kegiatan	Hasil Pengamatan
Meletakkan penjepit kertas di atas air dengan hati-hati	
Air diberi detergen	

Tabel 5.4 Data Hasil Percobaan Kapilaritas

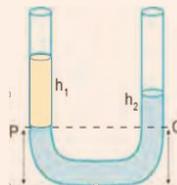
No	Hal yang Diamati	Kertas Tisu	Kertas HVS
1	Warna Kertas beberapa saat setelah kertas dimasukkan ke dalam gelas berisi air berwarna		
2	Kecepatan meresap		

UJI KOMPETENSI

- 1) Besar tekanan mutlak pada kedalaman 10 m dari permukaan air, jika massa jenis air $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ dan tekanan atmosfer $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ adalah
 - A. $1,99 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 - B. $1,79 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 - C. $1,59 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 - D. $1,39 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 - E. $1,09 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

- 2) Selisih tekanan hidrostatis di dalam kolam renang yang kedalamannya 165 cm adalah.... (Anggap massa jenis air $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$)
 - A. $1,65 \times 10^2 \text{ N/m}^2$
 - B. $1,65 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
 - C. $1,65 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
 - D. $0,83 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
 - E. $0,83 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

- 3) Sebuah pipa U mula-mula diisi air yang massa jenisnya 1000 kgm^{-3} kemudian pada salah satu pipa dituangkan minyak goreng sehingga posisi stabil tampak seperti gambar.



Jika tinggi kolom minyak 8 cm dan kolom air 5 cm, besarnya massa jenis minyak goreng adalah

- A. 650 kg.m^{-3}
- B. 625 kg.m^{-3}
- C. 600 kg.m^{-3}
- D. 575 kg.m^{-3}
- E. 550 kg.m^{-3}

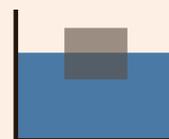
- 4) Sebuah dongkrak hidrolik mempunyai penampang kecil berjari 3 cm dan penghisap besar berjari 15 cm.



Jika pada penghisap kecil diberi gaya 40 N, maka gaya yang dihasilkan pada penampang yang besar adalah

- A. 200 N
 - B. 90 N
 - C. 80 N
 - D. 70 N
 - E. 60 N
- 5) Sepotong benda di udara memiliki berat 25 N. Jika dimasukkan ke dalam air beratnya menjadi 15 N. Bila massa jenis air adalah 10^3 kg/m^3 dan percepatan gravitasinya 10 m/s^2 . Besar massa jenis benda tersebut adalah
- A. $2,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - B. $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - C. $3,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - D. $3,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - E. $4,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
- 6) Sebuah benda yang berukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ mempunyai massa 0,5 kg terapung di permukaan air yang mempunyai massa jenis 1.000 kg/m^3 . Jika $2/5$ bagian balok muncul di permukaan zat cair dan percepatan gravitasi 10 m/s^2 maka besarnya gaya angkat adalah
- A. 0,25 N
 - B. 0,50 N
 - C. 0,75 N
 - D. 1,00 N
 - E. 1,25 N

- 7) Sebuah benda ketika dimasukkan ke dalam zat cair 1 terapung dengan $\frac{1}{2}$ bagian volumenya berada di bawah permukaan dan ketika dimasukkan ke dalam zat cair 2 terapung $\frac{3}{4}$ bagian volumenya berada di bawah permukaan, maka perbandingan massa jenis zat cair 1 dan 2 adalah



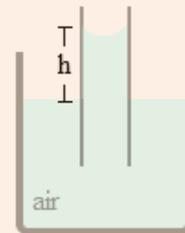
- A. 3 : 1
- B. 3 : 2
- C. 2 : 1
- D. 1 : 3
- E. 1 : 2

- 8) Sebuah kapal evakuasi sedang berusaha mengangkat kotak peti kemas bermassa total 4.500 kg yang jatuh ke laut. Kotak tersebut berukuran panjang 2 meter, lebar 1,5 meter, dan tinggi 1 meter. Massa jenis air laut saat itu 1.025 kg.m^{-3} dan percepatan gravitasi 10 m.s^{-2} maka besar gaya minimal yang dibutuhkan untuk mengangkat benda dari dasar laut ke permukaan adalah



- A. 12.500 N
- B. 13.250 N
- C. 13.750 N
- D. 14.000 N
- E. 14.250 N

- 9) Sebuah pipa dengan jejari 0,2 cm dimasukkan dalam sebuah bejana yang berisi fluida yang massa jenisnya 1 gr/cm^3 secara tegak lurus dengan sudut kontak sudut 30° . Apabila tegangan permukaan fluida tersebut $0,5\sqrt{3} \text{ N/m}$. Kenaikan fluida dalam pipa tersebut sebesar



- A. 4,5 cm
- B. 5,5 cm
- C. 6,5 cm
- D. 7,5 cm
- E. 8,5 cm

- 10) Setetes air terjun yang memiliki jari-jari 0,3 mm jatuh di udara (ρ udara = $1,29 \text{ kg.m}^{-3}$) dan dengan koefisien viskositas = $1,8 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, kecepatan air terjun tersebut adalah

- A. 10,07 m/s
- B. 10,27 m/s
- C. 10,47 m/s
- D. 10,67 m/s
- E. 10,87 m/s

PEMBELAJARAN

KOMPETENSI DASAR DAN INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Kompetensi Dasar	Indikator
3.4 Menerapkan prinsip fluida dinamik dalam teknologi	3.4.1 Menemukan persamaan kontinuitas melalui berbagai sumber 3.4.2 Menemukan persamaan hukum Bernoulli melalui berbagai sumber 3.4.3 Menjelaskan kaitan antara kecepatan aliran dengan luas penampang, 3.4.4 Menjelaskan hubungan antara kecepatan aliran dengan tekanan fluida 3.4.5 Menjelaskan penyelesaian masalah terkait penerapan azas kontinuitas dan azas Bernoulli
4.4 Membuat dan menguji proyek sederhana yang menerapkan prinsip dinamika fluida	4.4.1 Membuat ilustrasi tiruan aplikasi Azas Bernoulli (alat venturi, kebocoran air, atau sayap pesawat) secara berkelompok 4.4.2 Mempresentasikan laporan hasil produk tiruan aplikasi azas Bernoulli

Tujuan Pembelajaran

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peerta didik dapat menguasai keterampilan dalam menemukan persamaan kontinuitas melalui berbagai sumber, menemukan persamaan hukum Bernoulli melalui berbagai sumber, menjelaskan kaitan antara kecepatan aliran dengan luas penampang, menjelaskan hubungan antara kecepatan aliran dengan tekanan fluida, menjelaskan penyelesaian masalah terkait penerapan azas kontinuitas dan azas Bernoulli, membuat ilustrasi tiruan aplikasi Azas Bernoulli (alat venturi, kebocoran air, atau sayap pesawat) secara berkelompok, mempresentasikan laporan hasil produk tiruan aplikasi azas Bernoulli, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

BAB IV

Fluida Dinamis

Bagaimanakah distribusi air PAM ke pelanggan? Bagaimana pula distribusi gas Negara ke pelanggan? Bagaimana BBM dipindahkan ke tanki kendaraan ananda? Jawaban semuanya adalah distribusi melalui pipa sehingga sampai ke ke pelanggan.

Fluida dinamis adalah fluida yang dapat mengalir. Perlu kita kenali ciri-cirinya:

- 1) Tidak kompresibel, jika diberi tekanan maka volumenya tidak berubah
- 2) Tidak mengalami gesekan, Pada saat mengalir, gesekan fluida degan dinding dapat diabaikan.
- 3) alirannya stasioner, tiap paket fluida memiliki arah aliran tertentu dan tidak terjadi turbulensi (pusaran-pusaran).
- 4) alirannya tunak (steady), aliran fluida memiliki kecepatan yang konstan terhadap waku

Kata hidrodinamika pertama dikenalkan oleh Daniel Bernoulli pada tahun 1700-1783 untuk mengenalkan dua macam ilmu hidrostatis dan hidraulik. Beliau mengeluarkan teori yang terkenal dengan nama teori Bernoulli.

Fluida Dinamis (Fluida Bergerak) atau Hidrodinamika merupakan salah satu cabang ilmu yang berhubungan dengan gerak liquid atau lebih dikhususkan pada gerak air. Skala atau lingkup analisis ilmu ini adalah pada gerak partikelir air atau dapat disebut dalam skala makroskopik. Skala makroskopik disini memiliki maksud air tersusun dari partikel-partikel fluida.

(<http://diantysiallagan.blogspot.com/2016/09/makalah-kelompok-8-dasar-dasar.html>)

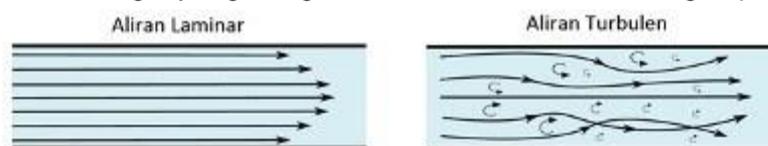
Sebelum berlanjut kita simak terlebih dahulu QS Al Furqan : 53 berikut ini

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ
بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّخْجُورًا

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”.

Jenis aliran fluida:

- 1) Aliran laminar, yaitu suatu aliran fluida yang seluruh partikelnya meluncur secara bersamaan atau serentak menurut lintasan masing-masing. Misal aliran fluida di dalam pipa.
- 2) Aliran turbulen, yaitu suatu aliran fluida yang tidak seluruh partikelnya meluncur secara bersamaan dan lintasan yang dilaluinya acak. Misalnya aliran air di sungai yang dangkal atau aliran air di belakang kapal.



DEBIT (Q)

Ada apa diantara anda yang belum tahu arti kata debit?

Debit yang akan kita bahas tidak terkait dengan kartu kredit atau atm, melainkan terkait dengan fluida.

Debit adalah banyaknya volume fluida yang mengalir setiap waktu



$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{A \times l}{t}$$

$$Q = Av$$

Q = debit aliran fluida (m³/s)

V = volume fluida (m³)

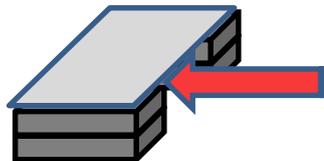
t = selang waktu (s)

A = luasan penampang aliran (m²)

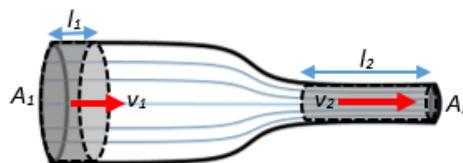
v = kecepatan aliran fluida (m/s)

KONTINUITAS

Siapa yang pernah menyemprotkan air untuk menyiram taman? Bagaimana kalau jangkauannya dekat dan jauh dari tempat anda berdiri adakah perbedaan perlakuan?



Bisa dicoba buatlah terowongan angin dengan menumpuk buku di dua sisi yang sama tingginya, kemudian letakkan kertas HVS di atas tumpukan buku tersebut dan tiupkanlah udara di antara kedua tumpukan buku tersebut! Sebelum dilakukan kira-kira kemana kertas HVS tadi akan bergerak ke atas atau ke bawah? Sekarang cobalah tiupkan udara di terowongan tersebut, terbuktikan perkiraanmu tadi? Mengapa bisa demikian?



Di bawah ini ada gambar yang mempermudah pemahaman anda, kalau jangkauannya dekat ujung selang air normal, tetapi kalau jangkauannya jauh maka ujung selang air dipersempit. Dengan berpedoman bahwa debit air tetap,

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Dengan:

A₁ = luas penampang 1

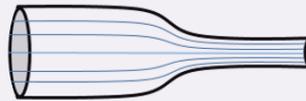
A₂ = luas penampang 2

v₁ = kecepatan fluida 1

v₂ = kecepatan fluida 2

LATIHAN SOAL

1) Pada gambar dibawah ini diketahui kecepatan fluida pada penampang besar 5 m/s.



Berapa kecepatan aliran fluida pada penampang kecil jika diameter penampang besar dua kali dari diameter penampang kecil?

Penyelesain :

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

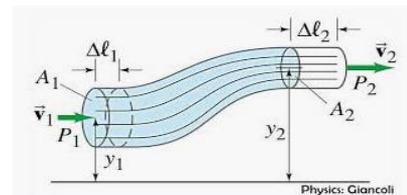
$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{5A_1}{0,5A_1}$$

$$v_2 = 10 \text{ m/s}$$

HUKUM BERNOULLI

Ananda masih ingat dengan hokum kekekalan energi? Dengan dasar inilah Bernoulli menurunkannya,yaitu dengan membagi setisp unit volume fluida yang mengalir sehingga menjadi sebuah Hukum dengan pernyataan yang baru bahwa fluida pada keadaan tunak, ideal, dan inkompresibel, jumlah tekanan, energy kinetic dan energy potensialnya memiliki nilai yang sama di sepanjang aliran.



Konsep dan Contoh Soal Fluida Dinamis ...
lakonfisika.net

$$Em_1 = Em_2$$

$$P_1 + Ek_1 + Ep_1 = P_2 + Ek_2 + Ep_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

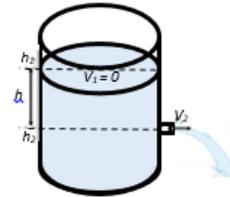
- P = Tekanan (Pa)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- h = ketinggian (m)
- v = kecepatan aliran fluida (m/s)

APLIKASI HUKUM BERNOULLI

A. Teorema Toricelli

Adakah rumah tempat tinggalmu yang tidak mempunyai tandon air? Dimana tandon air biasanya diletakkan? Apa fungsinya?

Pada saat ananda membuka kran air di tempat wudlu atau bak mandi air akan menyembur keluar dari lubang penyimpanan/tandon air itu yang dinamakan dengan teorema Toricelli. Besarnya energi kinetik air yang menyembur keluar dari kran sama dengan besar energi potensialnya. Sehingga jika ananda menginginkan air yang keluar dari kran semakin cepat, maka tandon air diletakkan di tempat yang lebih tinggi.



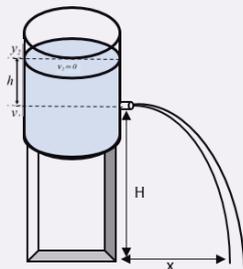
$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho g h_2$$

$$v_1^2 = 2 g h_2$$

$$\text{atau } v = \sqrt{2 g h}$$

LATIHAN SOAL

- 1) Sebuah tandon air dengan lubang kebocoran, jarak lubang ke tanah adalah 10 m dan jarak lubang ke permukaan air adalah 320 cm.



Tentukan:

- Kecepatan keluarnya air
- Jarak mendatar terjauh yang dicapai air
- Waktu yang diperlukan bocoran air untuk menyentuh tanah

Penyelesaian :

- a) Kecepatan keluarnya air

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \times 10 \times 32} = 8 \text{ m/s}$$

- b) Jarak mendatar terjauh yang dicapai air

$$x = 2\sqrt{hH}$$

$$x = 2\sqrt{3,2 \times 10} = 8\sqrt{2} \text{ m}$$

- c) Waktu yang diperlukan bocoran air untuk menyentuh tanah

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad t = \sqrt{\frac{2 \times 10}{10}} = \sqrt{2} \text{ sekon}$$

B. Venturimeter

Venturimeter dapat dipakai untuk mengukur laju aliran fluida, misalnya menghitung laju aliran air atau minyak yang mengalir melalui pipa. Venturimeter digunakan sebagai pengukur volume fluida misalkan minyak yang mengalir tiap detik.

Venturimeter tanpa manometer

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1$$

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 ;$$

karena $h_1 = h_2$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho \left\{ \left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1^2 - v_1^2 \right\}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1 \right]$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

Dari pers (4) dan (5)

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1 \right] = \rho g h$$

$$\rho v_1^2 = 2 \frac{\rho g h}{\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1 \right]}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 g h}{\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1 \right]}}$$

Untuk venturimeter dengan manometer

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1$$

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho' v_2^2$$

; karena $h_1 = h_2$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1^2 - v_1^2 \right)$$

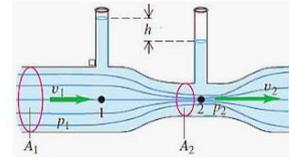
$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1 \right]$$

$$P_A = P_1 + \rho g y_1 \text{ dan } P_B = P_2 + \rho g y_2 + \rho' g h$$

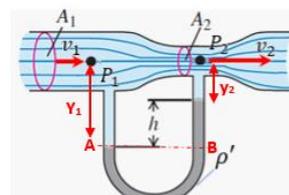
$$P_1 + \rho g y_1 = P_2 + \rho g y_2 + \rho' g h \text{ dan } y_2 = y_1 - h$$

$$P_1 - P_2 = -\rho g y_1 + \rho g y_2 + \rho' g h$$

$$P_1 - P_2 = -\rho g y_1 + [\rho g (y_1 - h) + \rho' g h]$$



Venturimeter - Ayo Sekolah Fisika
ayo-sekolahfisika.com



Venturimeter dengan Manometer - Ayo ...
ayo-sekolahfisika.com

$$P_1 - P_2 = (\rho' - \rho)gh$$

Dari pers (4) dan (5)

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] = (\rho' - \rho)gh$$

$$v_1 = \frac{\sqrt{2gh(\rho' - \rho)}}{\sqrt{\left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}}$$

karena

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) v_1$$

maka,

$$v_1 = \frac{\sqrt{2gh(\rho' - \rho)}}{\sqrt{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

v_1 : Kecepatan aliran pada permukaan 1 (m/s)

v_2 : Kecepatan aliran pada permukaan 2 (m/s)

A_1 : Luas penampang 1 (m²)

A_2 : Luas penampang 2 (m²)

h : Beda ketinggian permukaan fluida pd manometer (m)

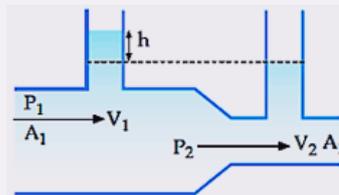
ρ : Massa jenis fluida pada venturimeter (kg/m³)

ρ' : Massa jenis fluida pada manometer (kg/m³)

g : Kecepatan gravitasi (m/s²)

LATIHAN SOAL

- 1) Untuk mengukur kecepatan aliran air pada pipa air PAM horizontal digunakan venturimeter seperti gambar berikut ini!



Jika luas penampang pipa besar adalah 5 cm² dan luas penampang pipa kecil adalah 3 cm² serta perbedaan ketinggian air pada dua pipa vertikal adalah 20 cm berapakah:

- kecepatan air saat mengalir pada pipa besar
- kecepatan air saat mengalir pada pipa kecil

Penyelesaian :

$$v_1 = A_1 \sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}}$$

a) kecepatan air saat mengalir pada pipa besar

$$v_1 = A_1 \sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}}$$

$$v_1 = 3 \sqrt{\frac{2 \times 10 \times 0,2}{5^2 - 3^2}}$$

$$v_1 = 3 \sqrt{\frac{4}{16}}$$

$$v_1 = 1,5 \text{ m/s}$$

b) kecepatan air saat mengalir pada pipa kecil

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{3}{2} \times 5 = 3 v_2$$

$$v_2 = 2,5 \text{ m/s}$$

C. Tabung pitot

Tabung pitot atau manometer adalah alat untuk mengukur kecepatan angin atau alat untuk mengukur kecepatan gas yang mengalir pada sebuah pipa.

Aliran gas pada pipa penampang pertama sebagai berikut

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \dots (1)$$

Ketinggian h_1 dan ketinggian h_2

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \dots (2)$$

kecepatan gas penampang A_2 adalah nol, maka

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \dots (3)$$

beda tekanan antara penampang 2 dan penampang 1

$$P_R = \rho g y + \rho' g h + P_1$$

$$P_S = \rho g y + \rho g h + P_2$$

$$P_2 - P_1 = \rho' g h - \rho g h$$

$$P_2 - P_1 = g h (\rho' - \rho)$$

atau

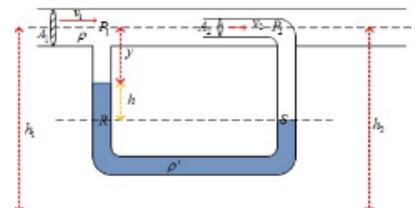
$$v_1^2 = \frac{2 g h (\rho' - \rho)}{\rho}$$

Karena $\rho' \gg \rho$ maka persamaan kecepatan aliran gas bisa kita tentukan menurut persamaan di bawah ini

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 g h (\rho' - \rho)}{\rho}}$$

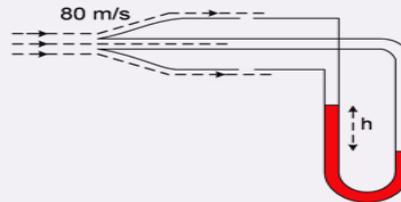
atau

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 g h \rho'}{\rho}}$$



LATIHAN SOAL

- 1) Sebuah pipa pitot yang dihubungkan dengan pipa U pada lengan tabung dan diisi dengan cairan yang memiliki massa jenis 750 kg/m^3 digunakan untuk mengukur kelajuan aliran udara.



Jika hasil pengukuran kelajuan udara adalah $2,88 \cdot 10^5 \text{ km/jam}$ massa jenis udara $0,5 \text{ kg/m}^3$ tentukan perbedaan tinggi cairan dalam pipa, gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$!

Penyelesaian :

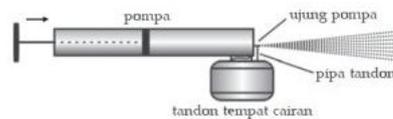
$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh\rho'}{\rho}}$$

$$h = \frac{\rho v_1^2}{2gh\rho'}$$

$$h = \frac{0,5 \times 80^2}{2 \times 10 \times 750 \times 10} = 0,2133 \text{ m} = 21,33 \text{ cm}$$

D. Penyemprot Serangga

Saat ananda menekan batang pengisap, udara dipaksa keluar dari tabung pompa melalui tabung sempit pada ujungnya.



Penyemprot racun serangga

Semburan udara yang bergerak dengan cepat mampu menurunkan tekanan pada bagian atas tabung tandon yang berisi cairan racun, sehingga tekanan atmosfer pada permukaan cairan turun dan memaksa cairan naik ke atas tabung. Semburan udara berkecepatan tinggi meniup cairan, sehingga cairan dikeluarkan sebagai semburan kabut halus

E. Sayap Pesawat terbang

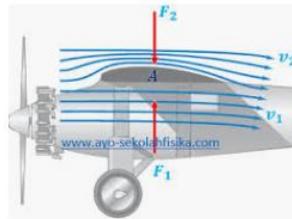
Sebelum masuk ke materi ini kita kaji dulu kalam Allah dalam Quran Surat An-Nahl Ayat 79:

أَلَمْ يَرَوْا إِلَى الطَّيْرِ مُسَخَّرَاتٍ فِي جَوِّ السَّمَاءِ مَا يُمَسِّكُهُنَّ إِلَّا اللَّهُ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ

“Tidakkah mereka memperhatikan burung-burung yang dimudahkan terbang diangkasa bebas. Tidak ada yang menahannya selain daripada Allah. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang beriman”.



Tahukah ananda bagaimana pesawat terbang dapat mengudara? Pesawat terbang dapat terangkat ke udara karena kelajuan udara yang melalui sayap pesawat tersebut, pesawat terbang tidak dapat terangkat jika tidak ada udara. Penampang sayap pesawat terbang memiliki bagian belakang yang tajam dan sisi bagian atas yang lebih melengkung dari sisi bagian bawahnya.



Gaya Angkat pesawat terbang - Ayo ...
ayo-sekolahfisika.com

Bentuk ini membuat kecepatan aliran udara melalui muka bagian atas lebih besar dari kecepatan aliran udara melalui muka bagian bawah pada saat pesawat tinggal landas.

Besarnya gaya angkat pesawat terbang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2. \text{ Ketinggian } h_1 \text{ dan ketinggian } h_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{(F_1 - F_2)}{A}$$

$$\frac{(F_1 - F_2)}{A} = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2)$$

$$(F_1 - F_2) = \frac{1}{2}\rho A(v_1^2 - v_2^2)$$

P_1 = tekanan di bawah sayap

P_2 = tekanan di atas sayap

F_1 = gaya di bawah sayap

F_2 = gaya di atas sayap

v_1 = kecepatan udara di bawah sayap

v_2 = kecepatan udara di atas sayap

ρ = massa jenis udara

A = luas penampang sayap

Jadi pada saat pesawat akan terangkat ke atas, tekanan udara pada bagian bawah lebih besar daripada tekanan udara pada bagian atas.

LATIHAN SOAL

- 1) Sebuah pesawat terbang dengan gaya angkat $1,1 \cdot 10^6$ N serta memiliki luas penampang sayap sebesar 80 m^2 terbang dengan kecepatan aliran udara di bawah sayap adalah 900 km/jam dan massa jenis udara luar adalah $1,0 \text{ kg/m}^3$, besar kecepatan aliran udara di bagian atas sayap pesawat adalah



Penyelesaian :

$$F = \frac{1}{2} \rho A (v_2^2 - v_1^2)$$

$$1,1 \times 10^6 = \frac{1}{2} \times 1 \times 80 (v_1^2 - 250^2)$$

$$27500 = (v_1^2 - 62500)$$

$$v_1^2 = 90000$$

$$v_1 = 300 \text{ m/s}$$

LKS FLUIDA DINAMIS

A. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan peserta didik diharapkan dapat:

1. Menentukan besarnya kecepatan aliran fluida
2. Menentukan jangkauan mendatar dari ketinggian yang berbeda
3. Memahami konsep debit dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari

B. DASAR TEORI

.....

C. ALAT DAN BAHAN

1. Botol bekas
2. Paku
3. Penggaris panjang
4. Stopwatch
5. Gunting
6. Lakban



D. LANGKAH PERCOBAAN

1. Siapkan alat dan bahan
2. Ambil botol bekas dan paku yang sudah disediakan, lubangi botol dengan menggunakan paku. Buat lubang secara merata dengan arah vertikal dan berilah jarak dengan paenggaris sebanyak tiga buah.
3. Tutup lubang dengan nmenggunaka lakban
4. Isi botol engan air sampaihampir penuh
5. Ukur jarak lubang dari permukaan air
6. Letakkan penggaris panjang di atas tanah, kemudian buka lakban.
7. Catat jarak yang dapat dijangkau oleh air tersebut.
8. Lakukan juga untuk lubang 2, 3, 4 dan 5.

E. DATA HASIL PERCOBAAN

Tabel 5.1 Data Hasil Percobaan 1

No	Jarak	Waktu	Tinggi lubang dari tanah	Tinggi lubang dari permukaan air	kecepatan
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 5.2 Data Hasil Percobaan 2

No	Waktu	Tinggi lubang dari tanah	Tinggi lubang dari permukaan air	Jangkauan mendataar
1				
2				
3				
4				
5				

UJI KOMPETENSI

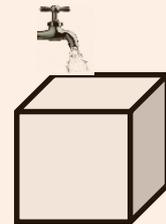
1) Perhatikan gambar berikut ini!



Jika diameter penampang besar dua kali diameter penampang kecil, kecepatan aliran fluida pada pipa kecil adalah....

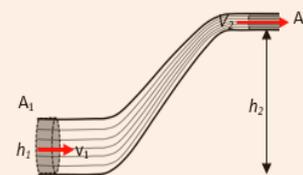
- A. 1 m.s^{-1}
- B. 4 m.s^{-1}
- C. 8 m.s^{-1}
- D. 16 m.s^{-1}
- E. 20 m.s^{-1}

2) Seseorang sedang mengisi bak mandi yang memiliki kapasitas 200 liter dengan air dari sebuah kran seperti gambar berikut! Jika luas penampang kran dengan diameter D_2 adalah 2 cm^2 dan kecepatan aliran air di kran adalah 10 m/s . Besar debit air dan waktu yang diperlukan untuk mengisi bak mandi tersebut sebesar



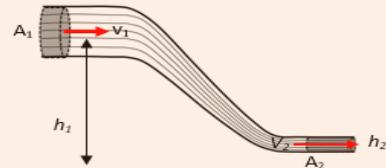
- F. $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan 100 sekon
- G. $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan 110 sekon
- H. $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan 100 sekon
- I. $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan 120 sekon
- J. $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan 100 sekon

3) Dari gambar disamping luas penampang besar 10 cm^2 dan penampang kecil 5 cm^2 . Apabila kecepatan aliran air pada pipa besar $7,2 \text{ km/jam}$ dengan tekanan $4,0 \cdot 10^3 \text{ pa}$ maka tekanan pada pipa kecil adalah ($\rho_{\text{air}} = 10^3 \text{ kg/m}$)

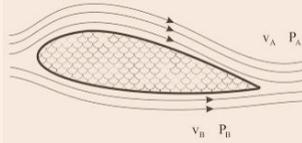


- A. 36 kPa
- B. 34 kPa
- C. 32 kPa
- D. 30 kPa
- E. 28 kPa

- 4) Posisi pipa besar adalah 5 m di atas tanah dan pipa kecil 1 m di atas tanah. Kecepatan aliran air pada pipa besar adalah 36 km/jam dengan tekanan $9,1 \times 10^5$ Pa, sedangkan tekanan di pipa yang kecil 2×10^5 Pa. Jika massa jenis air 1000 kg/m^3 maka kecepatan air pada pipa kecil adalah
- A. 20 m/s
 - B. 30 m/s
 - C. 40 m/s
 - D. 45 m/s
 - E. 50 m/s

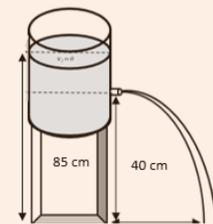


- 5) Sayap pesawat terbang dirancang agar memiliki gaya angkat ke atas maksimum, seperti gambar berikut ini!

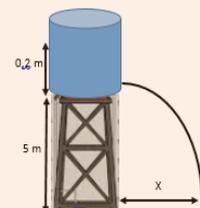


Jika v adalah kecepatan aliran udara dan P adalah tekanan udara maka sesuai dengan asas Bernoulli, rancangan tersebut dibuat agar

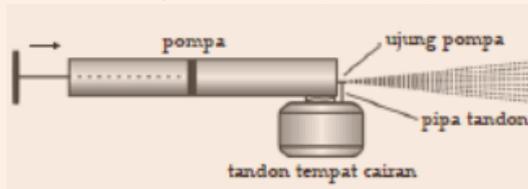
- A. $v_A > v_B$ sehingga $P_A > P_B$
 - B. $v_A > v_B$ sehingga $P_A < P_B$
 - C. $v_A < v_B$ sehingga $P_A < P_B$
 - D. $v_A < v_B$ sehingga $P_A > P_B$
 - E. $v_A > v_B$ sehingga $P_A = P_B$
- 6) Sebuah bak yang berisi air dan terdapat sebuah kran seperti pada gambar berikut ini. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$ maka kecepatan semburan air dari kran adalah
- A. 2 m/s
 - B. 3 m/s
 - C. 5 m/s
 - D. 7 m/s
 - E. 9 m/s



- 7) Air di dalam bak setinggi 0,2 m terletak 5 m di atas permukaan tanah, jika di dasar bak terdapat lubang kran kecil sehingga air memancar keluar dan jatuh di permukaan tanah pada jarak R . Jika $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, nilai x adalah
- A. 1,50 meter
 - B. 1,75 meter
 - C. 2,00 meter
 - D. 2,25 meter
 - E. 2,50 meter



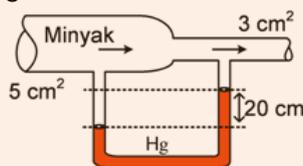
8) Perhatikan gambar alat penyemprot nyamuk pada gambar di bawah ini!



Ketika batang penghisap M ditekan, udara dipaksa keluar dari tabung pompa dengan kecepatan v melalui lubang pada ujungnya. P menyatakan tekanan dan v menyatakan kecepatan alir cairan obat nyamuk, maka pernyataan yang benar dari prinsip kerja penyemprot nyamuk tersebut adalah

- A. $P_1 < P_2$, maka $v_1 < v_2$
- B. $P_1 > P_2$, maka $v_1 < v_2$
- C. $P_1 < P_2$, maka $v_1 > v_2$
- D. $P_1 > P_2$, maka $v_1 > v_2$
- E. $P_1 = P_2$, maka $v_1 = v_2$

9) Sebuah venturimeter yang dihubungkan dengan manometer seperti pada gambar berikut ini.



Digunakan untuk mengukur kelajuan aliran fluida yang memiliki massa jenis 800 kg/m^3 . Jika luas penampang pipa besar adalah 5 cm^2 , luas penampang pipa kecil 3 cm^2 dan beda ketinggian Hg pada manometer adalah 20 cm , maka kelajuan fluida saat memasuki pipa sebesar ... (gunakan $g = 10 \text{ /s}^2$ dan massa jenis Hg adalah 13600 kg/m^3).

- A. 3 m/s
- B. 4 m/s
- C. 5 m/s
- D. 6 m/s
- E. 9 m/s

10) Gambar di bawah ini menunjukkan gambar penampang lintang sayap pesawat terbang yang luasnya 40 m^2 ! Gerak pesawat terbang menyebabkan kelajuan aliran udara di bagian atas sayap sebesar 250 m/s dan kelajuan udara di bagian bawah sayap sebesar 200 m/s . Jika kerapatan udara adalah $1,2 \text{ kg/m}^3$ maka besar gaya angkat pesawat adalah



- A. 540.000 N
- B. 520.000 N
- C. 500.500 N
- D. 490.000 N
- E. 475.000 N

PEMBELAJARAN

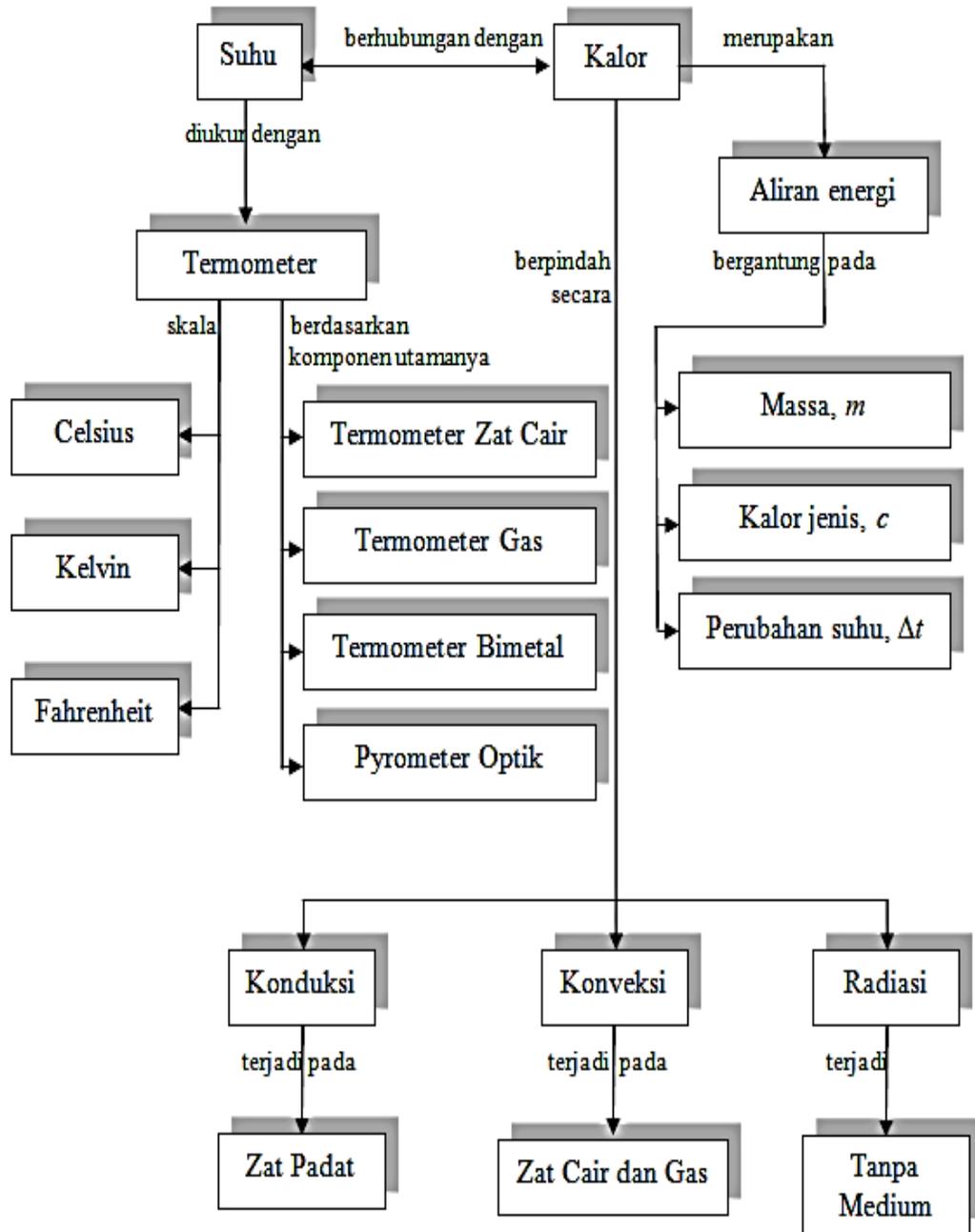
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator
3.5 Menganalisis pengaruh kalor dan perpindahan kalor yang meliputi karakteristik termal suatu bahan, kapasitas, dan konduktivitas kalor pada kehidupan sehari-hari	3.5.1 Menganalisis pemuaian pada rel kereta api, pemanasan es menjadi air, konduktivitas logam (aluminium, besi, tembaga, dan timah). 3.5.2 Menganalisis pengaruh kalor terhadap perubahan suhu benda 3.5.3 Menganalisis pengaruh perubahan suhu benda terhadap ukuran benda (pemuaian) 3.5.4 Menganalisis perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi
4.5 Merancang dan melakukan percobaan tentang karakteristik termal suatu bahan, terutama terkait dengan kapasitas dan konduktivitas kalor, beserta presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya	4.5.1 Melakukan percobaan tentang pengaruh kalor terhadap suhu, wujud, dan ukuran benda, menentukan kalor jenis atau kapasitas kalor logam dan mengeksplorasi tentang azas Black dan perpindahan kalor 4.5.2 Mengolah data dan menganalisis hasil percobaan tentang kalor jenis atau kapasitas kalor logam dengan menggunakan kalorimeter 4.5.3 Membuat laporan hasil percobaan dan mempresentasikannya

Tujuan Pembelajaran

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peserta didik dapat menganalisis pengaruh kalor dan perpindahan kalor yang meliputi karakteristik termal suatu bahan, kapasitas, dan konduktivitas kalor pada kehidupan sehari-hari dan merancang dan melakukan percobaan tentang karakteristik termal suatu bahan, terutama terkait dengan kapasitas dan konduktivitas kalor, beserta presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

PETA KONSEP



BAB IV

Suhu dan Kalor

SUHU

Suhu berfungsi untuk menyatakan derajat panas atau dinginnya suatu zat. Dimensi suhu adalah θ dengan satuan SI yang disebut kelvin (K). Suhu juga merupakan besaran pokok. Perubahan suhu pada suatu benda dapat mengakibatkan perubahan besaran lain pada benda itu. Misalnya volume, tekanan, dan daya hantar listriknya. Sifat – sifat suatu besaran pada benda yang dipengaruhi suhu disebut sifat termometrik, sedangkan besaran – besaran itu disebut besaran – besaran termometrik.

Sifat – sifat termometrik yang dimiliki besaran pada suatu zat dapat digunakan sebagai petunjuk tinggi rendahnya suhu sekitarnya. Fakta tersebut digunakan dalam pembuatan alat pengukur suhu yang dikenal sebagai termometer.

Faktor	Celcius	Fahrenheit	Reamur	Kelvin
Titik tetap bawah	0°C	32°F	0°R	273 K
Titik tetap atas	100°C	212°F	80°R	373 K
Jarak antara titik tetap bawah dan titik tetap atas	100 skala	180 skala	80 skala	100 skala

Skala termometer yang dipakai negara Amerika Serikat dan beberapa negara lain adalah skala Fahrenheit, sedangkan di Indonesia adalah skala Celcius.

<ul style="list-style-type: none"> Konversi skala Celcius – Reamur $T_C = \frac{5}{4} T_R$ atau $T_R = \frac{4}{5} T_C$ Konversi skala Celcius – Fahrenheit $T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$ atau $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$ Konversi Skala Celcius – kelvin $T_C = T_K - 273$ atau $T_K = T_C + 273$ 	<ul style="list-style-type: none"> Konversi Skala Reamur – Fahrenheit $T_R = \frac{4}{5}(T_F - 32)$ atau $T_F = \frac{9}{4}T_R + 32$ Konversi skala Reamur – Kelvin $T_R = \frac{4}{5}(T_K - 273)$ atau $T_K = \frac{5}{4} T_R + 273$ Konversi skala Fahrenheit – Kelvin $T_F = \frac{9}{5}(T_K - 273)$ atau $T_K = \frac{5}{9}(T_F - 32) + 273$
--	---

KALOR

Kalor adalah salah satu bentuk energi yang mengalir karena perbedaan suhu. Ketika dua benda yang memiliki perbedaan suhu bertemu maka kalor akan mengalir (berpindah) dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Contoh di kehidupan sehari-hari adalah ketika kita mencampurkan air dingin dengan air panas, maka kita akan mendapatkan air hangat.

Suhu dan kalor merupakan sesuatu yang berbeda. Suhu adalah nilai yang terukur pada termometer, sedangkan kalor adalah energi yang mengalir dari suatu benda ke benda lainnya. Jika sejumlah Q kalor diberikan pada suatu benda bermassa m hingga menyebabkan kenaikan suhu benda sebesar ΔT , maka besar kenaikan suhu tersebut sebanding dengan besar kalor dan berbanding terbalik dengan massa benda itu, serta berbanding terbalik pula dengan suatu besaran karakteristik benda yang disebut kalor jenis / kalor spesifik. Dalam bentuk persamaan, pernyataan diatas dapat dituliskan sebagai :

$$Q = m c \Delta T$$

dengan c adalah kalor jenis benda. kalor jenis benda adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu 1 kilogram massa benda sebesar 1°C atau 1 K. Sedangkan kapasitas kalor (C) adalah banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan suhu benda sebesar $1^{\circ}\text{C} / 1 \text{ K}$, sehingga persamaan menjadi :

$$Q = C \Delta T$$

Joseph Black, seorang ilmuwan inggris menemukan fakta bahwa : “banyaknya kalor yang dilepas zat yang suhunya lebih tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diterima oleh benda yang bersuhu lebih rendah” Pernyataan diatas disebut asas Black yang dalam bentuk persamaan sederhana dapat ditulis :

$$Q_{\text{dilepas}} = Q_{\text{diterima}}$$

Q_{dilepas} = kalor yang dilepas oleh benda bersuhu tinggi

Q_{diterima} = kalor yang diserap oleh benda bersuhu rendah

Besar kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud benda sebanding dengan massa benda dan nilai karakteristik benda itu yang diwakili suatu besaran yang disebut kalor laten. Kalor laten (L) dapat didefinisikan sebagai besar kalor (Q) yang diperlukan oleh massa (m) 1 kilogram zat tersebut untuk berubah wujud. Kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud benda dapat dirumuskan dengan :

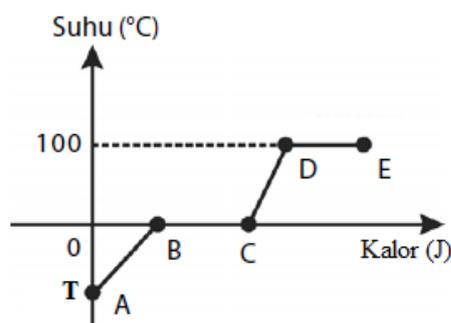
Ada dua macam kalor laten sehubungan dengan perubahan wujud zat, yaitu :

2. Kalor lebur (L_b)

Kalor lebur adalah besar kalor yang diperlukan oleh 1 kilogram zat tersebut untuk berubah dari wujud padat ke cair pada tekanan 1 atm.

3. Kalor uap (L_u)

Kalor uap adalah besar kalor yang diperlukan oleh 1 kilogram zat tersebut untuk berubah dari wujud padat ke wujud uap pada tekanan 1 atm.



Grafik di atas merupakan grafik perubahan wujud es menjadi uap pada tekanan 1 atmosfer. Jika sejumlah es yang memiliki suhu di bawah 0°C dipanaskan (diberikan kalor) hingga suhunya mencapai di atas 100°C, maka es tersebut akan berubah wujud dari berbentuk padat menjadi cair kemudian menjadi gas (uap). Perubahan wujud es menjadi uap dapat diamati pada gambar grafik di atas. Adapun keterangan grafik di atas yakni sebagai berikut.

Garis A – B menunjukkan es mengalami kenaikan suhu dari - T°C hingga menjadi 0°C akibat diberikannya sejumlah kalor. Dalam hal ini zat masih dalam wujud padat (es). Adapun rumus yang berlaku pada garis A-B yakni:

$$Q = m \cdot c_{es} \cdot \Delta T$$

Garis B – C menunjukkan walaupun sejumlah kalor diberikan pada zat, suhunya tetap 0°C tetapi es mulai mengalami perubahan wujud dari padatan menjadi berbentuk cair. Adapun rumus yang berlaku pada garis B-C yakni:

$$Q = m \cdot L_f$$

Garis C – D menunjukkan air mengalami kenaikan suhu dari 0°C hingga mendidih pada suhu 100°C akibat diberikannya sejumlah kalor. Dalam hal ini zat dalam wujud cairan (air). Adapun rumus yang berlaku pada garis C-D yakni:

$$Q = m \cdot c_{air} \cdot \Delta T$$

Garis D – E menunjukkan walaupun sejumlah kalor diberikan pada zat, suhunya tetap 100°C tetapi air mulai mengalami perubahan wujud dari cair menjadi gas (uap). Adapun rumus yang berlaku pada garis D-E yakni:

$$Q = m \cdot L_u$$

LATIHAN SOAL

1. Pada suhu berapakah skala Fahrenheit dan skala Celsius menunjukkan angka yang sama.

Penyelesaian:

Misal skala Fahrenheit dan skala Celsius menunjukkan angka yang sama x, maka $T_F = T_C = x$

$$(T_F - 32) : T_C = 9 : 5$$

$$(x - 32) : x = 9 : 5$$

$$9x = 5(x - 32)$$

$$9x = 5x - 160$$

$$4x = -160$$

$$x = -40$$

2. Termometer X memiliki titik tetap bawah dan titik tetap atas masing-masing 25°X dan 125°X , sedangkan termometer Y masing-masing -20°Y dan 180°Y . Jika suhu benda menunjukkan $t^{\circ}\text{X} = 50^{\circ}\text{X}$, berapa suhu benda tersebut dalam derajat termometer Y.

Penyelesaian :

$$\frac{a - r}{p - r} = \frac{b - s}{q - s}$$
$$\frac{50 - 25}{125 - 25} = \frac{b - (-20)}{180 - (-20)}$$
$$\frac{25}{100} = \frac{b + 20}{200}$$
$$b = 30$$

3. Tentukan kalor pada 500 gram air dipanaskan dari 25°C menjadi 65°C . Jika kalor jenis air 4200 J/kgC

Penyelesaian:

$$Q = m c \Delta T$$
$$Q = 0,5 \cdot 4200 \cdot 40$$
$$Q = 84000 \text{ J}$$

4. Jika 75 gram air yang suhunya 0°C dicampur dengan 50 gram air yang suhunya 100°C , berapa suhu akhir campuran itu?

Penyelesaian:

$$Q \text{ lepas} = Q \text{ terima}$$
$$50 \text{ ca} (100 - x) = 75 \text{ ca} x$$
$$50 (100 - x) = 75 x$$
$$3x = 200 - 2x$$
$$5x = 200$$
$$X = 40^{\circ}\text{C}$$

PEMUAIAN ZAT

Besar kecilnya pemuaian dipengaruhi ukuran benda dan besar perubahan suhunya. Selain itu, besar-kecilnya pemuaian pada benda juga dipengaruhi besaran karakteristik benda yang disebut koefisien muai. Berdasarkan bentuk geometri benda, pemuaian dapat terjadi dalam hal panjang, luas, dan volume benda. Pada pemuaian zat padat, dapat dari pemuaian panjang, pemuaian luas, dan pemuaian volume.

A. Muai Panjang Zat Padat.

Muai panjang berbagai macam benda padat dapat diselidiki dengan alat Musschenbroek. Jika batang logam yang dipasang pada alat Musschenbroek dipanaskan maka batang logam akan bertambah panjang, dengan panjang awal L_0 dan panjang akhirnya L_t . Namun, pertambahan panjang (ΔL) batang logam yang satu dengan yang lain berbeda. Artinya, tingkat pemuaian logam-logam tersebut juga berbeda.

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

atau

$$L_t = L_0(1 + \alpha \Delta T)$$

Pertambahan panjang (ΔL) 1 m benda tiap kenaikan suhu (ΔT) 1°C ini disebut koefisien muai panjang (α). Jadi, koefisien muai panjang suatu benda adalah bilangan yang menunjukkan pertambahan panjang suatu benda tiap satuan panjang jika suhu benda tersebut naik 1°C .

B. Muai Luas Zat Padat

Pemuaian dalam zat padat sebenarnya terjadi ke semua arah, yaitu memanjang, melebar, dan menebal. Namun, pengukuran pemuaian panjang pada benda padat sudah dianggap cukup memadai untuk mewakili pemuaian luas. Jika pada suhu T_1 luas benda adalah A_1 dan pada suhu T_2 luasnya A_2 maka berlaku persamaan muai luas dengan pendekatan sebagai berikut :

$$A_t = A_0\{1 + \beta (T_2 - T_1)\}; \quad \beta = 2\alpha$$

Persamaan di atas cukup memadai untuk menghitung persoalan sederhana sehubungan dengan pemuaian luas benda padat (terutama untuk benda-benda padat dengan koefisien muai panjang yang kecil). Koefisien muai luas zat padat (β) adalah bilangan yang menunjukkan pertambahan luas suatu benda tiap satuan luas jika suhunya naik 1°C .

C. Muai Ruang / Muai Volume Zat Padat.

Untuk membuktikan adanya muai ruang pada benda yang berbentuk bola dapat menggunakan alat s'Gravesande. Jika bola dipanaskan, bola memuai, volumenya bertambah besar sehingga tidak dapat masuk ke dalam gelang. Setelah beberapa saat, gelang ikut panas dan bola dapat masuk kembali ke dalam gelang. Persamaan muai volume dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$

Untuk zat padat yang angka muainya sangat kecil, berlaku persamaan

$$V_t = V_0(1 + \gamma \Delta T)$$

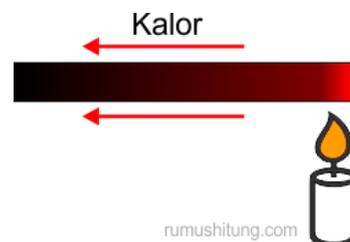
Hubungan antara koefisien muai ruang (γ) dengan koefisien muai panjang (α) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut. $\gamma = 3\alpha$

Pada konstruksi jembatan, pada setiap sambungan diberikan ruang kosong (spasi) yang berfungsi untuk menghindari tekanan antara bagian jembatan dengan jalan akibat terjadinya pemuaiannya zat padat.

PERPINDAHAN KALOR

A. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi pada medium padat. Dalam perpindahan ini yang berpindah hanyalah kalor dan mediumnya tidak ikut berpindah. Contohnya ketika seorang pandai besi sedang membuat parang atau pisau bagian ujung besi yang tidak dipanaskan akan ikut panas. Inilah sebabnya kenapa pandai besi menggunakan sarung tangan sebagai isolator. Kalor dari perapian berpindah dari ujung besi yang dipanaskan ke ujung lain yang tidak dipanaskan. Itulah contoh sederhana bahwa kalor memang berpindah.

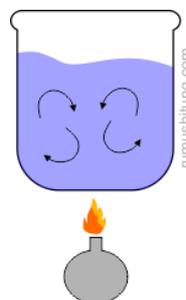


Secara sederhana laju perpindahan kalor bisa dirumuskan sebagai kalor yang mengalir persatuan waktu. Laju perpindahan kalor ($\frac{Q}{t}$) secara konduksi dirumuskan sebagai perkalian antara konduktivitas kalor (k) dengan luas penampang (A) dan selisih suhu kedua titik ($T_2 - T_1$) dibagi dengan jarak kedua titik (d). Persamaan laju perpindahan kalor dapat dituliskan :

$$\frac{Q}{t} = \frac{k A \Delta T}{d}$$

B. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada medium cair dan gas. Berbeda dengan konduksi, perpindahan kalor ini disertai dengan perpindahan medium. Jadi yang bergerak tidak hanya kalor tetapi juga medium perambatannya.



Contoh perpindahan kalor secara konveksi misalnya ketika sobat hitung masak air, ketika air mendidih terjadi perpindahan kalor dari api kompor ke panci kemudian ke air. Perpindahan ini juga diiringi perpindahan atau

bergeraknya medium berupa air. Laju perpindahan kalor secara konveksi (H) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{Q}{t} = h A \Delta T$$

Setiap benda memiliki tetapan konveksi (h) yang berbeda. Semakin mudah benda menyerap atau melepas kalor dan memindahkannya maka semakin besar nilai tetapannya.

C. Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Berbeda dengan 2 jenis perpindahan kalor sebelumnya yang menggunakan medium, perpindahan kalor ini tidak membutuhkan medium atau perantara. Apa contohnya? Panas matahari yang sampai ke bumi melewati ruang angkasa yang hampa udara (tanpa ada medium). Setiap benda bisa menyerap kalor dipancarkan secara radiasi. Akan tetapi yang menentukan daya serap dan daya bukannya jenis bahan benda tersebut melainkan warnanya.

Semakin hitam sebuah benda maka benda tersebut akan cenderung semakin menyerap panas yang dipancarkan melalui radiasi. Kehitaman sebuah inilah yang disebut sebagai emisivitas bahan disimbolkan dengan e . Laju penyerapan kalor yang dipancarkan secara radiasi dirumuskan

$$\frac{Q}{t} = e \sigma A T^4$$

dengan e adalah emisivitas benda, dimana jika benda hitam mempunyai nilai $e = 1$ jika benda berwarna hitam dan e bernilai 0 (nol) jika benda berwarna putih, σ adalah konstanta Stefan-Boltzman $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{C}$, A adalah luas permukaan benda, dan T adalah suhu dalam Kelvin.

LATIHAN SOAL

1. Sebatang baja dengan panjang 2,0 m dipanasi dari 290 K sampai 540 K. Hitunglah batang baja pada suhu 540 K. Koefisien muai panjang baja adalah $1,2 \times 10^{-5}/K$.

Penyelesaian:

Panjang awal $L_0 = 2,0$ m , suhu awal $T_0 = 290$ K suhu akhir $T = 540$ K dan

$$\alpha = 1,2 \times 10^{-5}/K$$

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

$$= 2 \cdot 1,2 \times 10^{-5} \cdot 250$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

$$L_t = L_0 + \Delta L$$

$$L_t = 2,0 + 0,006$$

$$L_t = 2,006 \text{ m}$$

2. Suatu benda hitam pada suhu $27^{\circ}C$ memancarkan energi R J/s. Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi $327^{\circ}C$. Berapa energi yang dipancarkan.

Penyelesaian:

$$\frac{Q}{t} = e \sigma A T^4$$

$$R : x = T_1^4 : T_2^4$$

$$R : x = 300^4 : 600^4$$

$$X = 16 R$$

UJI KOMPETENSI

1. Suhu dalam suatu ruangan ber-AC adalah 59°F . Dalam $^{\circ}\text{C}$, suhu ruangan tersebut adalah ...
 - a. 10
 - b. 15
 - c. 20
 - d. 25
 - e. 30
2. Suatu termometer A mempunyai titik beku air 20°A dan titik didih air 220°A . Bila suatu benda diukur dengan termometer Celcius suhunya 45°C , Berapa suhu yang ditunjukkan oleh termometer A?
 - a. 110°A
 - b. 105°A
 - c. 100°A
 - d. 95°A
 - e. 90°A
3. Sebuah besi beton memiliki panjang 2 m dan luas penampang 20 cm^2 serta perbedaan suhu antara kedua ujungnya 120°C . Jika koefisien termal besi $4,6\text{ J/ms}^{\circ}\text{C}$. Tentukan jumlah kalor yang dipindahkan tiap satuan waktu.
 - a. $0,112\text{ J/s}$
 - b. $0,252\text{ J/s}$
 - c. $0,432\text{ J/s}$
 - d. $0,552\text{ J/s}$
 - e. $0,782\text{ J/s}$
4. Sebuah balok besi massanya 1 kg dipanaskan dari suhu 14°C sampai 30°C . Ternyata energi yang diperlukan sama dengan 7200 J. Hitung kalor jenis besi.
 - a. $50\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$
 - b. $100\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$
 - c. $200\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$
 - d. $300\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$
 - e. $400\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$
5. Panjang sebuah tembaga adalah 1,0 meter pada suhu 20°C . Jika koefisien muai tembaga $17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, dan batang tembaga itu lebih pendek dari 1,0 mm, tentukan suhu pada saat itu
 - a. $19,3^{\circ}\text{C}$
 - b. $16,3^{\circ}\text{C}$
 - c. $15,0^{\circ}\text{C}$
 - d. $14,1^{\circ}\text{C}$
 - e. $12,0^{\circ}\text{C}$

6. Luas suatu bidang kaca pada malam hari yang bersuhu 20°C adalah 2000 cm^2 , koefisien muai panjang kaca $8 \times 10^{-6}/\text{C}$. Pada siang hari bidang kaca itu bertambah luas 32 mm^2 . Tentukan suhu kaca pada siang hari tersebut.
 - a. 20°C
 - b. 23°C
 - c. 25°C
 - d. 26°C
 - e. 30°C
7. Sebuah panci aluminium memiliki volume 1000 cm^3 pada suhu 60°C . Panci dipanaskan hingga mencapai suhu 100°C sehingga volumenya menjadi 1003 cm^3 . Koefisien muai panjang aluminium adalah ... $/^{\circ}\text{C}$.
 - a. $0,70 \cdot 10^{-4}$
 - b. $0,65 \cdot 10^{-4}$
 - c. $0,50 \cdot 10^{-4}$
 - d. $0,25 \cdot 10^{-4}$
 - e. $0,15 \cdot 10^{-4}$
8. Es dengan massa 100 gram bersuhu -15°C , kalor jenis $0,5\text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$, dipanaskan hingga menjadi air seluruhnya bersuhu 0°C . Kalor yang diperlukan adalah ... kalori. (cair = $1\text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ dan Les = 80 kal/g)
 - a. 9000
 - b. 8750
 - c. 8500
 - d. 8250
 - e. 8000
9. Satu kilogram batang timah bersuhu 80°C dengan kalor jenis ($c = 1300\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$) dicelupkan ke dalam 2 kg air bersuhu 20°C . Berapakah suhu akhir batang timah jika diketahui kalor jenis air ($c = 4200\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$)?
 - a. 22°C
 - b. 28°C
 - c. 30°C
 - d. 40°C
 - e. 50°C
10. Dua buah logam A dan B dengan ukuran sama disambung. Ujung A bersuhu 75°C dan ujung batang B bersuhu 15°C . Koefisien konduksi batang B adalah 2 kali batang A, maka suhu pada persambungan kedua batang adalah ... $^{\circ}\text{C}$.
 - a. 50
 - b. 45
 - c. 40
 - d. 35
 - e. 30

PEMBELAJARAN

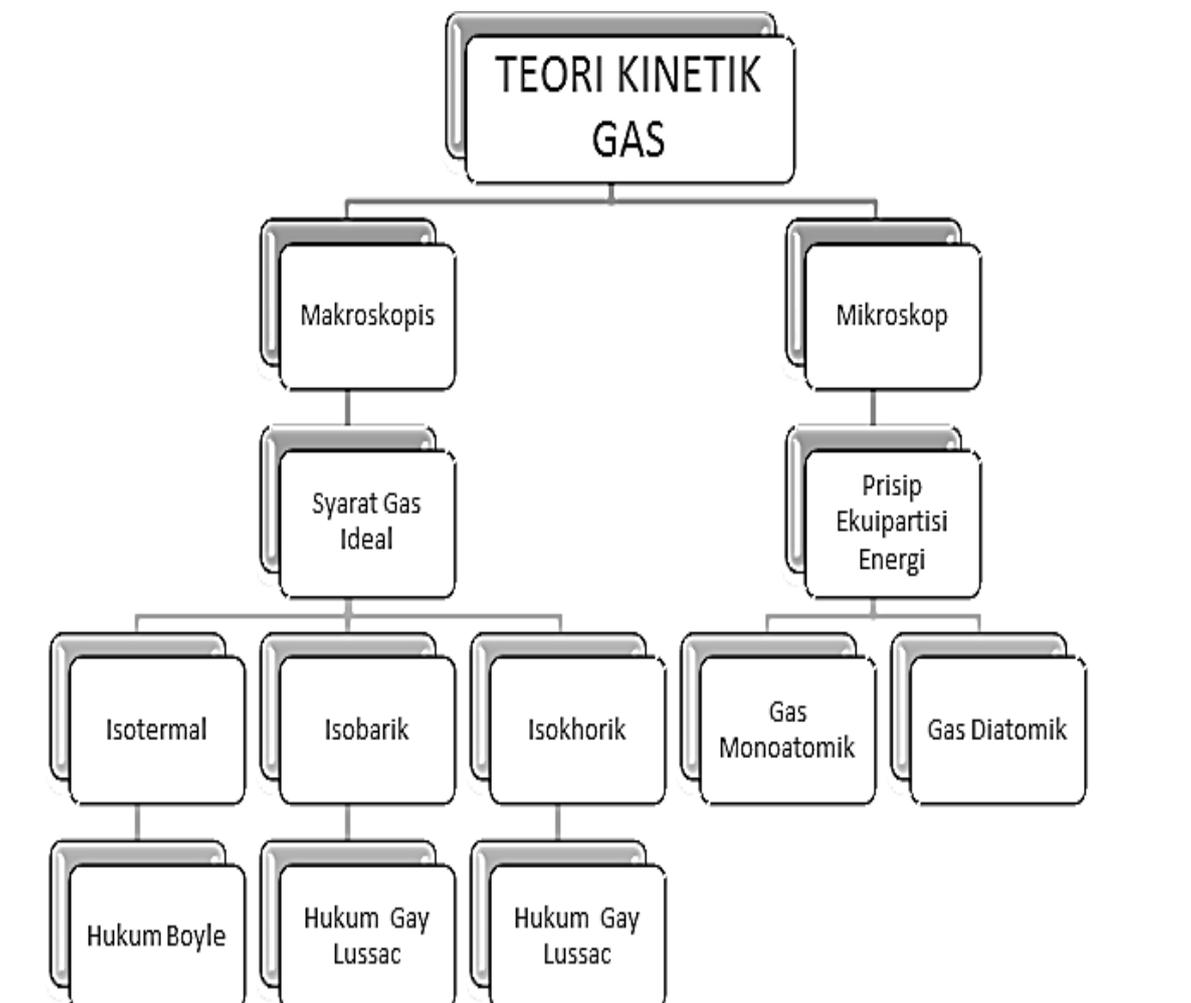
Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator
3.6 Menjelaskan teori kinetik gas dan karakteristik gas pada ruang tertutup	<p>3.6.1 Mengidentifikasi perilaku gas melalui pengamatan proses pemanasan air misalnya pada ketel uap</p> <p>3.6.2 Menganalisis tentang penerapan persamaan keadaan gas dan hukum Boyle-Gay Lussac dalam penyelesaian masalah gas di ruang tertutup</p> <p>3.6.3 Menganalisis ilustrasi hubungan tekanan, suhu, volume, energi kinetik rata-rata gas, kecepatan efektif gas, teori ekipartisi energi, dan energi dalam</p>
4.6 Menyajikan karya yang berkaitan dengan teori kinetik gas dan makna fisisnya	<p>4.6.1 Mempresentasikan hasil eksplorasi menerapkan persamaan keadaan gas</p> <p>4.6.2 Mempresentasikan hasil eksplorasi hukum Boyle dalam penyelesaian masalah gas di ruang tertutup</p>

Tujuan Pembelajaran

Melalui model pembelajaran *Discovery Learning*, peserta didik dapat menjelaskan teori kinetik gas dan karakteristik gas pada ruang tertutup, dan menyajikan karya yang berkaitan dengan teori kinetik gas dan makna fisisnya, untuk menghayati serta menguatkan rasa syukur, sikap kerja keras (**kemandirian**), **disiplin**, **berpikir kritis**, **teliti**, **tanggung jawab**, **peduli**, **kejujuran**, **rasa ingin tahu**, dan kerjasama (**kolaboratif**).

PETA KONSEP



BAB IV

Teori Kinetik Gas

GAS IDEAL

Setiap zat, baik itu zat padat, cair, maupun gas, terdiri atas materi-materi penyusun yang disebut atom. Sebagai partikel penyusun setiap jenis, atom berukuran sangat kecil dan tidak dapat dilihat, walaupun menggunakan alat yang paling canggih. Oleh karena itu, gaya yang ditimbulkan oleh interaksi antar partikel dan energi setiap partikel hanya dapat diamati sebagai sifat materi yang dibentuk oleh sejumlah partikel tersebut secara keseluruhan.

Sifat mekanika gas yang tersusun atas sejumlah besar atom atau molekul penyusunnya dijelaskan dalam teori kinetik gas. Dalam menjelaskan perilaku gas dalam keadaan tertentu, teori kinetik gas menggunakan beberapa pendekatan dan asumsi mengenai sifat-sifat gas, yang disebut **gas ideal**.

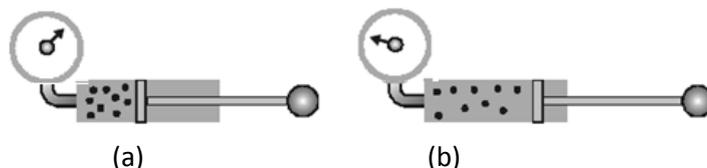
Sifat-sifat gas ideal dinyatakan sebagai berikut:

- 1) Jumlah partikel gas sangat banyak, tetapi tidak ada gaya tarik menarik (interaksi) antar partikel.
- 2) Setiap partikel gas selalu bergerak dengan arah sembarang atau acak.
- 3) Ukuran partikel gas dapat diabaikan terhadap ukuran ruangan tempat gas berada.
- 4) Setiap tumbukan yang terjadi antarpartikel gas dan antara partikel gas dan dinding bersifat lenting sempurna.
- 5) Partikel gas terdistribusi merata di dalam ruangan.
- 6) Berlaku Hukum Newton tentang gerak.

Pada kenyataannya, tidak ditemukan gas yang memenuhi kriteria gas ideal. Akan tetapi, sifat itu dapat didekati oleh gas pada temperatur tinggi dan tekanan rendah

Teori kinetik gas membahas hubungan antara besaran-besaran yang menentukan keadaan suatu gas. Jika gas yang diamati berada di dalam ruangan tertutup, besaran-besaran yang menentukan keadaan gas tersebut adalah volume (V), tekanan (P), dan suhu gas (T).

Suatu gas yang berada dalam tabung dengan tutup yang dapat diturunkan atau dinaikkan, sedang diukur tekanannya. Dari Gambar 1 tersebut dapat dilihat bahwa saat tuas tutup tabung ditekan, volume gas akan mengecil dan mengakibatkan tekanan gas yang terukur oleh alat pengukur menjadi membesar. Hubungan antara tekanan (P) dan volume (V) suatu gas yang berada di ruang tertutup ini diteliti oleh Robert Boyle.



Gambar 1 (a) Gas di Dalam Tabung dengan V_1 dan P_1
(b) Gas di Dalam Tabung dengan V_2 Sehingga P_2 Lebih Kecil.

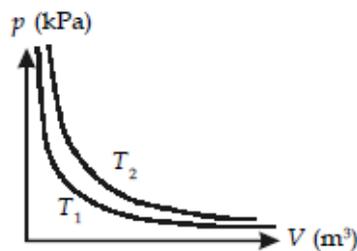
Saat melakukan percobaan tentang hubungan antara tekanan dan volume gas dalam suatu ruang tertutup, Robert Boyle menjaga agar tidak terjadi perubahan temperatur pada gas (isotermal). Dari data hasil pengamatannya, Boyle mendapatkan bahwa hasil kali antara tekanan (P) dan volume (V) gas pada suhu tetap adalah konstan. Hasil pengamatan Boyle tersebut kemudian dikenal sebagai Hukum Boyle yang secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$PV = C \text{ (konstan)}$$

atau

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Dalam bentuk grafik hubungan antara tekanan (P) dan Volume (V) dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1 Grafik Hubungan antara Tekanan (P) dengan Volume (V) pada Suhu (T) tetap

Berdasarkan hasil penelitian tentang hubungan antara volume dengan temperatur gas pada tekanan tetap, Gay-Lussac menyatakan Hukum Gay-Lussac, yaitu hasil bagi antara volume (V) dengan temperatur (T) gas pada tekanan tetap adalah konstan. Persamaan matematisnya dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{V}{T} = C \text{ (konstan)}$$

atau

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Seorang ilmuwan Perancis lainnya, Charles, menyatakan hubungan antara tekanan (P) terhadap temperatur (T) suatu gas yang berada pada volume tetap (isokhorik). Hasil penelitiannya kemudian dikenal sebagai Hukum Charles yang menyatakan hasil bagi tekanan (P) dengan temperatur (T) suatu gas pada volume tetap adalah konstan. Persamaan matematis dari Hukum Charles dinyatakan dengan

$$\frac{P}{T} = C \text{ (konstan)}$$

atau

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Dari ketiga hubungan antara tekanan, volume, dan suhu gas yang didapatkan dari Hukum Boyle dan Hukum Gay-Lussac dapat diturunkan suatu persamaan yang disebut persamaan keadaan gas ideal. Secara matematis, persamaan keadaan gas ideal dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{PV}{T} = C \text{ (konstan)}$$

atau

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Oleh karena itu, setiap proses yang dilakukan pada gas berada dalam ruang tertutup, jumlah molekul gas yang terdapat di dalam ruang tersebut dapat ditentukan sebagai jumlah mol gas (n) yang jumlahnya selalu tetap. mol adalah suatu besaran yang digunakan untuk menyatakan massa suatu zat dalam gram yang besarnya sama dengan jumlah molekul zat tersebut. Dengan demikian, persamaan keadaan gas ideal dapat dituliskan menjadi

$$\frac{PV}{T} = nR$$

atau

$$PV = nRT$$

dengan : n = Jumlah mol gas

R = Tetapan Umum Gas = $8,31 \times 10^3$ J/Kmol K (SI)

P = Tekanan (N/m^2)

V = Volume (m^3)

T = Suhu (K)

LATIHAN SOAL

1. Suatu gas dalam ruang tertutup mempunyai volume V , tekanan P dan suhu T . Jika gas tersebut dipanasi pada proses isokhorik sehingga suhunya menjadi $2T$, maka volume dan tekanannya menjadi ...

Penyelesaian :

Isokhorik merupakan proses berubahan gas pada sistem tertutup dengan volume tetap, sehingga $V_1 = V_2 = V$. Sedangkan perubahan tekanan menggunakan persamaan :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

$$P_2 = \frac{P_1 (2T_1)}{T_1}$$

$$P_2 = 2P_1$$

2. Suatu gas yang suhunya 127°C dipanaskan menjadi 227°C pada tekanan tetap. Volume gas sebelum dipanaskan adalah V . Volume gas setelah dipanaskan adalah ...

Penyelesaian :

Suhu gas dinyatakan dalam suhu mutlak, sehingga dikonversi menjadi Kelvin. Pada tekanan tetap berlaku :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{V_1 500}{400} = \frac{5}{4} V_1$$

3. Sebuah tangki bervolume 8314 cm^3 berisi gas Oksigen (berat molekul 32 kg/kmol) pada suhu 47°C dan tekanan alat $25 \times 10^5 \text{ Pa}$. Jika tekanan udara luar $1 \times 10^5 \text{ Pa}$, maka massa Oksigen adalah ...

Penyelesaian :

Tekanan total adalah $P = P_{\text{alat}} + P_0 = 25 \times 10^5 \text{ Pa} + 1 \times 10^5 \text{ Pa} = 26 \times 10^5 \text{ Pa}$

Volume $V = 8314 \text{ cm}^3 = 8,314 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; Suhu $T = 47^{\circ}\text{C} = 320 \text{ K}$

Dengan menggunakan persamaan gas ideal : $PV = nRT$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(26 \times 10^5)(8,314 \times 10^{-3})}{(8,314)(320)}$$

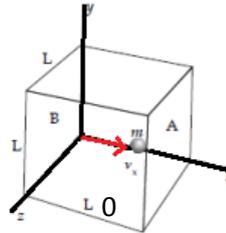
$$n = 8,125 \text{ mol}$$

Massa oksigen menjadi : $m = nM = 8,125 \times 0,032 = 0,26 \text{ kg}$

PRINSIP EKUIPARTISI ENERGI

A. Tinjauan Tekanan Secara Mikroskopis

Berdasarkan sifat-sifat gas ideal, setiap dinding ruang tempat gas berada, mendapat tekanan dari tumbukan partikel-partikel gas yang tersebar merata di dalam ruang tersebut.. Massa partikel tersebut adalah m dan kecepatan partikel menurut arah sumbu-x dinyatakan sebagai v_x . Jika partikel gas ideal tersebut menumbuk dinding ruang, tumbukan yang terjadi adalah tumbukan lenting sempurna dengan perubahan momentum (Δp_x).



Gambar 2.3 Gerak Partikel dengan Kecepatan v_x Dalam Ruang Berbentuk Kubus Berusuk L.

Setelah menumbuk dinding A, partikel gas ideal tersebut menumbuk dinding B. Demikian seterusnya, partikel gas tersebut akan bergerak bolak-balik menumbuk dinding A dan dinding B. Pada saat partikel gas tersebut menumbuk dinding, partikel memberikan gaya sebesar F_x pada dinding. Jika di dalam ruang berbentuk kubus tersebut berisi sejumlah N partikel gas, yang kecepatan rata-rata seluruh molekul gas tersebut dinyatakan dengan v_x , gaya yang dialami dinding dinyatakan sebagai F_{total} .

Tekanan (P) yang dilakukan oleh gaya total (F_{total}) yang dihasilkan oleh N partikel gas ideal tersebut pada dinding A sebesar :

$$PV = Nmv_x^2$$

Dalam tinjauan tiga dimensi (tinjauan ruang), besar kecepatan rata-rata gerak partikel merupakan resultan dari tiga komponen arah kecepatan menurut sumbu-x (\bar{v}_x), sumbu-y (\bar{v}_y), dan sumbu-z (\bar{v}_z) yang besarnya sama.

Dengan demikian, persamaan (2.14) dapat diubah menjadi $PV = \frac{1}{3} Nmv^2$ atau $= \frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{v}$. Karena massa tiap-tiap partikel gas sama, maka : $mv^2 = 2 \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = 2E_k$, sehingga diperoleh persamaan :

$$P = \frac{2NE_k}{3V}$$

Dari persamaan tekanan gas di atas diperoleh persamaan :

$$E_k = \frac{3PV}{2N} = \frac{3NkT}{2N} = \frac{3}{2} kT$$

B. Kecepatan Partikel Gas Ideal

Besaran lain yang dapat ditentukan melalui prinsip ekuipartisi energi gas adalah akar dari rata-rata kuadrat kelajuan ($v_{rms} = \text{root mean square speed}$) gas, yang dirumuskan dengan :

$$v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$$

Dari persamaan di atas, telah diketahui bahwa $E_k = 3/2 kT$. Dengan demikian dapat dirumuskan bahwa :

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Berdasarkan persamaan gas ideal $PV = NkT$. Jika hanya ada satu mol gas, persamaan gas ideal tersebut dapat dinyatakan $PV = kT$. Dengan demikian, persamaan dapat ditulis

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3PV}{m}}$$

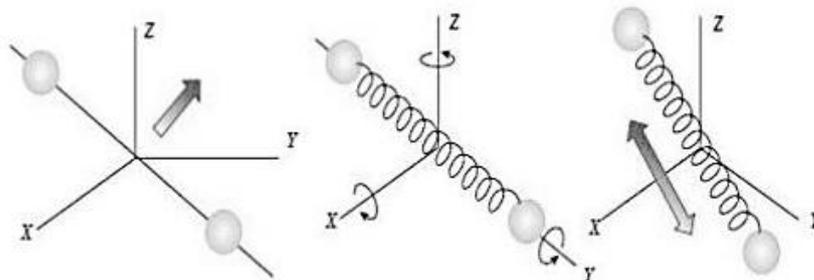
Massa jenis (ρ) adalah perbandingan antara massa terhadap volume zat tersebut ($\rho = \frac{m}{V}$). Oleh karena itu, Persamaan dapat dituliskan menjadi :

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

massa jenis gas berbanding terbalik dengan kelajuan partikelnya. Jadi, jika massa jenis (ρ) gas di dalam ruangan tertutup besar, kelajuan partikel gas akan semakin kecil.

C. Energi Dalam Gas Ideal

Pinsip ekuipartisi energi gas menyatakan bahwa energi yang tersedia terdistribusi merata masing-masing sebesar $\frac{1}{2}kT$ pada setiap derajat kebebasan. Derajat kebebasan adalah setiap cara bebas yang mampu digunakan molekul untuk menyerap energi atau bisa juga merupakan jumlah komponen kecepatan yang dibutuhkan untuk menjelaskan gerakan sebuah molekul secara lengkap.



Gambar di atas merupakan penggambaran molekul diatomik berupa molekul yang melakukan gerak translasi terhadap pusat massa, molekul berotasi terhadap sumbu putar, dan molekul yang mengalami vibrasi. Berdasarkan prinsip ekuipartisi energi, energi dalam gas (U) merupakan jumlah total energi rata-rata yang dimiliki oleh seluruh molekul gas dalam

tempat tertentu, bisa berupa energi kinetik translasi, kinetik rotasi, vibrasi, dan energi potensial elastik.

Energi kinetik (E_k) sejumlah partikel gas yang terdapat di dalam suatu ruang tertutup disebut energi dalam gas (U). Jika di dalam ruangan tersebut terdapat N partikel gas, energi internal gas dituliskan dengan persamaan :

$$U = N E_k = N \left(\frac{f k T}{2} \right)$$

Dengan demikian, energi dalam untuk gas monoatomik atau gas diatomik pada suhu rendah adalah :

$$U = N E_k = \frac{3}{2} N k T$$

Adapun, energi dalam untuk gas-gas diatomik pada suhu sedang dinyatakan dengan :

$$U = N E_k = \frac{5}{2} N k T$$

dan pada suhu tinggi, besar energi dalam gas adalah :

$$U = N E_k = \frac{7}{2} N k T$$

LATIHAN SOAL

1. Pada suhu 27°C Amonia bermassa 20 gram diubah menjadi energi kinetik. Carilah besar energi kinetik tersebut bila massa molekul dari gas Amonia adalah 17,03 gram/mol!

Penyelesaian :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{20}{17,03} = 1,17 \text{ mol}$$

Suhu Amonia dinyatakan dalam Kelvin, jadi $T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} n R T = \frac{3}{2} (1,17)(8,314)(300) = 4377,3 \text{ J}$$

2. Sebuah tabung dengan volume 0,3 m³ mengandung 2 mol Helium pada suhu 27°C . Dengan menganggap Helium sebagai gas ideal, tentukan energi kinetik rata-rata tiap partikel gas Helium tersebut!

Penyelesaian :

Banyak energi kinetik dalam 2 mol gas adalah

$$N \overline{E_k} = \frac{3}{2} n R T = \frac{3}{2} (2)(8,314)(300) = 7482,6 \text{ J}$$

Banyaknya molekul dalam 2 mol gas

$$N = n N_A = (2)(6,022 \times 10^{23}) = 12,044 \times 10^{23}$$

Energi kinetik rata-rata tiap molekul adalah

$$\overline{E_k} = \frac{N \overline{E_k}}{N} = \frac{7482,6 \text{ J}}{12,044 \times 10^{23}} = 6,23 \times 10^{-23} \text{ J}$$

3. Kecepatan rata-rata molekul gas Oksigen pada suhu 0°C dengan berat atom Oksigen 16 g/mol adalah ...

Penyelesaian :

Berat molekul Oksigen $M_{O_2} = 2 A_r O_2 = 2 (16) = 32$

Sehingga kecepatan rata-rata molekul gas Oksigen adalah

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3(8,314)(273)}{32}} = 416 \text{ m/s}$$

4. Tentukan energi dalam dari satu mol gas monoatomik pada suhu 127°C.

Penyelesaian :

Energi dalam gas monoatomik memiliki derajat kebebasan $f = 3$,

sehingga $U = \frac{f}{2}nRT$ menjadi

$$U = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}(1)(8,314)(400) = 4988,4 \text{ J}$$

UJI KOMPETENSI

1. Suatu gas ideal mula-mula mempunyai volume 6 liter, tekanan 1 atm dan suhunya 27°C. Gas dipanaskan hingga suhunya menjadi 67 °C dan volumenya menjadi 6,8 liter. Tekanan akhirnya adalah ... atm.
 - a. 1
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 4
 - e. 5
2. Gas ideal sebanyak 2 mol bertekanan 1 atm dan bersuhu 27 °C, maka volume gas tersebut adalah ... liter. ($R = 0,08 \text{ L.atm/mol.K}$)
 - a. 50
 - b. 48
 - c. 46
 - d. 44
 - e. 42
3. Gas oksigen bertekanan 10^5 N/m^2 memiliki volume 60 L pada suhu 27°C. Berapakah volume gas oksigen tersebut jika tekanannya dibuat menjadi $4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ pada suhu 127°C?
 - a. 40 L
 - b. 30 L
 - c. 20 L
 - d. 10 L
 - e. 5 L
4. Berapa massa dari sebuah molekul Gas Hidrogen ($M = 2 \text{ kg/kmol}$) dan Gas Oksigen ($M = 32 \text{ kg/kmol}$) ; ($N_A = 6,02 \times 10^{26} \text{ molekul/kmol}$)?
 - a. $2,32 \times 10^{-27} \text{ kg/molekul}$ dan $3,32 \times 10^{-26} \text{ kg/molekul}$
 - b. $3,32 \times 10^{-27} \text{ kg/molekul}$ dan $5,32 \times 10^{-26} \text{ kg/molekul}$
 - c. $5,32 \times 10^{-27} \text{ kg/molekul}$ dan $8,32 \times 10^{-26} \text{ kg/molekul}$
 - d. $4,32 \times 10^{-27} \text{ kg/molekul}$ dan $9,32 \times 10^{-26} \text{ kg/molekul}$
 - e. $1,32 \times 10^{-27} \text{ kg/molekul}$ dan $10,32 \times 10^{-26} \text{ kg/molekul}$
5. Sebuah tangki mengandung 8 kg gas O_2 ($M=32 \text{ kg/kmol}$). Berapa jumlah molekul dalam tangki? ($N_A = 6,02 \times 10^{26} \text{ molekul/kmol}$)
 - a. $1,50 \times 10^{26}$ molekul
 - b. $1,50 \times 10^{27}$ molekul
 - c. $2,50 \times 10^{26}$ molekul
 - d. $2,50 \times 10^{27}$ molekul
 - e. $5,00 \times 10^{26}$ molekul

6. Sebanyak 3 mol gas ideal menempati ruang tertutup yang volumenya 1 liter dan bersuhu 27°C. jika tetapan gas umum 8,3 J/mol K, besar tekanan gas tersebut adalah ...
 - a. 1430 kPa
 - b. 2456 kPa
 - c. 6780 kPa
 - d. 7470 kPa
 - e. 9870 kPa
7. Pada keadaan normal ($T = 0^{\circ}\text{C}$ dan $p = 1 \text{ atm}$), 4 gram gas oksigen (O_2) dengan massa molekul relatif 32 memiliki volume sebesar m^3 . ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ dan $R = 8,314 \text{ J/mol K}$)
 - a. $1,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
 - b. $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 - c. $22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 - d. $2,8 \text{ m}^3$
 - e. $22,4 \text{ m}^3$
8. Sebanyak 3 L gas Argon bersuhu 27°C pada tekanan 1 atm ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$) berada di dalam tabung. Jika konstanta gas ideal $R = 8,314 \text{ J/mol K}$ dan banyak partikel dalam 1 mol gas $6,02 \times 10^{23}$ partikel, banyak gas Argon dalam tabung tersebut adalah
 - a. $0,83 \times 10^{23}$ partikel
 - b. $0,72 \times 10^{23}$ partikel
 - c. $0,42 \times 10^{23}$ partikel
 - d. $0,22 \times 10^{23}$ partikel
 - e. $0,12 \times 10^{23}$ partikel
9. Sepuluh liter gas ideal bersuhu 127°C mempunyai tekanan 110,4 Pa. Jika $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, banyaknya partikel adalah ...
 - a. $0,5 \times 10^{20}$ partikel
 - b. $1,0 \times 10^{20}$ partikel
 - c. $1,5 \times 10^{20}$ partikel
 - d. $2,0 \times 10^{20}$ partikel
 - e. $2,5 \times 10^{20}$ partikel
10. 20,78 gas Argon berada pada suhu 27°C dan tekanan 1 atm ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$). Tentukan banyak mol gas Argon tersebut ! ($R = 8,314 \text{ J/mol K}$)
 - a. 0,13 mol
 - b. 0,25 mol
 - c. 0,50 mol
 - d. 0,66 mol
 - e. 0,83 mol
11. Jika tetapan Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, energi kinetik sebuah atom gas helium pada suhu 27°C adalah
 - a. $4,14 \times 10^{-21} \text{ J}$
 - b. $2,07 \times 10^{-21} \text{ J}$
 - c. $12,42 \times 10^{-21} \text{ J}$
 - d. $5,59 \times 10^{-21} \text{ J}$
 - e. $6,21 \times 10^{-21} \text{ J}$

12. Gas dalam tabung yang suhunya 27°C dipanaskan pada volume tetap, hingga kelajuan efektif molekul gas menjadi dua kali semula. Kenaikan suhu yang dialami gas tersebut adalah
- 27°C
 - 300°C
 - 577°C
 - 877°C
 - 900°C
13. Laju efektif RMS gas oksigen bermassa 32 gram/mol pada suhu 27°C adalah
- 343 m/s
 - 383 m/s
 - 403 m/s
 - 443 m/s
 - 483 m/s
14. Di dalam ruangan bervolume 3 liter terdapat 400 miligram gas dengan tekanan 1 atmosfer. Jika 1 atmosfer = 10^5 N/m^2 , maka kelajuan efektif partikel gas tersebut adalah
- 0,5 kPa
 - 1,5 kPa
 - 2,5 kPa
 - 5,0 kPa
 - 7,5 kPa
15. Besarnya energi dalam dari suatu gas monoatomik yang terdiri atas 10^{24} molekul dan bersuhu 400 K adalah kJ. ($k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$).
- 5100 J
 - 6700 J
 - 8280 J
 - 8880 J
 - 9320 J



KUNCI JAWABAN UJI KOMPETENSI

BAB I

- | | |
|------|-------|
| 1. E | 6. D |
| 2. C | 7. E |
| 3. B | 8. E |
| 4. A | 9. E |
| 5. B | 10. A |

BAB II

- | | |
|------|-------|
| 1. D | 6. B |
| 2. E | 7. D |
| 3. B | 8. E |
| 4. B | 9. D |
| 5. E | 10. C |

BAB III

- | | |
|------|-------|
| 1. A | 6. C |
| 2. C | 7. B |
| 3. B | 8. E |
| 4. A | 9. D |
| 5. B | 10. E |

BAB IV

- | | |
|------|-------|
| 1. D | 6. B |
| 2. A | 7. C |
| 3. E | 8. B |
| 4. C | 9. D |
| 5. B | 10. A |

BAB V

- | | |
|------|-------|
| 1. B | 6. E |
| 2. A | 7. D |
| 3. D | 8. B |
| 4. E | 9. B |
| 5. D | 10. D |

BAB VI

- | | | |
|------|-------|-------|
| 1. A | 6. D | 11. E |
| 2. B | 7. B | 12. E |
| 3. C | 8. B | 13. E |
| 4. B | 9. D | 14. B |
| 5. A | 10. E | 15. C |



PENUTUP

Melalui pembelajaran berbasis modul ini, diharapkan akan membantu siswa dapat belajar secara mandiri, mengukur kemampuan diri sendiri, dan menilai dirinya sendiri. Tidak terkecuali dalam memahami ilmu Fisika dalam kehidupan sehari-hari maupun kegiatan Sains secara global. Semoga modul ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan dalam proses pembelajaran pada kegiatan belajar siswa, baik teori maupun praktik dan tatap muka maupun online. Siswa diharapkan mendalami materi lain di samping materi yang ada di modul ini melalui berbagai sumber, jurnal, maupun internet. Semoga modul ini bermanfaat bagi para siswa kelas XI.

Tak lupa dalam kesempatan ini, penulis mohon saran dan kritik yang membangun terhadap, demi sempurnanya penyusunan modul ini di masa-masa yang akan datang. Semoga modul ini memberikan manfaat bagi siswa, guru dan bagi institusi pendidikan SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta.

Yogyakarta, 17 Mei 2020

Tim Fisika MUHI YK