

FISIKA

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

2022

SMA/MA KELAS XI

**Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi
Republik Indonesia**
Dilindungi Undang-Undang

Penafian: Buku ini disiapkan oleh Pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel buku@kemdikbud.go.id diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis

Marianna Magdalena Radjawane
Alvius Tinambunan
Suntar Jono

Penelaah

Muslim
Hasanudin Abdurakhman

Penyelia/Penyelaras

Supriyatno
Lenny Puspita Ekawaty
Anggraeni Dian Permatasari
Nening Daryati
Ervina

Kontributor

Aini Chanifah
Kuncoro Tri Muryanto

Ilustrator

Alvius Tinambunan
Marcha Roselini Yulianto

Editor

Aslizar

Desainer

Marcha Roselini Yulianto

Penerbit

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Dikeluarkan oleh:

Pusat Perbukuan
Kompleks Kemdikbudristek Jalan RS. Fatmawati, Cipete, Jakarta Selatan
<https://buku.kemdikbud.go.id>

Cetakan Pertama, 2022
ISBN 978-623-472-720-3 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-623-472-721-0 (jil.1)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10 pt, Steve Matteson.
xxii, 226 hlm.: 17,6 x 25 cm.



KATA PENGANTAR

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah, termasuk Pendidikan Khusus. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengimplementasikan kurikulum dengan prinsip diversifikasi sesuai dengan kondisi satuan pendidikan, potensi daerah, dan peserta didik.

Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan dengan mengembangkan buku siswa dan buku panduan guru sebagai buku teks utama. Buku ini dapat menjadi salah satu referensi atau inspirasi sumber belajar yang dapat dimodifikasi, dijadikan contoh, atau rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik.

Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 262/M/2022 Tentang Perubahan atas Keputusan Mendikbudristek No. 56/M/2022 Tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran, serta Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Desember 2022

Kepala Pusat,

Supriyatno

NIP 196804051988121001



PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karunia-Nya sehingga buku siswa Fisika Kelas XI yang merupakan sumber utama belajar dapat diselesaikan.

Buku teks siswa ini terdiri atas tujuh bab. Setiap bab diawali dengan fenomena atau penggunaan teknologi yang mudah ditemukan oleh peserta didik dalam kehidupan sehari-hari. Keterkaitan dunia nyata dengan konsep dan prinsip fisika yang sedang dipelajari selalu ditunjukkan. dalam pembahasan materi pembelajaran. Peserta didik dibiasakan untuk melakukan penyelidikan ilmiah agar menemukan konsep fisika atau memperdalam pemahaman konsep. Peserta didik juga diajak untuk memiliki kesadaran sebagai warganegara yang bertanggung jawab dalam menanggapi isu-isu global. Bab 1 membahas tentang vektor dimana besaran fisika direpresentasikan sebagai bentuk geometri untuk memudahkan dalam memahami fisika dan fenomenanya di alam. Bab 2 membahas tentang kinematika yang menjelaskan bagaimana gerak benda tanpa meninjau penyebabnya. Bab 3 membahas tentang dinamika yang menjelaskan bagaimana benda bergerak dan penyebabnya. Bab 4 menjelaskan tentang fluida statis dan dinamis. Bab 5 menjelaskan tentang fenomena gelombang pada gelombang cahaya dan gelombang bunyi. Bab 6 menjelaskan tentang kalor sebagai dasar untuk memahami lebih lanjut konsep-konsep termodinamika yang dipelajari pada bab 7.

Keunggulan buku ini yaitu isinya yang disesuaikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini, menyajikan masalah lokal dan global, melatih berpikir tingkat tinggi, membiasakan kerja berkelompok, dan melakukan eksperimen.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penyusunan buku ini. Harapan penulis agar buku ini dapat memberikan kontribusi dalam memajukan pendidikan di Indonesia. Saran dan masukan sangat kami perlukan demi penyempurnaan buku ini di masa depan.

Jakarta, Desember 2022

Tim Penulis



PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU

Buku ini dirancang dengan berbagai kegiatan belajar yang mengembangkan kreativitas dan berpikir kritis dalam memecahkan masalah, mengasah keterampilan proses dalam berbagai jenis aktivitas, mengembangkan kerja sama dalam mengerjakan berbagai tugas dan aktivitas, serta meningkatkan keterampilan berkomunikasi untuk menyampaikan gagasan.

Buku ini terdiri atas 7 bab utama dengan bagian-bagian sebagai berikut.

1. Sampul Bab/Cover



Berisi:

- nomor dan judul bab
- gambar yang berkaitan dengan materi bab
- tujuan pembelajaran menunjukkan kompetensi yang akan kalian capai setelah mempelajari materi
- kata kunci merupakan fokus materi pembelajaran yang berkaitan dengan konsep yang dikemukakan

2. Peta Konsep

Melalui peta konsep kalian mendapatkan gambaran menyeluruh tentang hubungan antar konsep dalam materi yang dibahas.





3. Pengantar Bab

Kalian sering menyaksikan berbagai kegiatan yang berhubungan dengan arah dalam kehidupan sehari-hari. Sampul bab menunjukkan gerak penerjun payung ke bawah dan arah tali pada jembatan. Arah vektor medan magnet ditunjukkan oleh kompas dan dalam pembuatan *game* aplikasi vektor digunakan untuk menggambarkan gerak benda atau karakter.



Gambar 1.1 Arah medan magnet dan konsep pembuatan *game*
sumber: *Aliran TranskriptumKerangkaKonten* (2022)

Bagian awal setiap bab menampilkan beberapa peristiwa dan fenomena termasuk penerapan fisika dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan materi bab. Bagian ini membangkitkan rasa ingin tahu dan motivasi belajar kalian serta memberikan gambaran materi yang akan dipelajari.

4. Aktivitas

Kalian melakukan aktivitas guna menemukan konsep fisika yang akan dipelajari atau memperdalam dalam pemahaman suatu materi. Aktivitas tersebut terdapat dalam berbagai bentuk kegiatan seperti percobaan yang dilakukan secara laboratorium basah ataupun virtual, serta penelusuran dan pengolahan informasi baik dari teks maupun gambar.

Aktivitas 1.1

Perhatikan peta yang ditunjukkan oleh Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Rute terminal bis ke bandara
sumber: *Aliran TranskriptumKerangkaKonten* (2022)

Ayah ingin berangkat dari terminal bis ke bandara. Jawablah pertanyaan berikut ini.

1. Apakah bis dapat bergerak langsung dari terminal ke bandara tanpa berbelok? Tunjukkan lintasan ini dengan menggambarkan garis lurus dari terminal ke bandara.
2. Buat dua rute bis yang berbeda dari terminal ke bandara, gunakan warna berbeda.

Lintasan bis tidak dapat langsung dari terminal ke bandara tetapi perlu mengambil serangkaian jalan.

5. Fitur-Featir Tambahan

Beragam jenis pemahaman dan pendalaman yang berkaitan dengan materi ditampilkan sebagai tanggapan kalian terhadap konsep yang telah kalian pelajari.

a. Ayo, Berdiskusi!

Kalian saling bertukar pikiran dengan menyampaikan pendapat guna memperluas dan memperdalam pemahaman materi dalam menjawab pertanyaan atau menyelesaikan masalah khususnya yang berkaitan dengan kebaruan.



Ayo, Berdiskusi!

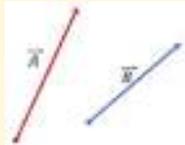
Buktikan bahwa setiap vektor dalam Gambar 1.19 adalah $\mathbf{d} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ dengan cara menentukan koordinat pangkal dan ujung vektor.



b. Ayo, Berkolaborasi!

Ayo, Berkolaborasi!

Gambarkan resultan vektor dari $\vec{A} + \vec{B}$ dan $\vec{A} - \vec{B}$ dengan metode segitiga. Pengurangan $\vec{A} - \vec{B}$ dapat dituliskan sebagai $\vec{A} + (-\vec{B})$.



Gambar 1.25 Vektor A dan B
sumber: Atlas PembelajaranKemendikbudRistek (2022)

Kalian bekerja sama untuk menyelesaikan suatu tugas baik dalam menyelesaikan masalah maupun menjawab pertanyaan.

c. Ayo, Cermati!

Kalian memperhatikan dengan saksama suatu bagian dari materi pembelajaran untuk menjawab pertanyaan.

Ayo, Cermati!

Jumlahkan ketiga vektor berikut dengan metode poligon.



Gambar 1.28. Tiga vektor dengan arah dan besar berbeda
sumber: Atlas PembelajaranKemendikbudRistek (2022)

d. Ayo, Berpikir Kritis!

Ayo, Berpikir Kritis!

Apakah perkalian skalar dari dua vektor dapat menghasilkan nilai negatif?

Kalian menguraikan informasi atau masalah sehingga dapat membuat perbandingan, memberikan penilaian dan menarik simpulan.

e. Ayo, Amati!

Kalian melakukan aktivitas ilmiah dengan melakukan pengamatan dan kemudian menarik simpulan dari pengamatan yang bersesuaian dengan materi yang dipelajari.

Ayo, Amati!

Coba kalian perhatikan Gambar 4.10 Kubus dengan panjang sisi L dalam kondisi melayang di dalam air dengan permukaan A dan B berjarak h_1 dan h_2 dari permukaan cairan.



Gambar 4.10 Kubus di dalam wadah
sumber: Atlas PembelajaranKemendikbudRistek (2022)

f. Ayo, Berteknologi!

Ayo, Berteknologi!

Kalian dapat menggunakan aplikasi geogebra untuk menggambar suatu vektor. Tautan aplikasi adalah <https://www.geogebra.org/>.

Kalian menggunakan berbagai aplikasi untuk mendukung pemahaman materi pembelajaran dan penyelesaian tugas.



g. Pengayaan

Kalian mendapatkan materi pembelajaran yang dapat memperdalam dan memperluas wawasan atau pengetahuan akan konsep fisika yang sudah dipelajari.



Materi Pengayaan

1. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi hanya bisa merambat melalui medium, baik itu berbentuk padatan, cairan, atau gas. Bunyi ditransfer melalui rapatan dan regangan molekul-molekul medium sehingga tekanan dan suhu sangat mempengaruhi cepat rambat bunyi di suatu medium.

h. Proyek



Proyek

Desain suatu penyelidikan: untuk menastipkan bahwa jarak tempuh berbanding lurus dengan kuadrat waktu. Tentukan, gerakan bidang miring dan kelengkungan atau bola kecil. Tentukan variabel bebas, variabel terikat dan variabel terikat. Tuliskan hasil pengamatan dalam tabel.

Kalian mengerjakan proyek yang melibatkan penguasaan materi dan keterampilan proses untuk memecahkan suatu masalah atau mengadakan suatu penyelidikan.

i. Tahukah Kalian

Kalian mendapatkan informasi yang berkaitan dengan materi yang sedang kalian pelajari, biasanya merupakan aplikasi dari konsep atau prinsip fisika.



Tahukah Kalian

Kata pesawat terbang merupakan ungkapan sejumlah vektor yang dapat berbeda walaupun simpulnya pesawat terbang lurus saja. Gambar 1.6 menunjukkan lintasan pesawat yang merupakan kumpulan sejumlah vektor. Panjang dan arah vektor dapat berbeda-beda selama rute perjalanan. Setiap vektor merupakan suatu perpindahan. Makin panjang vektor maka besar perpindahannya.



Gambar 1.6 lintasan pesawat terbang

j. Literasi Finansial

Kalian dapat menerapkan informasi dan pemahaman finansial dalam konteks fisika.



Literasi Finansial

Jermani Merah Putih terbang di jalur Ardon, membentang di atas tebing Ardon. Perhatikan peso dalam Gambar 2.10. Garis merah mewakili panjang jembatan yang melintasi tebing.





k. Kesadaran Lingkungan

Kalian dapat menerapkan konsep dan prinsip fisika untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga dan memelihara lingkungan.

Kesadaran Lingkungan

Perhatikan Gambar 7.21a dan Gambar 7.21b.



Gambar 7.21a Pabrik semen yang mengeluarkan asap.
Gambar 7.21b Tumpukan sampah.

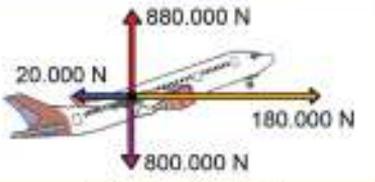
Mana lebih mudah dilakukan untuk memperbaiki kondisi udara sebelum polusi atau setelah terdapat polusi? Mengapa? Hubungkan dengan Hukum II Termodinamika. Hubungkan juga dengan usaha, usaha negatif, tenaga, daya, dan waktu. Apa yang harus dilakukan untuk mencegah polusi udara dan polusi tanah?

l. Ayo, Cek Pemahaman!

Kalian menunjukkan pemahaman kalian akan subtopik yang telah dipelajari dengan menyelesaikan masalah atau menjawab pertanyaan.

Ayo, Cek Pemahaman!

Empat gaya bekerja pada suatu pesawat sebagaimana yang ditunjukkan dalam diagram vektor di bawah ini. Gambarkan vektor resultan gaya dan tentukan arah dan besarnya.



Gambar 5.30 Empat gaya pada pesawat

6. Intisari

Pada setiap akhir bab kalian mendapatkan ringkasan tentang konsep kunci dari materi yang telah kalian pelajari.

Intisari

Vektor merupakan suatu besaran yang dilambangkan dengan anak panah. Vektor yang sama mempunyai arah dan besar yang sama. Vektor negatif mempunyai besar yang sama dan arah berlawanan dengan suatu vektor. Vektor dapat dikalikan dengan suatu skalar untuk mengubah besar dan arah vektor tersebut, sehingga dapat searah atau berlawanan arah.

Ada dua cara untuk merepresentasikan vektor, sebagai anak panah dan dengan menggunakan komponen-komponen. Operasi vektor terdiri atas penjumlahan, pengurangan dan perkalian vektor.



7. Refleksi

Pada kegiatan ini, kalian diajak untuk berpikir kembali secara mendalam terkait materi yang sudah dipelajari dan dapat mengidentifikasi materi yang telah dipahami dan materi yang memerlukan penguatan.



Refleksi

- Bagaimanakah kalian dapat mengaplikasikan konsep vektor dalam kehidupan sehari-hari?
- Bagaimanakah kalian bisa membedakan operasi vektor dan operasi skalar?

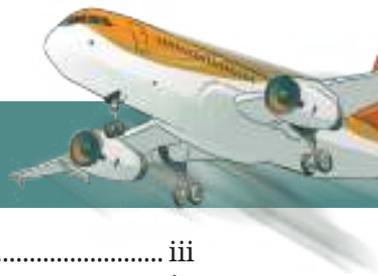
8. Asesmen

Pada akhir bab disajikan beberapa persoalan untuk menguji pemahaman kalian secara menyeluruh akan materi yang sudah dipelajari.



Asesmen

1. Besaran-besaran mana yang merupakan vektor? Jelaskan.
 - a. Percepatan merupakan perubahan kecepatan terhadap waktu.
 - b. Tekanan merupakan perbandingan gaya terhadap luas suatu luas permukaan
2. Peta berikut ini menunjukkan pergerakan lempeng tektonik. Pada kerak bumi terdapat lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan lempeng tektonik menyebabkan dua lempeng dapat bertemu dan bertumbukan. Gempa bumi terjadi karena tumbukan kedua lempeng. Kedua lempeng dapat bergerak saling berjauhan, saling mendekati atau bergerak bersisian.
 - a. Mengapa informasi arah gerak lempeng sangat diperlukan?



DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Prakata.....	iv
Petunjuk Penggunaan Buku	v
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel	xxi
■ Bab 1 VEKTOR	1
A. Konsep Vektor	3
1. Lambang dan Notasi Vektor	5
2. Menggambar Vektor.....	6
3. Sifat-sifat Vektor	7
B. Representasi Vektor	10
1. Komponen Vektor	10
2. Penguraian Vektor Berdasarkan Aturan Trigonometri	12
C. Operasi Vektor	14
1. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor dengan Metode Grafis.....	14
2. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor dengan Metode Analitis	17
3. Penentuan Resultan Vektor dengan Rumus Kosinus	18
4. Penentuan Arah Resultan Vektor dengan Rumus Sinus	19
5. Perkalian Vektor.....	22
Intisari	24
Refleksi	24
Asesmen	24
■ Bab 2 KINEMATIKA.....	27
A. Pengertian Gerak	29
1. Kerangka Acuan dan Posisi.....	29
2. Gerak Sebagai Perubahan Posisi	30
B. Besaran-Besaran Gerak.....	32
1. Perpindahan dan Jarak	32
2. Kecepatan dan Kelajuan	35
3. Gerak Relatif.....	36
4. Kecepatan dan Kelajuan Sesaat	38
5. Kecepatan dan Kelajuan Rata-Rata	39
6. Percepatan	41
C. Gerak Lurus.....	42
1. Gerak Lurus Beraturan	44
2. Gerak Lurus Berubah Beraturan.....	47
3. Jarak Henti.....	50
4. Gerak Vertikal.....	52



D. Gerak Parabola	53
Analisis Gerak Parabola	56
E. Gerak Melingkar Beraturan	58
Besaran-Besaran Gerak Melingkar Beraturan.....	58
Intisari	59
Refleksi	59
Asesmen	60
■ Bab 3 DINAMIKA GERAK PARTIKEL	63
A. Hukum Newton	65
1. Hukum I Newton.....	65
2. Hukum II Newton	67
3. Hukum III Newton.....	71
B. Jenis-Jenis Gaya	73
1. Gaya Berat.....	73
2. Gaya Normal	73
3. Gaya Gesek Benda Padat.....	74
4. Gaya Gesek Fluida	76
5. Gaya Sentripetal.....	78
C. Momentum dan Impuls.....	79
1. Hukum Kekekalan Momentum.....	79
2. Jenis-Jenis Tumbukan.....	80
D. Gerak Rotasi	83
1. Momen Gaya	84
2. Momen Inersia	85
Intisari	86
Refleksi	87
Asesmen	87
■ Bab 4 FLUIDA.....	89
C. Fluida Statis	91
1. Tekanan Hidrostatik	92
2. Prinsip Archimedes.....	97
3. Tegangan Permukaan.....	100
4. Viskositas.....	104
E. Fluida Dinamis	105
1. Fluida Ideal.....	105
2. Asas Kontinuitas.....	106
3. Prinsip Bernoulli.....	110
4. Penerapan Prinsip Bernoulli	112



Intisari	113
Refleksi	113
Asesmen	114

■ **Bab 5 GELOMBANG, BUNYI dan CAHAYA..... 115**

A. Gelombang.....	117
1. Jenis-Jenis Gelombang.....	119
2. Beda Fase Gelombang.....	121
3. Prinsip-Prinsip Gelombang.....	124
B. Gelombang Bunyi	126
1. Cepat Rambat Bunyi.....	127
2. Sumber Bunyi	129
3. Efek Doppler.....	132
4. Resonansi	134
5. Pelayangan Bunyi	135
6. Intensitas dan Taraf Intensitas Bunyi	136
7. Aplikasi Gelombang Bunyi.....	137
C. Gelombang Cahaya.....	138
1. Interferensi Cahaya.....	139
2. Difraksi Cahaya	141
3. Polarisasi.....	144
4. Aplikasi Gelombang Cahaya	145
Intisari	146
Refleksi	147
Asesmen	147

■ **Bab 6 KALOR..... 149**

A. Suhu.....	151
1. Pengertian Suhu dan Alat Ukurnya	151
2. Skala Suhu	154
B. Kalor	155
1. Pengertian Kalor	155
2. Pengaruh Kalor pada Perubahan Suhu	156
3. Pengaruh Kalor pada Perubahan Wujud.....	160
4. Pengaruh Kalor pada Pemuaiian.....	162
C. Perpindahan Kalor	166
1. Konduksi	166
2. Konveksi.....	167
3. Radiasi.....	168
4. Aplikasi Perpindahan Kalor.....	169



Intisari	170
Refleksi	170
Asesmen	171

■ **Bab 7 TERMODINAMIKA** **173**

A. Gas Ideal.....	176
1. Pengertian Gas.....	176
2. Hukum-Hukum tentang Gas.....	177
3. Gas Nyata dan Hukum Gas Ideal.....	181
B. Konsep Dasar Termodinamika.....	182
1. Sistem dan Lingkungan.....	182
2. Sifat-Sifat Sistem Termodinamika.....	184
C. Proses-Proses Termodinamika.....	184
1. Diagram p - V	184
2. Usaha dan Gas Ideal.....	184
3. Empat Proses Termodinamika	186
4. Proses Reversibel dan Ireversibel.....	187
D. Hukum-Hukum Termodinamika.....	188
1. Hukum ke Nol Termodinamika	188
2. Hukum I Termodinamika	188
3. Aplikasi Hukum I Termodinamika dalam Proses Termodinamika	190
4. Kapasitas Panas (Kapasitas Kalor)	191
5. Hukum II Termodinamika	192
D. Mesin Kalor dan Pompa Kalor	198
1. Mesin Kalor	198
2. Pompa Kalor.....	202
Intisari	205
Refleksi	205
Asesmen	204

Glosarium	207
Daftar Pustaka	212
Daftar Kredit Gambar.....	213
Tautan dan Situs Internet.....	215
Indeks	216
Profil Pelaku Perbukuan.....	220



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Arah medan magnet dan konsep pembuatan game	2
Gambar 1.2 Penerjun payung mendarat melenceng	3
Gambar 1.3 Beberapa kabel menopang suatu jembatan.....	3
Gambar 1.4 Rute terminal bis ke bandara.....	4
Gambar 1.5 Penerapan konsep vektor dalam rute.....	4
Gambar 1.6 Bagian-bagian dari vektor.....	5
Gambar 1.7 Vektor dan notasinya.....	5
Gambar 1.8 Lintasan pesawat terbang.....	6
Gambar 1.9 Tegangan tali pada pendaki gunung.....	6
Gambar 1.10 Tiga arah vektor.....	7
Gambar 1.11 Vektor-vektor medan listrik pada keping sejajar	7
Gambar 1.12 Dua vektor yang sama	8
Gambar 1.13 Aksi reaksi antara kaki dan tanah.....	8
Gambar 1.14 Vektor dan negatif vektor	8
Gambar 1.15 Vektor a	9
Gambar 1.16 Berbagai vektor dengan arah dan besar berbeda.....	9
Gambar 1.17 Berbagai vektor hasil perkalian dengan skalar	9
Gambar 1.18 Komponen vektor gaya.....	10
Gambar 1.19 Proyeksi vektor gaya pada sumbu x dan sumbu y	10
Gambar 1.20 Vektor satuan dalam sistem koordinat Cartesius	11
Gambar 1.21 Vektor-vektor yang sama dalam koordinat Cartesius	11
Gambar 1.22 Penguraian vektor dengan menggunakan aturan trigonometri.....	12
Gambar 1.23 Penentuan panjang dan arah vektor	13
Gambar 1.24 Penjumlahan dua vektor dengan metode segitiga.....	15
Gambar 1.25 Vektor A dan B	15
Gambar 1.26 Penjumlahan dua vektor dengan metode jajargenjang	15
Gambar 1.27 Penjumlahan tiga vektor dengan metode poligon	16
Gambar 1.28 Tiga vektor dengan arah dan besar berbeda.....	16
Gambar 1.29 Penjumlahan dua vektor yang menghasilkan vektor nol.....	17
Gambar 1.30 Penjumlahan tiga vektor yang menghasilkan vektor nol.....	17
Gambar 1.31 Penjumlahan komponen vektor.....	18
Gambar 1.32 Penentuan arah vektor resultan dengan rumus sinus	19
Gambar 1.33 Rangkaian percobaan penjumlahan vektor	20
Gambar 1.34 Usaha pada lemari dan momen gaya pada pintu.....	22
Gambar 1.35 Empat gaya pada pesawat terbang.....	23
Gambar 2.1 Cara kerja GPS	29
Gambar 2.2 Gerak lurus pada lomba lari 100 m.....	29
Gambar 2.3 Posisi berbagai bangunan di suatu jalan dan arah mata angin.....	30
Gambar 2.4 Denah jalan di suatu kawasan	31
Gambar 2.5a Kota metropolitan	32



Gambar 2.5b Pegunungan.....	32
Gambar 2.6 Rute semut mencari gula.....	33
Gambar 2.7 Posisi pengendara sepeda terhadap waktu.....	33
Gambar 2.8 Grafik posisi terhadap waktu.....	34
Gambar 2.9 Grafik posisi terhadap waktu dari suatu kendaraan.....	34
Gambar 2.10 Peta pulau Ambon.....	35
Gambar 2.11 Gerak motor dan bis.....	36
Gambar 2.12 Kecepatan pesawat akibat kecepatan udara	37
Gambar 2.13 <i>Speedometer</i> menunjukkan kelajuan sesaat pada kendaraan bermotor.....	39
Gambar 2.14 Rambu batas kecepatan mobil dan <i>radar gun</i>	39
Gambar 2.15 Grafik kecepatan terhadap waktu dari Usain Bolt.....	41
Gambar 2.16 Kecepatan mobil pada keadaan berbeda	42
Gambar 2.17 <i>Cheetah</i> sedang berlari	42
Gambar 2.18 Data dari <i>ticker timer</i> dan peralatan <i>ticker timer</i>	43
Gambar 2.19 Rangkaian percobaan GLB	44
Gambar 2.20 Hasil ketikan <i>ticker timer</i> untuk GLB.....	45
Gambar 2.21 Grafik ($v-t$) hasil potongan pita <i>ticker timer</i> untuk GLB.....	45
Gambar 2.22 Grafik ($x-t$) hasil potongan pita <i>ticker timer</i> untuk GLB.....	45
Gambar 2.23 Grafik $v-t$ pada GLB	46
Gambar 2.24a Grafik $x-t$ pada GLB tanpa posisi awal x_0	46
Gambar 2.24b Grafik $x-t$ pada GLB dengan posisi awal x_0	46
Gambar 2.25 Grafik kecepatan terhadap waktu pada GLBB	47
Gambar 2.26a Grafik ($v-t$) hasil potongan pita <i>ticker timer</i> untuk GLBB	48
Gambar 2.26b Grafik ($v-t$) dengan percepatan $a = \tan \theta$	48
Gambar 2.27 Menentukan perpindahan.....	48
Gambar 2.28 Grafik $a-t$ untuk GLBB	49
Gambar 2.29a Grafik ($x-t$) untuk GLBB dipercepat	49
Gambar 2.29b Grafik ($x-t$) untuk GLBB diperlambat	49
Gambar 2.30 Soal grafik kecepatan terhadap waktu.....	50
Gambar 2.31 Jarak henti kendaraan	50
Gambar 2.32 Kemiringan pada grafik posisi terhadap waktu	51
Gambar 2.33 Grafik posisi terhadap waktu untuk GLBB.....	51
Gambar 2.34 Diagram gerak vertikal.....	52
Gambar 2.35 Grafik $v-t$ untuk gerak vertikal	52
Gambar 2.36 Liem Swie King dengan <i>jump smash</i>	52
Gambar 2.37 Lintasan bola basket yang ditembakkan oleh pemain basket	53
Gambar 2.38 Percobaan gerak parabola	53
Gambar 2.39 Gerak parabola merupakan perpaduan GLB dan GLBB	54
Gambar 2.40 Gerak parabola akibat medan listrik.....	54
Gambar 2.41 Penyelidikan gerak parabola	55
Gambar 2.42 Komponen kecepatan pada gerak parabola	56



Gambar 2.43 Gerak bola	56
Gambar 2.44 Lintasan parabola dari peluru.....	57
Gambar 2.45 Gerak motor dalam sirkuit lingkaran.....	58
Gambar 2.46 Gerak martil.....	58
Gambar 2.47 Gerak melingkar beraturan pada lintasan mobil.....	58
Gambar 3.1 Pesawat terbang meninggalkan landasan pacu.....	64
Gambar 3.2 Dua anak yang diam dalam kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan konstan	65
Gambar 3.3 Percobaan menentukan efek gaya luar pada benda	66
Gambar 3.4 Diagram gaya pada suatu benda.....	68
Gambar 3.5 Rangkaian percobaan hubungan gaya dan percepatan	69
Gambar 3.6 Telur yang dijatuhkan pada dua keadaan.....	70
Gambar 3.7 Pasangan gaya aksi-reaksi	71
Gambar 3.8 Perlombaan tarik tambang.....	72
Gambar 3.9 Mobil yang ditarik oleh magnet	72
Gambar 3.10 Fitur-fitur di dalam aplikasi Phet.colorado.....	72
Gambar 3.11a Diagram gaya pada balok di atas meja	74
Gambar 3.11b Gaya normal tiap material	74
Gambar 3.12 Lemari yang didorong di atas permukaan kasar	74
Gambar 3.13 Rangkaian percobaan	75
Gambar 3.14a Penerjun payung.....	76
Gambar 3.14b Meteor yang terbakar.....	76
Gambar 3.15 Grafik kecepatan terhadap waktu pada penerjun payung...	77
Gambar 3.16 Contoh skema percobaan.....	77
Gambar 3.17 Gerak melingkar pada sebuah mobil.....	78
Gambar 3.18 Tumbukan antara dua benda	79
Gambar 3.19 Tumbukan antara dua balok.....	81
Gambar 3.20 Diagram tumbukan pada bidang.....	82
Gambar 3.21 Tampilan percobaan.....	82
Gambar 3.22 Seorang pemuda mencoba menyeimbangkan dua beban...83	
Gambar 3.23 Dua benda yang berada di atas tumpuan dan penggaris.....84	
Gambar 3.24 Beberapa benda beserta momen inersianya	85
Gambar 4.1 Posisi infus pada pasien.....	91
Gambar 4.2 Seekor gajah dan seorang wanita	91
Gambar 4.3 Bendungan	92
Gambar 4.4 Tabung yang dilubangi	93
Gambar 4.5 Penjelasan tekanan hidrostatik.....	94
Gambar 4.6 Tabung dengan bentuk yang berbeda	95
Gambar 4.7 Barometer Toricelli	96
Gambar 4.8 Kapal di permukaan laut.....	97
Gambar 4.9 Percobaan Prinsip Archimedes	97
Gambar 4.10 Kubus di dalam wadah	98
Gambar 4.11 Wadah berisi cairan dan es batu	99



Gambar 4.12 Paper clip di permukaan air	100
Gambar 4.13 Laba-laba air di permukaan air	100
Gambar 4.14 Ilustrasi gaya kohesi.....	101
Gambar 4.15 Meniskus cembung dan meniskus cekung.....	102
Gambar 4.16 Prinsip kapilaritas.....	102
Gambar 4.17 Penurunan persamaan kapilaritas.....	103
Gambar 4.18 Madu yang mengalir	104
Gambar 4.19 Keran air	107
Gambar 4.20 Prinsip Bernoulli pada fluida.....	107
Gambar 4.21 Prinsip Bernoulli pada keran air	108
Gambar 4.22 Dua kertas yang ditiup.....	110
Gambar 4.23 Penurunan persamaan Bernoulli	110
Gambar 4.24 Wadah yang di lubangi pada ketinggian h_2	112
Gambar 4.25 Prinsip Bernoulli pada pesawat dan sprayer	112
Gambar 5.1 Gelombang tsunami dan dampak gempa bumi.....	116
Gambar 5.2 Pemanfaatan internet di era modern	117
Gambar 5.3 Demonstrasi gelombang pada permukaan air	117
Gambar 5.4 Interpretasi gelombang pada jarak dan waktu.....	118
Gambar 5.5 Percobaan membuat pola gelombang	119
Gambar 5.6a Gelombang longitudinal.....	119
Gambar 5.6b Gelombang transversal	119
Gambar 5.7 Gelombang radio dan gelombang seismik	120
Gambar 5.8 Sudut fase pada gelombang.....	121
Gambar 5.9 Beda fase antara dua titik pada sebuah gelombang.....	121
Gambar 5.10 Beda fase antara dua gelombang.....	122
Gambar 5.11 Pengaturan percobaan virtual.....	123
Gambar 5.12 Superposisi dua sinyal	124
Gambar 5.13 Prinsip Huygens-Fresnel pada muka gelombang bidang dan gelombang sferis.....	125
Gambar 5.14 Hukum kuadrat terbalik pada intensitas gelombang	125
Gambar 5.15 Percobaan dua celah ganda pada gelombang air.....	126
Gambar 5.16 Seorang pelajar mendengarkan musik	126
Gambar 5.17a Alat musik gesek.....	129
Gambar 5.17b Alat musik tiup	129
Gambar 5.18 Pola gelombang stasioner pada dawai.....	130
Gambar 5.19 Pola gelombang stasioner pada pipa organa terbuka.....	131
Gambar 5.20 Pola gelombang stasioner pada pipa organa tertutup	131
Gambar 5.21 Alat dan bahan percobaan.....	132
Gambar 5.22 Efek Doppler pada dua pengamat	133
Gambar 5.23 Contoh rangkaian percobaan.....	133
Gambar 5.24 Gelas yang retak karena resonansi	134
Gambar 5.25 Percobaan resonansi pendulum	134
Gambar 5.26 Peristiwa pelayangan bunyi.....	135



Gambar 5.27 Skema percobaan	137
Gambar 5.28 Skema cara kerja NDT	138
Gambar 5.29 Proses pembentukan pelangi oleh butiran air	138
Gambar 5.30 spektrum gelombang elektromagnetik	138
Gambar 5.31 Interferensi pada selaput tipis.....	139
Gambar 5.32 Pola interferensi pada cahaya	140
Gambar 5.33 Beda lintasan gelombang pada dua pengamat	141
Gambar 5.34 Fenomena difraksi di alam	141
Gambar 5.35 Pembentukan difraksi.....	141
Gambar 5.36 Pola difraksi pada celah tunggal pada cahaya	142
Gambar 5.37 Rancangan percobaan	142
Gambar 5.38 Pola difraksi pada kisi dan kisi difraksi	143
Gambar 5.39 Prinsip kerja kacamata 3D.....	143
Gambar 5.40 Prinsip kerja polarisasi.....	144
Gambar 5.41 Proses polarisator menyerap arah getar gelombang cahaya	144
Gambar 5.42 Cahaya yang melewati polarisator	145
Gambar 5.43 TV tabung, TV LCD dan TV LED dan cara kerjanya	145
Gambar 6.1 Tiga wadah dengan suhu air yang berbeda	151
Gambar 6.2 Satu kaki pada keset kaki dan kaki lain pada logam	152
Gambar 6.3 Kesetimbangan termal pada cairan	152
Gambar 6.4 Suhu sebagai energi kinetik rata-rata partikel.....	153
Gambar 6.5 Prinsip konversi pada termometer.....	154
Gambar 6.6 Percobaan penentuan kalor oleh Joule	155
Gambar 6.7 Kenaikan suhu terhadap kalor	157
Gambar 6.8 Perpindahan panas	159
Gambar 6.9 Perubahan suhu dan perubahan wujud	161
Gambar 6.10 Pertambahan jarak antara partikel.....	162
Gambar 6.11 Tangki bawah tanah pada pompa bensin dan bensin menetes	163
Gambar 6.12 Pengaruh ukuran mula-mula pada pemuaian.....	163
Gambar 6.13 Cincin logam yang dipanaskan.....	165
Gambar 6.14 Proses konduksi.....	166
Gambar 6.15 Solderan listrik.....	167
Gambar 6.16 Proses konveksi.....	167
Gambar 6.17 Proses radiasi	168
Gambar 6.18 Oven Microwave.....	169
Gambar 6.19 Bagian-bagian termos	169
Gambar 7.1 Perubahan bentuk energi dalam tubuh manusia	174
Gambar 7.2 Pembangkit listrik tenaga batu bara.....	175
Gambar 7.3 Kayu yang terbakar.....	175
Gambar 7.4a Sebelum ekspansi gas.....	175
Gambar 7.4b Sesudah ekspansi gas.....	175



Gambar 7.5 Susunan molekul gas	176
Gambar 7.6 Eksperimen hukum Boyle	177
Gambar 7.7 Paru-paru buatan	178
Gambar 7.8 Tekanan udara dalam paru-paru pada saat inspirasi dan ekspirasi.....	178
Gambar 7.9 Eksperimen Hukum Charles.....	179
Gambar 7.10 Eksperimen Hukum Gay Lussac	179
Gambar 7.11 Eksperimen Hukum Avogadro	180
Gambar 7.12 Panci dan sop.....	182
Gambar 7.13 Panci tekan.....	182
Gambar 7.14 Gas sebagai suatu sistem.....	184
Gambar 7.15 Proses termodinamika dalam diagram p-V	185
Gambar 7.16a Usaha yang dilakukan oleh gas.....	185
Gambar 7.16b Usaha yang dilakukan oleh gas dalam diagram p-V	185
Gambar 7.17 Empat proses termodinamika dalam diagram p-V.....	186
Gambar 7.18 Air mendidih dalam panci terbuka.....	186
Gambar 7.19 Siklus proses termodinamika	187
Gambar 7.20 Kekekalan energi dalam tubuh manusia.....	189
Gambar 7.21 Eksperimen kekekalan energi	189
Gambar 7.22 Bagan Hukum I Termodinamika.....	190
Gambar 7.23 Telpin genggam mulus dan retak	194
Gambar 7.24 Air terjun menyimpan energi potensial	194
Gambar 7.25a Polusi udara.....	196
Gambar 7.25b Polusi tanah.....	196
Gambar 7.26 Atmosfer dan danau.....	196
Gambar 7.27 Pernyataan Clausius.....	197
Gambar 7.28 Kerja mesin berdasarkan pernyataan Kelvin-Planck	197
Gambar 7.29 Mesin mobil sebagai mesin kalor	198
Gambar 7.30a Skema mesin Carnot.....	198
Gambar 7.30b Siklus Carnot	198
Gambar 7.31 Siklus mesin Carnot	200
Gambar 7.32 Cara kerja kincir air.....	200
Gambar 7.33 Diagram kerja dan diagram p-V dari pompa kalor.....	202
Gambar 7.34 Pompa kalor dengan spesifikasi tertentu	203
Gambar 7.35 Siklus Carnot dan entropi	203



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penjumlahan vektor perpindahan	14
Tabel 1.2 Penjumlahan vektor gaya dengan sudut apit yang berubah	21
Tabel 2.1 Posisi awal, posisi akhir dan perubahan posisi Sondang.....	30
Tabel 2.2 Posisi awal, posisi akhir dan perubahan posisi berdasarkan denah kawasan	31
Tabel 2.3 Posisi sepeda terhadap waktu.....	33
Tabel 2.4 Kecepatan pesawat terhadap udara dan tanah	37
Tabel 2.5 Posisi terhadap waktu	51
Tabel 3.1 Data hasil pengamatan gaya vs percepatan.....	69
Tabel 3.2 Data hasil pengamatan penentuan koefisien gesek statis.....	76
Tabel 3.3 Data hasil pengamatan penentuan koefisien restitusi.....	83
Tabel 3.4 Data hasil pengamatan efek momen gaya pada dua benda	85
Tabel 3.5 Beberapa besaran pada gerak lurus dan gerak rotasi.....	86
Tabel 4.1 Hasil pengamatan asas kontinuitas.....	109
Table 5.1 Cepat rambat bunyi pada beberapa medium	127
Tabel 5.2 Taraf Intensitas bunyi beserta sumbernya.....	136
Tabel 5.3 Data pengamatan jarak terhadap intensitas bunyi.....	137
Table 6.1 Kalor jenis berbagai materi.....	158
Tabel 6.2 Kalor lebur dan kalor uap berbagai zat	161
Tabel 6.3 Koefisien muai panjang beberapa zat.....	164
Tabel 6.4 Konduktivitas termal beberapa zat	167
Tabel 7.1 Koefisien muai volume beberapa materi.....	176
Tabel 7.2 Keadaan awal dan akhir suatu gas	185
Tabel 7.3 Proses termodinamika mesin Carnot.....	200

*“Hal yang paling penting adalah jangan pernah berhenti bertanya.
Rasa penasaran memiliki alasan tersendiri untuk ada”*

(Albert Einstein)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 1

Vektor

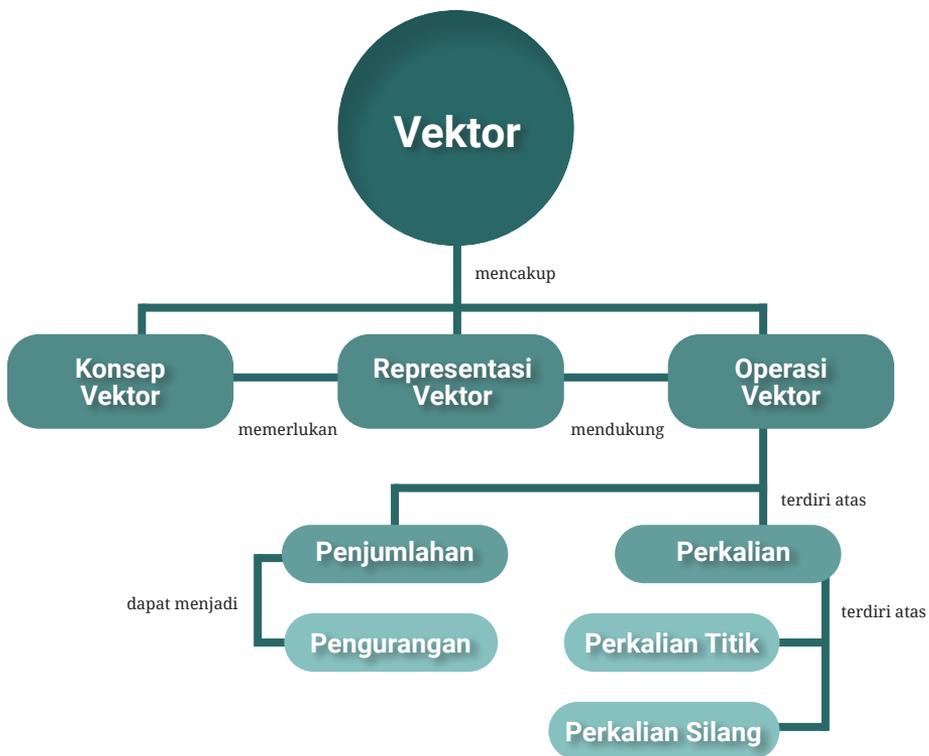
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan vektor dan sifat-sifatnya yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari, merepresentasi vektor untuk menggambarkan fenomena fisika, membedakan operasi skalar dan vektor, melakukan operasi vektor dalam menyelesaikan masalah serta mendeskripsikan operasi vektor dan hasilnya secara fisis.

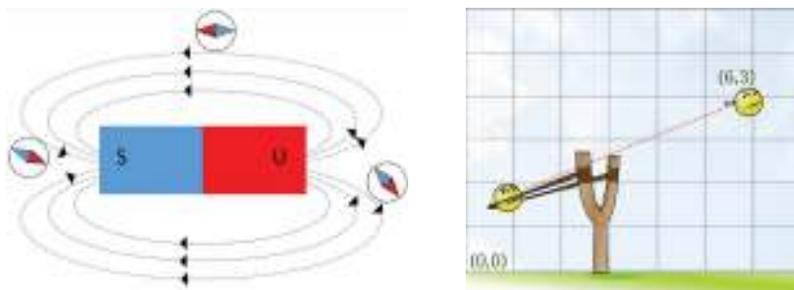
Kata-Kata Kunci:

- Vektor
- Notasi dari vektor
- Resultan vektor
- Komponen vektor
- Metode poligon
- Metode analitis
- Metode jajargenjang

Peta Konsep

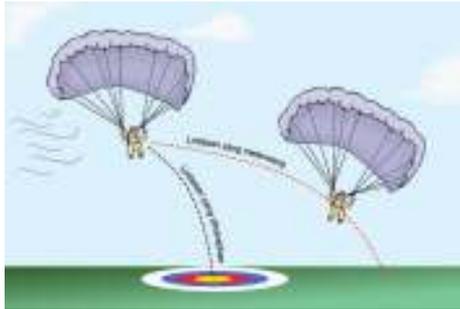


Kalian sering menyaksikan berbagai kegiatan yang berhubungan dengan arah dalam kehidupan sehari-hari. Sampul bab menunjukkan gerak penerjun payung ke bawah dan arah tali pada jembatan. Arah vektor medan magnet ditunjukkan oleh kompas dan dalam pembuatan *game* aplikasi vektor digunakan untuk menggambarkan gerak benda atau karakter.



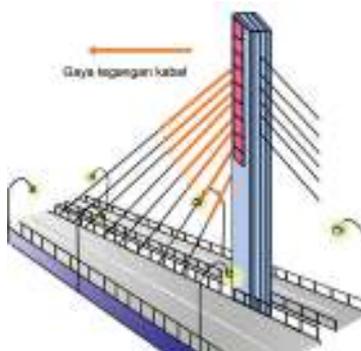
Gambar 1.1 Arah medan magnet dan konsep pembuatan *game*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Mengapa penerjun payung mendarat melenceng dari posisi sebenarnya? Lihat Gambar 1.2. Salah satu penyebabnya adalah tiupan angin yang mengubah arah gerak penerjun payung.



Gambar 1.2 Penerjun payung mendarat melenceng
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 1.3 menunjukkan beberapa kabel menopang suatu jembatan. Setiap kabel memberikan gaya sehingga ada beberapa vektor gaya.



Gambar 1.3 Beberapa kabel menopang suatu jembatan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berpikir Kritis!

Bagaimana cara menggambar vektor, resultan vektor, komponen vektor serta menghitung besar dan arah resultan vektor dalam sebuah pengamatan?

A. Konsep Vektor

Konsep vektor dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya seorang pilot pesawat terbang menggunakan komputer navigasi yang dihubungkan dengan cara vektor sehingga pilot yang mengemudi tidak salah arah atau berpindah ke tempat yang tidak diinginkan. Agar kalian dapat memahami konsep vektor, ayo lakukan Aktivitas 1.1.

Aktivitas 1.1

Perhatikan peta yang ditunjukkan oleh Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Rute terminal bis ke bandara
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Ayah ingin berangkat dari terminal bis ke bandara. Jawablah pertanyaan berikut ini.

1. Apakah bis dapat bergerak langsung dari terminal ke bandara tanpa berbelok? Tunjukkan lintasan ini dengan menggambarkan garis lurus dari terminal ke bandara.
2. Buat dua rute bis yang berbeda dari terminal ke bandara, gunakan warna berbeda.

Lintasan bis tidak dapat langsung dari terminal ke bandara tetapi perlu mengambil serangkaian jalan.



Ayo, Berpikir Kritis!

Diskusikan rute dalam Aktivitas 1.1 yang kalian sudah buat dalam kelompok. Apakah rute kalian sama atau berbeda? Apa yang membedakan rute yang satu dengan rute lainnya?

Kalian sepakat bahwa pemilihan rute menentukan arah dan jarak tempuh. Mari kita tinjau rute dengan pengertian konsep vektor.

Perhatikan denah dalam Gambar 1.5.



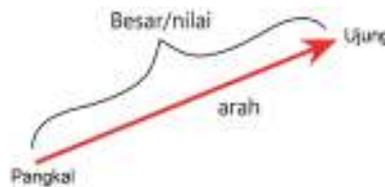
Gambar 1.5 Penerapan konsep vektor dalam rute
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Anak panah merah menyatakan rute langsung dari titik awal ke titik akhir sedangkan anak panah biru menunjukkan rute dengan dua lintasan yang berbeda. Setiap anak panah menyatakan suatu perpindahan dari titik awal ke titik akhir yang berupa vektor.

Berdasarkan Aktivitas 1.1 kalian dapat membuat beberapa vektor untuk mendapatkan rute terminal bis ke bandara.

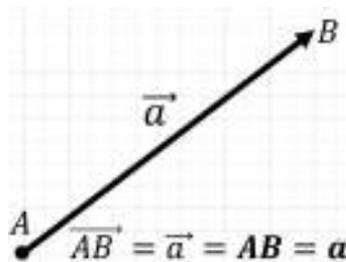
1. Lambang dan Notasi Vektor

Besaran fisika dapat dibedakan atas besaran vektor dan besaran skalar. Besaran vektor mempunyai nilai dan arah sedangkan besaran skalar hanya mempunyai nilai saja. Vektor dinyatakan dengan anak panah. Panjang anak panah menyatakan besar vektor sedangkan arahnya dapat dinyatakan oleh sudut. Sebuah vektor digambarkan dengan anak panah yang memiliki pangkal dan ujung.



Gambar 1.6 Bagian-bagian dari vektor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Notasi vektor, dituliskan sebagai \overline{AB} atau \mathbf{AB} atau \vec{a} atau \mathbf{a} . Notasi vektor dapat menggunakan satu huruf atau dua huruf.



Gambar 1.7 Vektor dan notasinya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Besar atau panjang vektor \overline{AB} dituliskan sebagai $|\overline{AB}|$, dapat bernilai 0 dan selalu bernilai positif.

Hal khusus tentang vektor :

- vektor nol yaitu vektor yang bernilai nol. Pemahaman vektor nol diulas dalam pengurangan vektor.
- vektor satuan yaitu vektor dengan besar 1 dan arah tertentu. Vektor satuan diulas dalam komponen vektor.



Tahukah Kalian

Rute pesawat terbang merupakan rangkaian sejumlah vektor yang dapat berbeda walaupun nampaknya pesawat terbang lurus saja. Gambar 1.8 menunjukkan lintasan pesawat yang merupakan kumpulan sejumlah vektor. Panjang dan arah vektor dapat berbeda-beda selama rute perjalanan. Setiap vektor menyatakan suatu perpindahan. Makin panjang vektor makin besar perpindahannya.



Gambar 1.8 Lintasan pesawat terbang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

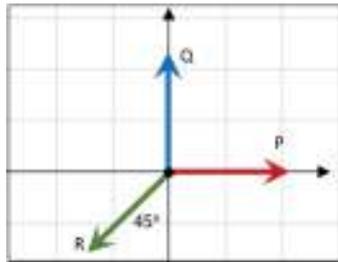
1. Menggambar Vektor

Kalian pasti sudah mengenal olahraga mendaki gunung atau panjat tebing yang memerlukan tali sebagai salah satu alat untuk memperkokoh, menarik dan menyeret. Tali juga dipergunakan untuk melindungi diri dari bahaya kecelakaan yang mungkin terjadi. Perhatikan Gambar 1.9. Tegangan tali dialami oleh pendaki gunung.

Bagaimana menggambar vektor gaya tali ini? Arah vektor ditentukan dengan sudut antara garis horizontal dan vektor tersebut. Sudut dimulai 0° dari horizontal dan berputar melawan arah jarum jam. Perhatikan arah vektor gaya dalam Gambar 1.10.



Gambar 1.9 Tegangan tali pada pendaki gunung
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 1.10 Tiga arah vektor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Arah vektor \vec{P} adalah 0° .
Arah vektor \vec{Q} adalah 90° .
Arah vektor \vec{R} adalah 225° .

Lakukan Aktivitas 1.2 agar kalian terampil dalam menggambar vektor dan mampu menentukan besar dan arah vektor.

Aktivitas 1.2

1. Gambarkan vektor dari Gambar 1.9. Gunakan busur untuk menentukan sudut yang dibentuk oleh vektor tegangan tali dan penggaris untuk menentukan panjang vektor.
2. Jika 1 cm mewakili 10 N tentukan besar setiap vektor gaya dalam Gambar 1.10.
3. Gambarkan dan namakan vektor berikut.
 - a. panjang 8 cm dan arah 150°
 - b. panjang 6 cm dan arah 330°

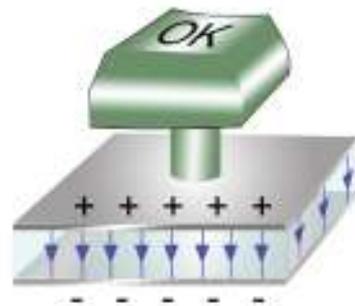


Ayo, Berteknologi!

Kalian dapat menggunakan aplikasi geogebra untuk menggambar suatu vektor. Tautan aplikasi adalah <https://www.geogebra.org/>.

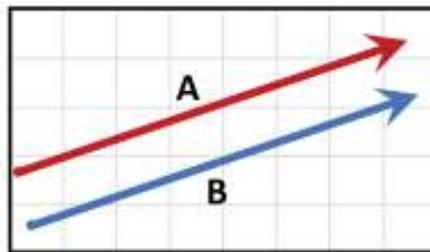
3. Sifat-Sifat Vektor

Kalian pasti pernah mengetik menggunakan *keyboard* baik pada komputer ataupun laptop. Gambar 1.11 menunjukkan vektor-vektor medan listrik di berbagai posisi pada pelat sejajar di *keyboard*. Vektor-vektor tersebut sejajar dan sama panjang.



Gambar 1.11 Vektor-vektor medan listrik pada keping sejajar
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

“Dua vektor dikatakan sama jika keduanya mempunyai besar dan arah yang sama.”



Gambar 1.12 Dua vektor yang sama
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Mengapa kita dapat berjalan? Kaki mendorong lantai yang berakibat lantai juga mendorong kaki. Makin besar dorongan kaki pada lantai maka makin besar juga dorongan lantai pada kaki. Hukum III Newton menyatakan bahwa gaya aksi sama besar dengan gaya reaksi tetapi berlawanan arah. Kalian akan belajar Hukum III Newton secara mendalam dalam bab 3. Berdasarkan Gambar 1.13, kalian dapat melihat bahwa vektor biru sama panjang dengan vektor merah tetapi berlawanan arah. Vektor merah merupakan negatif vektor dari vektor biru.



Gambar 1.13 Aksi reaksi antara kaki dan tanah
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

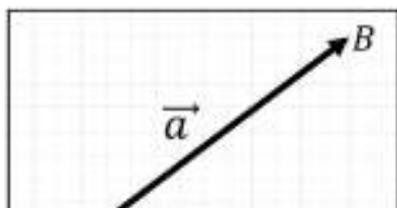
“Vektor negatif sama besar tetapi berlawanan arah dengan suatu vektor”



Gambar 1.14 Vektor dan negatif vektor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Lakukan Aktivitas 1.3 agar kalian berlatih dalam menggambar vektor yang berlawanan arah dengan suatu vektor.

Aktivitas 1.3



Gambar 1.15 Vektor \vec{a}
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

- Buatlah vektor sembarang yang panjang dan arahnya kalian tentukan sendiri, Namakan vektor \vec{a} .
- Gambarkan negatif vektornya.
- Tentukan besar sudut yang dibentuk oleh negatif vektor $-\vec{a}$.
- Ulangi untuk vektor lainnya.



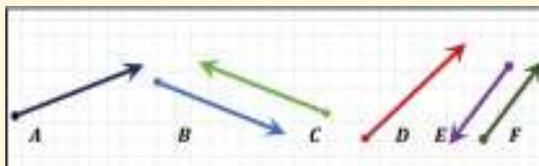
Ayo, Berteknologi!

Kalian dapat menggunakan aplikasi *geogebra* untuk menggambarkan vektor dan negatifnya. Tautan aplikasi adalah <https://www.geogebra.org/>.



Ayo, Cermati!

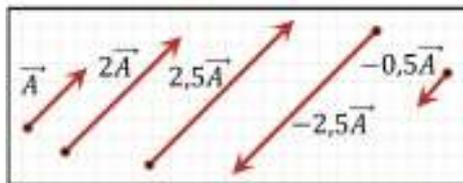
Tentukan apakah setiap pasangan vektor berikut ini merupakan vektor dengan vektor negatifnya.



Gambar 1.16 Berbagai vektor dengan arah dan besar berbeda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perkalian vektor dengan suatu skalar

Perhatikan Gambar 1.17. Apa yang kalian yang dapat simpulkan?



Gambar 1.17 Berbagai vektor hasil perkalian dengan skalar
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perkalian suatu skalar dengan vektor dituliskan sebagai $k\vec{A}$ dengan k dapat bernilai positif atau negatif sehingga vektor yang dihasilkan dapat searah atau berlawanan arah.

“Dua vektor dikatakan sejajar jika searah atau berlawanan arah.”



Ayo, Cek Pemahaman!

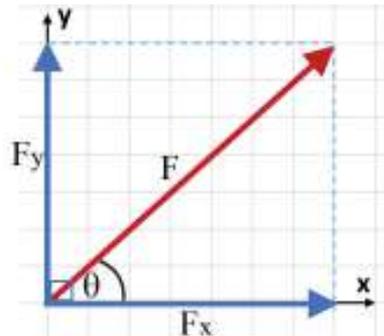
Mengapa diperlukan konsep vektor dalam kehidupan sehari-hari? Berikan contoh-contoh untuk mendukung penjelasanmu.

B. Representasi Vektor

Vektor direpresentasikan dengan dua cara yaitu melalui cara penggambaran anak panah yang menyatakan besar dan arah serta dalam komponen-komponen pembentuknya yang merupakan hasil penguraian dari vektor tersebut. Cara pertama telah dipelajari sebelumnya sedangkan cara kedua dipelajari dalam sub bab ini.

1. Komponen Vektor

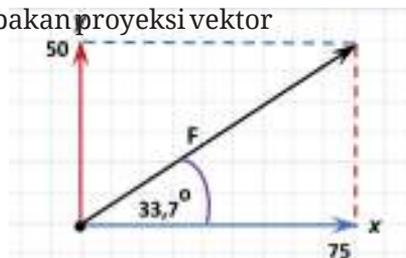
Sebuah vektor dua dimensi dapat diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus. Penguraian vektor menjadi dua komponen, yaitu pada sumbu x (horizontal) dan sumbu y (vertikal). Gambar 1.18 menunjukkan sebuah gaya F diproyeksikan pada sumbu x dan sumbu y yang menghasilkan F_x dan F_y .



Gambar 1.18 Komponen vektor gaya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Vektor pada Sistem Koordinat Cartesius

Komponen vektor sepanjang sumbu merupakan proyeksi vektor tersebut pada sumbu sistem koordinat Cartesius. Komponen vektor dapat bernilai negatif atau positif. Perhatikan Gambar 1.19.



Gambar 1.19 Proyeksi vektor pada sumbu x dan sumbu y
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Vektor dalam Gambar 1.19 dinyatakan sebagai $\mathbf{F} = 75 \mathbf{i} + 50 \mathbf{j}$. Artinya nilai komponen horizontal adalah 75 dan nilai komponen vertikal adalah 50. Jadi, suatu vektor \mathbf{A} dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} \quad (1.1)$$

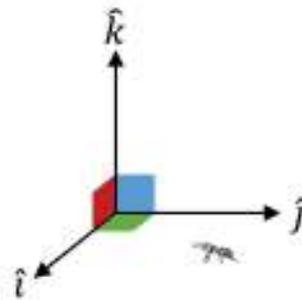
Dengan : A_x = nilai komponen horizontal vektor \mathbf{A}
 A_y = nilai komponen vertikal vektor \mathbf{A}

Notasi \mathbf{i} dan \mathbf{j} merupakan vektor satuan dalam arah horizontal dan vertikal. Untuk vektor berdimensi tiga berlaku

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} \quad (1.2)$$

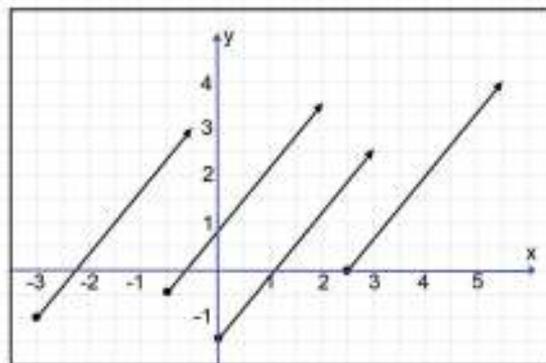
\mathbf{i} , \mathbf{j} dan \mathbf{k} merupakan vektor satuan dalam arah sumbu -x, sumbu -y dan sumbu -z.

“Sebuah vektor satuan adalah vektor tidak berdimensi yang besarnya satu dan menunjuk ke suatu arah tertentu.”



Gambar 1.20 Vektor satuan dalam sistem koordinat Cartesius
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan vektor – vektor pada Gambar 1.21.



Gambar 1.21 Vektor-vektor yang sama dalam sistem koordinat Cartesius
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Semuanya adalah vektor perpindahan yang sama, yaitu

$$\mathbf{d} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$$

Vektor satuan dari suatu vektor adalah vektor tersebut dibagi dengan panjang vektor. Dengan demikian vektor satuan dari $\mathbf{d} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ adalah

$$\hat{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{d}}{|\mathbf{d}|} = \frac{3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}}{5}$$
$$\hat{\mathbf{d}} = \frac{3}{5}\mathbf{i} + \frac{4}{5}\mathbf{j}$$



Ayo, Berpikir Kritis!

Apakah lokasi dalam sistem koordinat mengubah arah dan besar suatu vektor jika vektor digeser? Mengapa demikian?



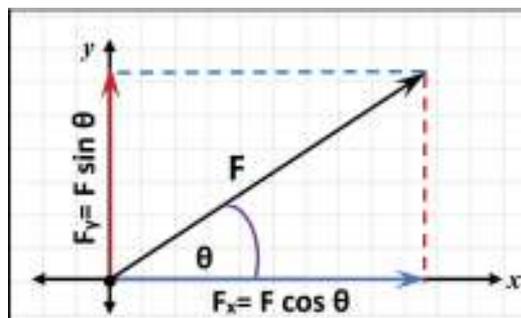
Ayo, Berdiskusi!

Buktikan bahwa setiap vektor dalam Gambar 1.19 adalah $\mathbf{d} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ dengan cara menentukan koordinat pangkal dan ujung vektor.

2. Penguraian Vektor Berdasarkan Aturan Trigonometri

Suatu pesawat terbang terlihat berada 300 km dari suatu bandara dengan arah 30° dari timur ke utara. Berapa jauh pesawat tersebut ke timur dan ke utara dari bandara?

Masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan aturan trigonometri, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.22.



Gambar 1.22 Penguraian vektor dengan menggunakan aturan trigonometri
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Komponen vektor F dalam arah sumbu x adalah F_x yang besarnya

$$F_x = F \cos \theta$$

Komponen vektor F dalam arah sumbu y adalah F_y yang besarnya

$$F_y = F \sin \theta$$

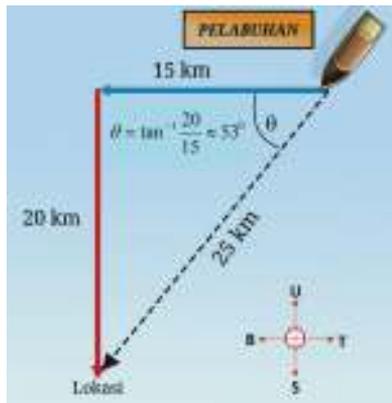
θ = sudut yang dibentuk antara vektor F dan arah sumbu x positif

Sehingga jawaban dari masalah di atas adalah

$$F_x = F \cos \theta = 300 \cos 30^\circ = 300 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 259,8 \text{ km ke arah timur}$$

$$F_y = F \sin \theta = 300 \sin 30^\circ = 300 \left(\frac{1}{2} \right) = 150 \text{ km ke arah utara}$$

Perhatikan satu masalah lain lagi.



Sebuah kapal penyelamat berada 15 km timur dan 20 km utara dari suatu lokasi. Berapa jarak dan arah kapal tersebut ke lokasi? Masalah ini diselesaikan dengan cara seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.23 Untuk besar vektor gunakan dalil Pythagoras. Untuk arah vektor gunakan tangen.

Gambar 1.23 Penentuan panjang dan arah vektor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berteknologi!

Tinjau tautan berikut ini untuk memperkuat pemahaman tentang penguraian vektor. Tautan adalah <https://ophysics.com/k3.html>.



Ayo, Cek Pemahaman!

Apa kelebihan representasi vektor sebagai anak panah? Apa kelebihan representasi vektor yang dinyatakan dalam komponen?

C. Operasi Vektor

Operasi vektor terdiri atas penjumlahan dan pengurangan vektor serta perkalian vektor.

1. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor dengan Metode Grafis

Hasil penjumlahan atau pengurangan vektor disebut sebagai resultan vektor. Lakukan Aktivitas 1.4 agar kalian dapat memahami resultan vektor.

Aktivitas 1.4

a. Menggambar penjumlahan vektor

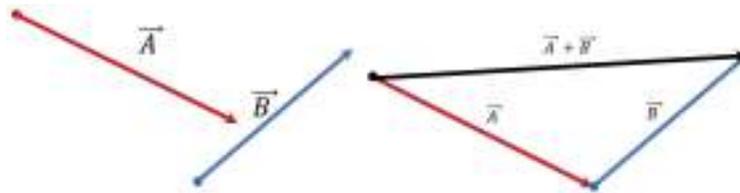
Jika berjalan sejauh 6 m kemudian 8 m berapa jauh posisi akhir dari posisi awal? Jawabannya lebih dari satu. Gambarkan kedua vektor perpindahan dan vektor perpindahan akhir. Lengkapi Tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1 Penjumlahan Vektor Perpindahan

Perpindahan 1	Perpindahan 2	Perpindahan 3
6 m Timur 	8 m Timur 	14 m Timur 
6 m Barat	8 m Timur	
6 m Utara	8 m Timur	
6 m Selatan	8 m Barat	
6 m 45° dari timur ke utara	6 m 45° dari timur ke utara	

Penjumlahan dua vektor dalam Aktivitas 1.4 dilakukan dengan menghubungkan ujung vektor pertama dengan pangkal vektor kedua. Resultan vektor diperoleh dengan menarik anak panah dari pangkal vektor pertama ke ujung vektor kedua.

Perhatikan Gambar 1.24 yang menunjukkan penjumlahan dua vektor dengan menggunakan metode segitiga.

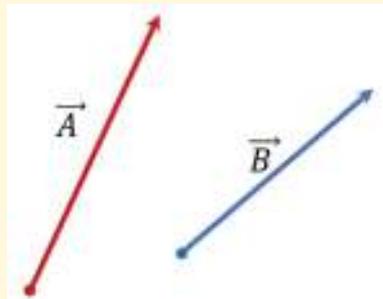


Gambar 1.24 Penjumlahan dua vektor dengan metode segitiga
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan kembali Gambar 1.5 tentang rute pada denah, yang menunjukkan penjumlahan dua vektor dengan metode segitiga.

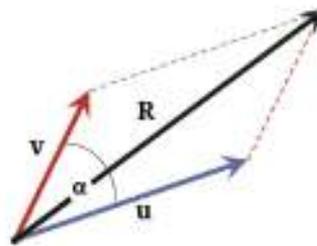
Ayo, Bekerjasama!

Gambarkan resultan vektor dari $\vec{A} + \vec{B}$ dan $\vec{A} - \vec{B}$ dengan metode segitiga. Pengurangan $\vec{A} - \vec{B}$ dapat dituliskan sebagai $\vec{A} + (-\vec{B})$.



Gambar 1.25 Vektor A dan B
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Penjumlahan dua vektor dapat juga dilakukan dengan **metode jajargenjang**, yaitu mempertemukan kedua pangkal vektor pada suatu titik kemudian menarik anak panah dari titik ini ke perpotongan proyeksi masing-masing vektor. Perhatikan Gambar 1.26 yang menunjukkan cara mendapatkan resultan vektor dengan metode jajargenjang.

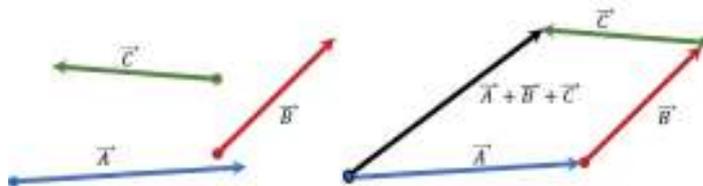


Gambar 1.26 Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Ayo, Berkolaborasi!

Gambarkan resultan vektor dari $\vec{u} - \vec{v}$ (Gambar 1.26) dengan metode jajargenjang.

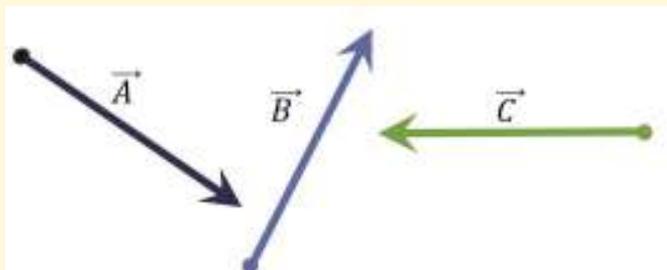
Bagaimana mendapatkan resultan vektor jika lebih dari dua vektor dijumlahkan? Metode yang digunakan adalah **metode poligon** dengan prinsip yang sama seperti metode segitiga. Perhatikan Gambar 1.27.



Gambar 1.27 Penjumlahan tiga vektor dengan metode poligon
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Ayo, Cermati!

Jumlahkan ketiga vektor berikut dengan metode poligon.



Gambar 1.28. Tiga vektor dengan arah dan besar berbeda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

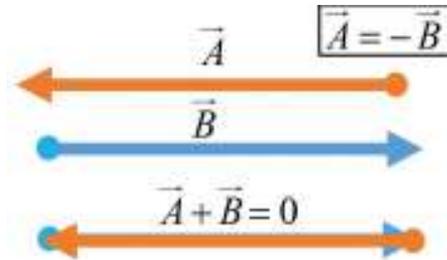
Ayo, Berkolaborasi!

Tentukan empat vektor sembarang. Jumlahkan keempat vektor tersebut dengan menggunakan metode poligon.

Resultan Vektor Nol

Berikut ini merupakan contoh penjumlahan vektor yang menghasilkan vektor nol.

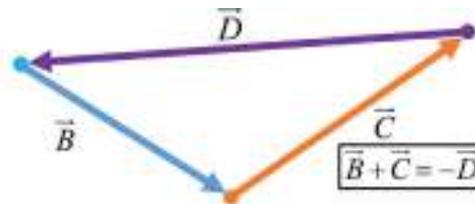
1. Dua vektor senilai tetapi berlawanan arah.



Gambar 1.29 Penjumlahan dua vektor yang menghasilkan vektor nol
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Penjumlahan keduanya menghasilkan vektor nol.

- 2.



Gambar 1.30 Penjumlahan tiga buah vektor yang menghasilkan vektor nol
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Penjumlahan vektor \vec{B} , vektor \vec{D} , dan vektor \vec{C} menghasilkan vektor nol. Hasil penjumlahan vektor \vec{B} dan \vec{C} merupakan vektor negatif dari \vec{D} .

“Vektor nol adalah vektor yang pangkal dan ujung vektornya berhimpit. Vektor nol mempunyai panjang nol dan arahnya tidak tentu.”

2. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor dengan Metode Analitis

Berbeda dengan metode sebelumnya yang memerlukan penggaris dan busur untuk menentukan resultan vektor maka metode analitis memerlukan penguasaan trigonometri untuk menyelesaikannya.

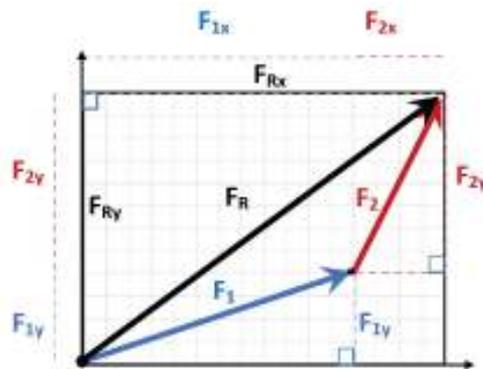
Lakukan Aktivitas 1.5 berikut ini untuk memahami hal tersebut.

Aktivitas 1.5

Bapak berjalan 80 m ke timur kemudian 60 m ke utara (perpindahan pertama) lalu berjalan 120 m ke timur dan 90 m ke utara (perpindahan kedua). Gambarkan kedua perpindahan pada kertas berpetak. Tentukan :

- komponen horizontal dan komponen vertikal dari perpindahan total.
- besar dan arah perpindahan total.

Penyelesaian penjumlahan vektor secara analitis (dengan penjumlahan komponen) ditunjukkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 1.31 Penjumlahan komponen vektor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Besar setiap komponen vektor pada sumbu x dan pada sumbu y diberikan oleh

$$F_x = F \cos \alpha \text{ dan } F_y = F \sin \alpha$$

Besar resultan vektor pada sumbu x dan sumbu y adalah:

$$F_{Rx} = \sum F_x = F_{1x} + F_{2x}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y}$$

Besar dan arah resultan vektor adalah:

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} \text{ dan } \tan \alpha = \frac{F_y}{F_x} \quad (1.3)$$

Jika terdapat lebih dari dua vektor maka besar resultan vektor pada sumbu x dan sumbu y adalah:

$$F_{Rx} = \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots \quad (1.4)$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots \quad (1.5)$$

3. Penentuan Resultan Vektor dengan Menggunakan Rumus Kosinus

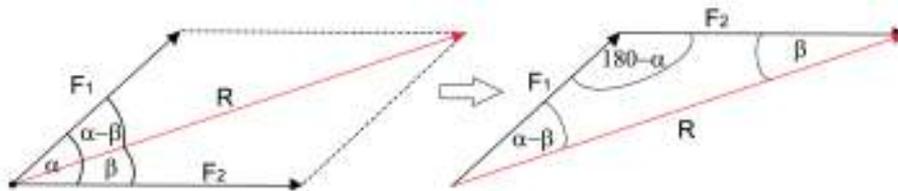
Perhatikan kembali Gambar 1.26, besar resultan dari dua buah vektor F_1 dan F_2 yang membentuk sudut apit α dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha} \quad (1.6)$$

Dengan : F_R = besar resultan dari dua vektor,
 F_1 = besar vektor pertama,
 F_2 = besar vektor kedua dan
 α = sudut apit antara kedua vektor

4. Penentuan Arah Resultan Vektor dengan Menggunakan Rumus Sinus

Jika dengan rumus kosinus diperoleh besar resultan penjumlahan dua vektor maka untuk menentukan arah dari vektor resultan terhadap salah satu vektor komponennya dapat digunakan persamaan sinus. Perhatikan Gambar 1.32.



Gambar 1.32 Penentuan arah vektor resultan dengan rumus sinus
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Sudut antara vektor F_1 dan F_2 adalah α . Sudut antara vektor resultan (R) dengan vektor F_2 adalah β , sedangkan sudut antara resultan (R) dan vektor F_1 adalah $\alpha - \beta$. Secara matematis persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{F_1}{\sin \beta} \quad (1.7)$$

$$\sin \beta = \frac{F_1}{R} \sin \alpha$$



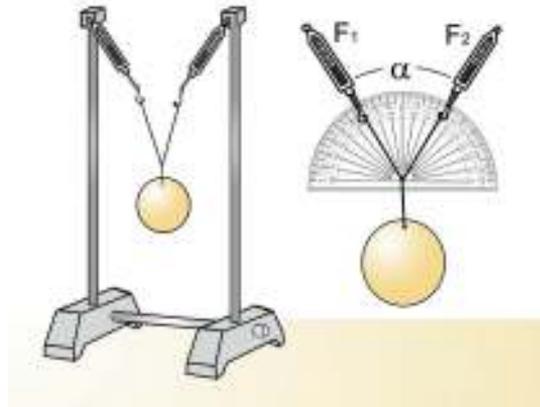
Aktivitas 1.6

Ayo, Berteknologi!

Lakukanlah percobaan berikut ini secara berkelompok untuk menentukan resultan dua vektor gaya sebidang dengan metode jajargenjang dan penggunaan rumus kosinus.

A. Persiapan Percobaan

1. Siapkan beban, busur derajat, benang kasar, neraca pegas, pengait, statif, dan kertas berpetak. Susun rangkaian percobaan seperti pada Gambar 1.33.



Gambar 1.33 Rangkaian percobaan penjumlahan vektor.
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

2. Siapkan busur derajat yang dilapisi kertas untuk mengukur sudut yang terbentuk diantara dua neraca pegas.
3. Ukur berat beban dengan neraca pegas, dan catat hasilnya pada tabel pengamatan.
4. Ikatlah beban dengan benang kasur dan buatlah simpul agar dapat diikatkan pada dua neraca pegas yang tergantung pada masing-masing statif.
5. Gantungkan beban pada neraca pegas seperti pada Gambar 1.33.
6. Geser dasar statif agar kedua neraca pegas membentuk sudut apit 60° dengan menggunakan busur derajat. Catat besar sudut apit pada tabel pengamatan.
7. Baca gaya F_1 dan F_2 pada masing-masing neraca pegas dan catat pada tabel pengamatan.
8. Gambarkan kedua vektor gaya F_1 dan F_2 (panjang garis sebanding dengan besar masing-masing gaya) dengan sudut apit 60° pada kertas yang sudah disiapkan. Tentukan resultan gaya dengan menggunakan metode jajargenjang. Ukur panjang resultan gaya dan tentukan besarnya yang bersesuaian dengan panjangnya. Isikan pada tabel pengamatan.
9. Tentukan nilai resultan gaya dengan menggunakan rumus cosinus dan isikan dalam tabel pengamatan
10. Ulangi langkah 4 sampai dengan 9 untuk sudut apit 90° dan 120° .

Tabel 1.2 Penjumlahan Vektor Gaya dengan Sudut Apit yang Berubah

NO	α ($^\circ$)	F ₁ (N)	F ₂ (N)	Berat Beban (N)	Resultan Gaya dengan Metode Jajargenjang (N)	Resultan Gaya dengan Rumus Cosinus (N)
1.						
2.						
3.						
4.						

B. Pertanyaan dan Tugas:

1. Apakah hasil yang sama diperoleh baik dengan cara metode jajargenjang maupun dengan menggunakan rumus cosinus? Jika berbeda, menurut kalian, cara mana yang memberikan hasil lebih akurat?
2. Bagaimana hubungan antara berat beban dengan resultan gaya?
3. Bagaimana pengaruh bertambahnya sudut apit antara dua pegas terhadap resultan vektor gaya yang terbentuk? Mengapa demikian?
4. Diskusikan hasil percobaan dan ambillah kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan.



Aktivitas 1.7

Ayo, Berteknologi!

Rancanglah suatu percobaan untuk menentukan penjumlahan vektor gaya dengan mengubah nilai beban, dimulai dari satu beban hingga tiga beban. Setiap beban bermassa sama. Perhatikan, bahwa sudut apit dibuat tetap yaitu sebesar 90° . Buatlah tabel pengamatan.

A. Pertanyaan dan Tugas:

1. Berdasarkan percobaan, bagaimana pengaruh jumlah beban yang bertambah dengan sudut apit tetap terhadap resultan vektor gaya yang terbentuk?
2. Diskusikan hasil percobaan dalam kelompok dan ambillah kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan.

5. Perkalian Vektor

Kalian akan membedakan dua jenis perkalian vektor dalam Aktivitas 1.8, yaitu perkalian titik (*dot product*) dan perkalian silang (*cross product*).

Aktivitas 1.8

Sediakan pensil untuk melakukan aktivitas ini.

1. Geserlah pensil dengan mendorong pusat massa pensil ke depan.
2. Doronglah ujung kanan atau kiri pensil dengan jarimu, dapat ke depan atau belakang. Amati apa yang terjadi dengan pensil.
3. Tempatkan jari beberapa cm sebelum ujung pensil dan doronglah pensil. Amati apa yang terjadi dengan pensil. Bandingkan dengan langkah 2.

Ketika kalian mendorong pensil pada pusat massa maka kalian sedang memberikan usaha pada pensil. Makin besar gaya yang diberikan dan perpindahan yang dialami oleh pensil maka makin besar usaha yang diterima oleh pensil. Usaha merupakan perkalian gaya dan perpindahan.

Mendorong ujung pensil menyebabkan pensil berputar. Arah putaran bergantung pada arah dorongan. Penempatan jari pada pensil memengaruhi putaran. Makin jauh dari sumbu putar makin mudah putarannya. Torsi atau momen gaya bekerja pada pensil sehingga pensil yang diam menjadi berputar.

Apakah perbedaan antara usaha dan momen gaya? Perhatikan Gambar 1.34 berikut ini.



Gambar 1.34 Usaha pada lemari dan momen gaya pada pintu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Usaha melibatkan gaya dan perpindahan, sedangkan momen gaya melibatkan gaya dan lengan gaya. Usaha dan torsi mempunyai dimensi yang sama. Usaha memerlukan gaya dan perpindahan yang sejajar sedangkan momen gaya memerlukan gaya yang tegak lurus terhadap perpindahan.

Usaha melibatkan perkalian dua vektor yang menghasilkan skalar, disebut sebagai *dot product*. Bandingkan dengan momen gaya yang melibatkan perkalian dua vektor yang menghasilkan vektor, disebut sebagai *cross product*. Momen gaya adalah vektor karena arahnya dapat searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam.

$$\text{Usaha, } W = \vec{F} \cdot \vec{r} = Fr \cos \theta \quad (1.8)$$

$$\text{Momen gaya, } \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = Fr \sin \theta \hat{t} \quad (1.9)$$

Momen gaya akan dibahas lebih mendalam pada Bab 3.



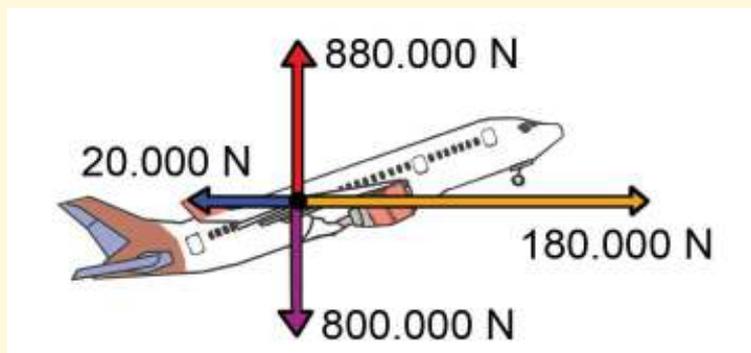
Ayo, Berpikir Kritis!

Apakah perkalian skalar dari dua vektor dapat menghasilkan nilai negatif?



Ayo, Cek Pemahaman!

Empat gaya bekerja pada suatu pesawat sebagaimana yang ditunjukkan dalam diagram vektor di bawah ini. Gambarkan vektor resultan gaya dan tentukan arah dan besarnya.



Gambar 1.35 Empat gaya pada pesawat terbang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Intisari

Vektor merupakan suatu besaran yang dilambangkan dengan anak panah. Vektor yang sama mempunyai arah dan besar yang sama. Vektor negatif mempunyai besar yang sama dan arah berlawanan dengan suatu vektor. Vektor dapat dikalikan dengan suatu skalar untuk mengubah besar dan arah vektor tersebut, sehingga dapat searah atau berlawanan arah.

Ada dua cara untuk merepresentasikan vektor, sebagai anak panah dan dengan menggunakan komponen-komponen. Operasi vektor terdiri atas penjumlahan, pengurangan dan perkalian vektor.



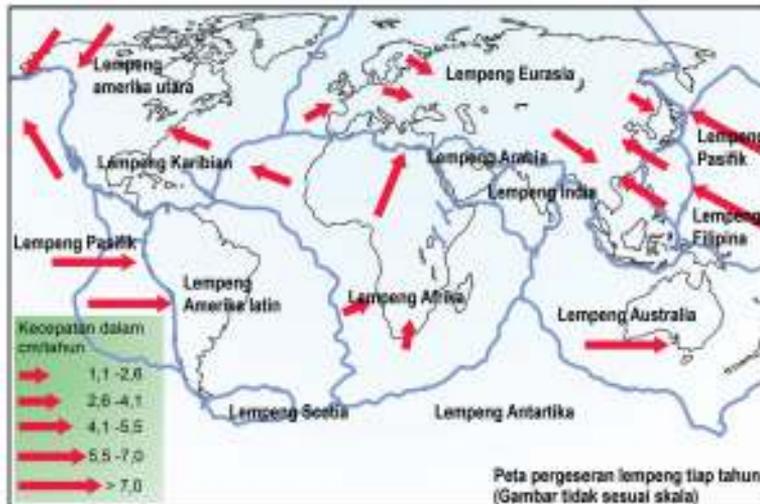
Refleksi

1. Bagaimanakah kalian dapat mengaplikasikan konsep vektor dalam kehidupan sehari-hari?
2. Bagaimanakah kalian bisa membedakan operasi vektor dan operasi skalar?



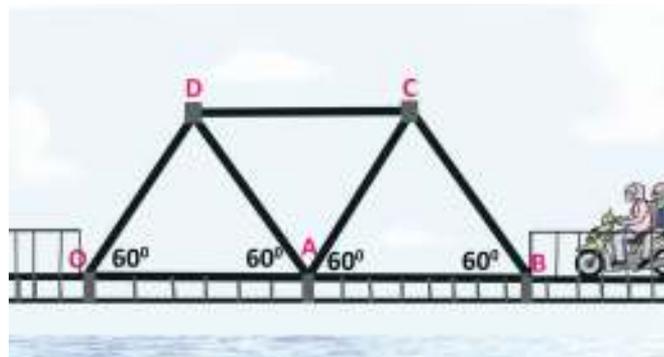
Asesmen

1. Besaran-besaran mana yang merupakan vektor? Jelaskan.
 - a. Percepatan merupakan perubahan kecepatan terhadap waktu.
 - b. Tekanan merupakan perbandingan gaya terhadap luas suatu luas permukaan.
2. Peta berikut ini menunjukkan pergerakan lempeng tektonik. Pada kerak bumi terdapat lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan lempeng tektonik menyebabkan dua lempeng dapat bertemu dan bertumbukan. Gempa bumi terjadi karena tumbukan kedua lempeng. Kedua lempeng dapat bergerak saling berjauhan, saling mendekati atau bergerak bersisian.
 - a. Mengapa informasi arah gerak lempeng sangat diperlukan?



Sumber data : NASA Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

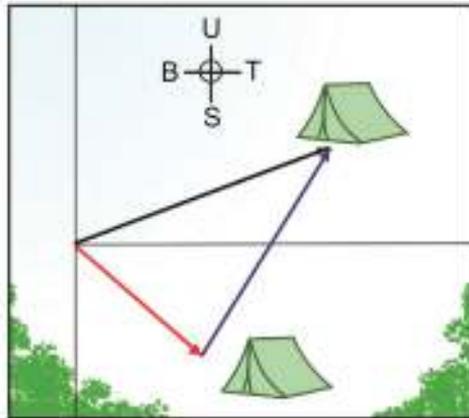
- b. Cari informasi dan tuliskan cara para ahli menentukan besar dan arah kecepatan lempeng.
 - c. Apakah kalian menemukan vektor-vektor yang sama?
 - d. Apakah kalian menemukan pasangan vektor yang merupakan vektor dan negatifnya?
 - e. Apakah kalian menemukan vektor dengan arah yang sama tetapi besar berbeda?
3. Struktur suatu jembatan rangka baja diberikan oleh gambar berikut. Struktur ini dinamakan *Warren truss* karena ditemukan oleh James Warren (1806 - 1908) yang berasal dari Inggris.



Gambarkan vektor resultan gaya dari

- a. F_{DO} dan F_{DA} .
- b. F_{AD} dan F_{AC} .

4. Seorang pendaki melakukan perjalanan dan berjalan sejauh 25 km ke arah tenggara dari arah *basecamp*, setelah sampai berjalan sejauh 25 km sang pendaki istirahat dan membuat tenda, hari kedua dia berjalan sejauh 40 km dengan arah 60° dari arah tendanya menuju tempat tujuan, tentukan perpindahan perjalanan pendaki selama dua hari dari *basecamp* sampai ke tujuan!



5. Pesawat terbang dengan kecepatan 200 m/s dan arah 30° terhadap timur. Angin bertiup dengan kecepatan 20 m/s dan arah 60° terhadap timur. Tentukan resultan kecepatan dengan
- metode segitiga
 - metode analitis
 - menggunakan rumus kosinus

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 2

Kinematika

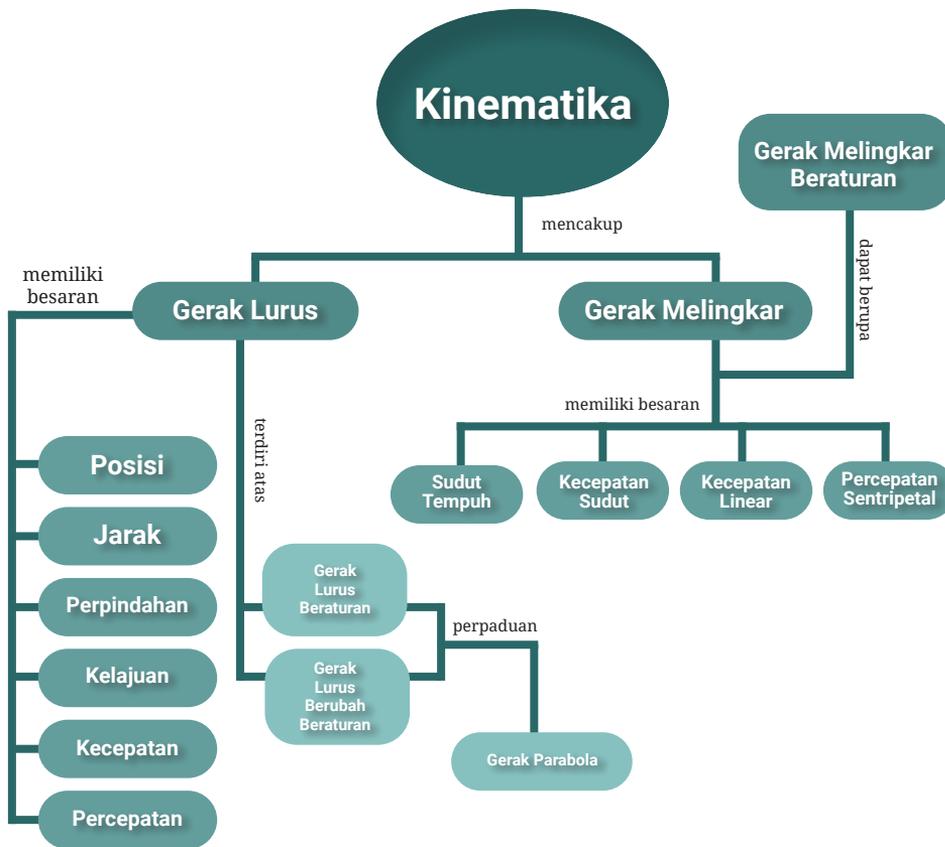
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat Menguraikan besaran-besaran fisis dan karakteristik gerak pada gerak lurus beraturan (GLB), gerak lurus berubah beraturan (GLBB), gerak parabola maupun gerak melingkar beraturan, kemudian menerapkan konsep gerak tersebut dalam menyelesaikan masalah baik menggunakan persamaan ataupun penafsiran grafik.

Kata-Kata Kunci:

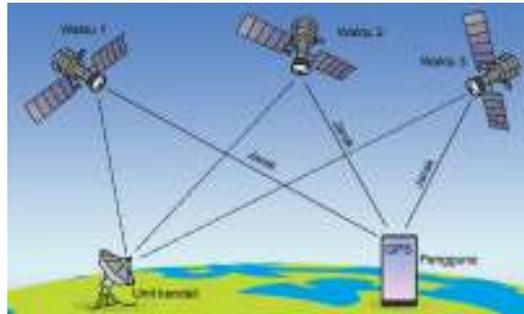
- Posisi
- Jarak
- Perpindahan
- Kecepatan
- Kelajuan
- Percepatan
- Gerak lurus beraturan
- Gerak lurus berubah beraturan
- Gerak peluru
- Gerak melingkar beraturan
- Sudut tempuh
- Kecepatan sudut
- Kecepatan linear
- Percepatan sentripetal

Peta Konsep



Pernahkah kalian berpikir tentang hubungan antara panjang landasan pacu bandara dengan ukuran pesawat terbang? Ketika pesawat terbang menjatuhkan bantuan dari suatu ketinggian tertentu untuk suatu wilayah tertentu, apakah posisi pesawat harus tepat di atas wilayah tersebut? Semua pertanyaan tersebut berhubungan dengan gerak yang akan dibahas dalam bab ini.

Global Positioning System (GPS) memerlukan minimal tiga satelit untuk menentukan posisi suatu benda. Setiap satelit mencatat jarak dari satelit ke benda tersebut. Sekurang-kurangnya diperlukan dua data satelit untuk menentukan titik lokasi benda dengan tepat.



Gambar 2.1 Cara kerja GPS
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Jenis-jenis gerak dapat diamati dalam bidang olahraga. Lari 100 m menunjukkan gerak lurus. Gerak bola basket merupakan gerak parabola. Lempar cakram melibatkan gerak melingkar beraturan.



Gambar 2.2 Gerak lurus pada lomba lari 100 m
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

A. Pengertian Gerak

Subbab ini membahas posisi dan kerangka acuan yang bersesuaian dengannya serta hubungannya dengan pengertian gerak.

1. Kerangka Acuan dan Posisi

Kalian dan ibu kalian berbelanja keperluan berbeda di pasar yang sama. Bagaimana kalian menginformasikan posisi kalian kepada ibu kalian? Pilot pesawat terbang perlu menginformasikan posisinya kepada petugas ATC secara berkala agar tiba di tujuan. Perhatikan konteks yang lebih sempit untuk menjelaskan posisi.



Ayo, Berdiskusi!

Perhatikan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Posisi berbagai bangunan di suatu jalan dan arah mata angin
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kalian berada di rumah Tenri. Bagaimana menjelaskan posisi kalian jika rumah Lanny menjadi patokan? Jika rumah Siti menjadi patokan? Ternyata, posisi dapat ditentukan dengan lebih dari satu cara karena penggunaan patokan yang berbeda.

“Patokan disebut sebagai kerangka acuan.”

2. Gerak sebagai Perubahan Posisi

Coba kalian lakukan kegiatan berikut ini untuk memahami hubungan antara gerak dengan posisi.



Ayo, Berdiskusi!

Gunakan Gambar 2.3 untuk melengkapi Tabel 2.1. Sondang berada di rumah Siti lalu pergi ke toko. (Perhatikan penulisan bentuk vektor).

Tabel 2.1 Posisi Awal, Posisi Akhir dan Perubahan Posisi Sondang

Kerangka acuan	Posisi Awal	Posisi Akhir	Perubahan Posisi
Rumah Kezia			
Rumah Lanny			
Rumah Tenri			

“Benda bergerak jika posisi awal berbeda dengan posisi akhir.”

Aktivitas 2.1

Perhatikan denah berikut ini. Seorang siswa berjalan dari Puskesmas ke Museum Fisika. Lengkapi Tabel 2.2 untuk menentukan posisi awal, posisi akhir dan perubahan posisi berdasarkan dua titik acuan berbeda.



Gambar 2.4 Denah jalan di suatu kawasan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Tabel 2.2 Posisi Awal, Posisi Akhir dan Perubahan Posisi Berdasarkan Denah Kawasan

Kerangka acuan	Posisi Awal	Posisi Akhir	Perubahan Posisi
Tugu Kota			
Kantor Pos			



Tahukah Kalian

Dua pesawat, yaitu United Airlines dan US Airways, hampir bertabrakan di landasan pacu Providence, Rhode Island karena cuaca berkabut. Pilot pesawat United Airlines masuk dalam jalur yang salah setelah mendarat. Dalam percakapan dengan pihak ATC ada perbedaan persepsi tentang posisi pesawat karena menggunakan acuan berbeda. Beruntung pilot pesawat US Airways menolak untuk lepas landas karena mendengarkan percakapan pilot United Airlines dengan staf ATC bahwa baru saja ada pesawat kargo lepas landas dengan posisi yang sangat dekat dengannya.



Ayo, Cek Pemahaman!

Apakah seseorang yang mengelilingi lapangan, dimulai pada suatu titik dan kembali ke titik tersebut, dikatakan bergerak? Jelaskan jawaban kalian.

B. Besaran-Besaran Gerak

Kalian akan mendalami besaran-besaran gerak, hubungan antar besaran dalam perumusan gerak dan representasi gerak dengan menggunakan besaran-besaran fisis.

3. Perpindahan dan Jarak



Ayo, Berpikir Kritis!

Helikopter digunakan sebagai sarana transportasi baik di kota metropolitan maupun di pegunungan. Gambar 2.5a menunjukkan sebuah kota yang dipenuhi gedung bertingkat. Gambar 2.5b menunjukkan suatu kawasan pegunungan. Coba kalian bandingkan rute perjalanan dari A ke B dan dari D ke C dengan menggunakan helikopter dan tanpa helikopter. Jelaskan jawaban kalian.

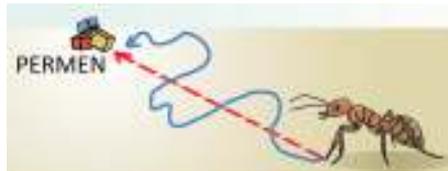


Gambar 2.5a Kota metropolitan
Sumber: Marianna MR/Kemdikbudristek (2022)



Gambar 2.5b Pegunungan
Sumber: Irmawan (2018)

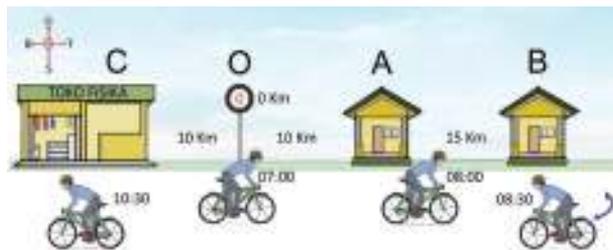
Perhatikan Gambar 2.6. Seekor semut ingin mengambil gula yang jatuh di lantai. Semut melalui lintasan yang berwarna biru. Rute merah merupakan rute terpendek yang dapat dilalui semut karena langsung menghubungkan titik awal dan titik akhir. Rute merah disebut sebagai **perpindahan** atau perubahan posisi awal dan akhir dari semut. Rute biru disebut sebagai **jarak** yaitu panjang lintasan yang dilalui oleh semut.



Gambar 2.6 Rute semut mencari makanan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

*“Perpindahan adalah perubahan posisi awal dan posisi akhir.
Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh.”*

Bagaimana menentukan jarak dan perpindahan? Perhatikan diagram gerak dalam Gambar 2.7 untuk menentukan jarak dan perpindahan yang dialami oleh seorang pengendara sepeda.



Gambar 2.7 Posisi pengendara sepeda terhadap waktu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Jarak tempuh = $10 + 15 + 25 + 10 = 60$ km.

Perpindahan = 10 km ke barat.

Aktivitas 2.2

Posisi sepeda dalam Gambar 2.7 dapat dinyatakan dalam grafik posisi terhadap waktu. Lengkapi tabel dan buat grafiknya.

Tabel 2.3 Posisi sepeda terhadap waktu

Lintasa	Waktu Tempuh (Jam)	Posisi (Km)
OA		
AB		
BC		

Jawablah pertanyaan berikut ini.

1. Bagaimana ciri grafik jika benda bergerak ke arah timur (positif)?
2. Bagaimana ciri grafik jika benda bergerak ke arah barat (negatif)?
3. Apa yang diamati pada grafik jika terjadi perubahan arah gerak benda?
4. Bagaimana bentuk grafik jika posisi benda tetap sama atau benda tidak bergerak?
5. Bagaimana menentukan jarak dan perpindahan dari grafik?



Ayo, Berteknologi!

Gunakan *Microsoft Excel* untuk menggambar grafik dari Aktivitas 2.3.

Karakteristik gerak dapat ditunjukkan oleh grafik posisi terhadap waktu, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Apa yang terjadi dengan gerak benda pada titik puncak grafik?

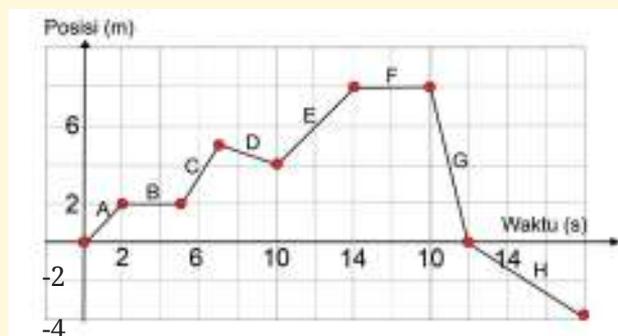


Gambar 2.8 Grafik Posisi terhadap waktu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berkolaborasi!

Kalian bekerja sama untuk menyelesaikan tugas ini. Perhatikan perjalanan suatu kendaraan yang ditunjukkan oleh grafik posisi terhadap waktu. Grafik terdiri atas beberapa segmen. Untuk keseluruhan perjalanan tentukan jarak dan perpindahan kendaraan. Tentukan arah gerak dan perubahan posisi yang terjadi dalam setiap segmen.



Gambar 2.9 Grafik Posisi terhadap waktu dari suatu kendaraan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Literasi Finansial

Jembatan Merah Putih terletak di pulau Ambon, membentang di atas teluk Ambon. Perhatikan peta dalam Gambar 2.10. Garis ungu mewakili panjang jembatan yang melintasi teluk.



Gambar 2.10 Peta pulau Ambon
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

- Perkirakan jarak tempuh yang dipersingkat dari Galala ke Rumah Tiga dengan menggunakan penggaris dan skala.
- Harga bahan bakar per liter adalah Rp 7650. Perkiraan rata-rata jarak tempuh suatu mobil tertentu adalah 12 km untuk penggunaan 1 liter bahan bakar, hitung penghematan biaya karena jarak tempuh yang lebih pendek.
- Cari informasi banyak kendaraan yang melintasi jembatan Merah Putih setiap hari secara rata-rata. Tentukan penghematan biaya secara rata-rata setiap hari.
- Adakah jalan pintas yang kalian temui di lokasi kalian? Berapa penghematan biaya setiap kali melintasi rute tersebut?

2. Kecepatan dan Kelajuan

Kecepatan (*velocity*) dan kelajuan (*speed*) menyatakan gerak benda. Kecepatan merupakan besaran vektor yang ditentukan oleh perpindahan dan selang waktu yang diperlukan untuk berpindah. Kelajuan merupakan besaran skalar yang ditentukan oleh jarak dan selang waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut. Perhatikan kedua persamaan berikut ini.

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{Perpindahan}}{\text{Selang waktu}} \quad (2.1)$$

$$(2.2)$$

3. Gerak Relatif

Dua orang berbeda melihat seseorang bergerak. Apakah keduanya menyimpulkan hal yang sama tentang gerak suatu benda? Ayo, lakukan kegiatan berikut ini.



Ayo, Berkolaborasi!

Perhatikan Gambar 2.11 . Motor bergerak dengan kecepatan 45 km/jam ke barat dan bis dengan kecepatan 50 km/jam ke barat. Jawablah pertanyaan berikut.

1. Apakah supir bis melihat bahwa ibu yang dibonceng bergerak terhadapnya?
2. Apakah bapak yang membonceng ibu melihat bahwa ibu yang diboncengnya bergerak terhadapnya?



Gambar 2.11 Gerak motor dan bis
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gerak ibu menurut supir bis ternyata berbeda dengan gerak ibu menurut bapak yang memboncengnya. Gerak relatif ibu terhadap bapak berbeda dengan gerak relatif ibu terhadap supir bis.

“Gerak bersifat relatif karena ditentukan oleh kerangka acuan yang mengamati fenomena tersebut.”



Ayo, Cermati!

Untuk memperdalam pemahaman bahwa gerak bersifat relatif, perhatikan ketiga gambar dalam Gambar 2.12 kemudian lengkapi Tabel 2.3 (keadaan b telah diisi sebagai contoh).



Gambar 2.12 Kecepatan pesawat akibat kecepatan udara
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Tabel 2.4 Kecepatan Pesawat Terhadap Udara dan Tanah

Keadaan	v pesawat terhadap udara (km/jam)	v pesawat terhadap udara (km/jam)	v pesawat terhadap tanah(km/jam)
a			
b	800 km/jam timur	40 km/jam timur	840 km/jam timur
c			

Jika dikatakan pesawat bergerak dengan kecepatan 800 km/jam maka pertanyaannya terhadap kerangka acuan tanah atau udara. Pada umumnya jika dituliskan kecepatan 20 km/jam, tanpa penjelasan tambahan, maka itu berarti terhadap kerangka acuan tanah.

Kecepatan benda terhadap suatu kerangka acuan yang berbeda sebenarnya merupakan hasil penjumlahan vektor kecepatan.

Jadi,

$$\vec{v}_{pt} = \vec{v}_{pu} + \vec{v}_{ut} \quad (2.3)$$

Dengan : \vec{v}_{pt} = kecepatan pesawat terhadap tanah,
 \vec{v}_{pu} = kecepatan pesawat terhadap udara,
 \vec{v}_{ut} = kecepatan udara terhadap tanah.



Ayo, Cermati!

Berdasarkan Gambar 2.11 tuliskan kecepatan supir bis terhadap kecepatan ibu sebagai penjumlahan vektor kecepatan.



Ayo, Berkolaborasi!

Sungai Kapuas, berlokasi di Kalimantan, merupakan sungai terpanjang di Indonesia dengan panjang 1143 km. Kelajuan maksimum arus sungai 1,25 m/s, terhadap tanah. Kota Pontianak dipisahkan sejauh 0,41 km oleh sungai Kapuas. Feri menyeberangi sungai Kapuas dengan kelajuan 1,33 m/s.

Tentukan :

- besar dan arah kecepatan feri terhadap tanah. Kalian dapat menggambarkan penjumlahan vektor dengan menggunakan penggaris dan busur.
- jarak pada tepi sungai yang merupakan perbedaan titik tiba feri karena arus sungai. Gunakan penggaris untuk menentukannya.



Ayo, Berteknologi! (Alternatif)

Penjumlahan dua vektor yang tegak lurus dapat menggunakan tautan dalam *ophysics*. Pilih menu *vector addition*.



Ayo, Cek Pemahaman!

Jika kecepatan pesawat terhadap udara adalah v_{pu} maka kecepatan udara terhadap pesawat adalah v_{up} . Menurut kalian, bagaimana hubungan antara v_{up} dan v_{pu} .

4. Kecepatan dan Kelajuan Sesaat

Pernahkah kalian mengamati speedometer pada kendaraan bergerak? Selama perjalanan *speedometer* yang berfungsi dengan baik dapat menunjukkan angka-angka yang berbeda. Speedometer ialah alat yang menunjukkan kelajuan kendaraan bermotor pada saat tertentu.



Gambar 2.13 Speedometer menunjukkan kelajuan sesaat pada kendaraan bermotor
Sumber: Kemdikbudristek/Alvius (2022)

Kelajuan sesaat adalah kelajuan pada suatu waktu tertentu atau kelajuan pada suatu titik dari lintasan benda. Kecepatan pada waktu tertentu disebut sebagai kecepatan sesaat.



Gambar 2.14 Rambu Batas Kecepatan Mobil dan Radar Gun
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Rambu batas kecepatan sering dipasang di jalan tol. Arti maksimum 80 km/jam adalah kelajuan sesaat mobil tidak boleh melebihi 80 km/jam. Radar gun adalah suatu alat yang digunakan polisi untuk mendeteksi kelajuan mobil.

5. Kecepatan dan Kelajuan Rata-Rata

Secara matematis kecepatan rata-rata dan kelajuan rata-rata diberikan oleh persamaan berikut.

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{Perpindahan}}{\text{Selang waktu}}$$

Jika benda bergerak sepanjang sumbu-x dan posisinya dinyatakan dengan koordinat x persamaannya dapat ditulis:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{\text{akhir}} - x_{\text{awal}}}{t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}}$$

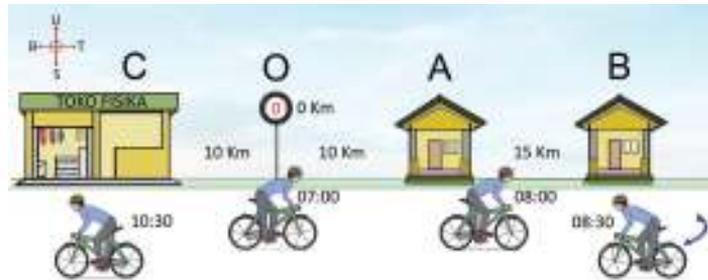
Dengan : \bar{v} = kecepatan rata-rata (m/s),
 $\Delta x = x_{\text{akhir}} - x_{\text{awal}}$ = perpindahan (m),
 $\Delta t = t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}$ = selang waktu (s)

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{Jarak total}}{\text{selang waktu}}$$

$$\bar{v} = \frac{x}{t}$$

Dengan : \bar{v} = kelajuan rata-rata (m/s),
 x = jarak total (m),
 t = selang waktu (s).

Perhatikan kembali Gambar 2.7 yang akan digunakan untuk menunjukkan kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata.



Cara menentukan kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata sepeda untuk seluruh perjalanan diberikan berikut ini.

Kelajuan rata-rata adalah

$$\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{10 \text{ km} + 15 \text{ km} + 15 \text{ km} + 10 \text{ km} + 10 \text{ km}}{1 \text{ jam} + 0,5 \text{ jam} + 2 \text{ jam}} = 17,1 \text{ km/jam}$$

Perpindahan adalah -10 km dan waktu total adalah 3,5 jam, maka kecepatan rata-rata adalah

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{\text{akhir}} - x_{\text{awal}}}{t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}} = \frac{-10 \text{ km} - 0 \text{ km}}{3,5 \text{ jam}} = -2,86 \text{ km/jam}$$

Tanda negatif menunjukkan arah gerak ke barat.

Aktivitas 2.3

Perhatikan kembali Gambar 2.7. Lengkapi tabel dan buat grafik kecepatan terhadap waktu. Jawablah pertanyaan berikut ini.

1. Bagaimana ciri grafik jika kecepatan benda berarah positif?
2. Bagaimana ciri grafik jika kecepatan benda berarah negatif?
3. Bagaimana menentukan jarak dan perpindahan dari grafik? (Tinjau berdasarkan per segmen grafik)

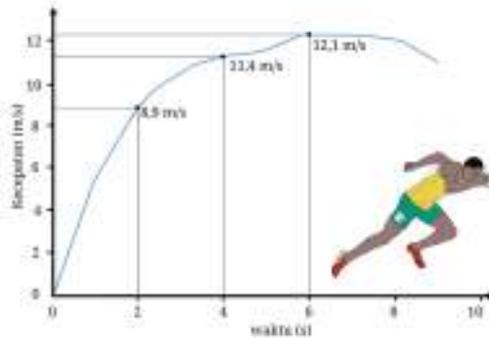


Ayo, Berteknologi! (Opsional)

Gunakan *Microsoft Excel* untuk menggambar grafik dari Aktivitas 2.3.

6. Percepatan

Apa yang dimaksud dengan percepatan? Perhatikan grafik kecepatan terhadap waktu dari Usain Bolt, pelari yang beberapa kali memegang rekor dunia lari 100 m, dalam Olimpiade 2008. Berapa kecepatan maksimum Usain dan berapa lama dia mempertahankannya? Apakah Usain Bolt berlari semakin cepat atau semakin lambat? Pada selang waktu berapa Usain Bolt mengalami perubahan kecepatan dan berapa perubahan kecepatan tersebut?



Gambar 2.15. Grafik kecepatan terhadap waktu dari Usain Bolt
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Cermati!

1. Berapa perubahan kecepatan dari $t = 2$ s hingga $t = 4$ s?
2. Berapa perubahan kecepatan dari $t = 4$ s hingga $t = 6$ s?
3. Berapa perubahan kecepatan dari $t = 8,2$ s hingga $t = 8,4$ s?
4. Apakah perubahan kecepatan Usain Bolt selalu sama dalam selang waktu yang sama?

“Percepatan adalah perubahan kecepatan, yaitu selisih kecepatan akhir dengan kecepatan awal, dalam suatu waktu tertentu.”

Secara matematis percepatan ditulis:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$
$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Dengan : \vec{a} = percepatan (m/s^2)
 \vec{v}_0 = kecepatan awal (m/s),
 \vec{v}_t = kecepatan akhir (m/s),
 Δt = selang waktu(s).t

Dari grafik juga terlihat bahwa Usain Bolt tidak selalu berlari makin cepat. Menjelang *finish* Usain Bolt berlari makin lambat. Jika percepatan suatu benda searah dengan kecepatannya atau geraknya, maka gerak benda semakin cepat. Jika percepatan suatu benda berlawanan arah dengan kecepatannya atau geraknya, maka gerak benda semakin lambat.



Ayo, Berpikir Kritis!

Pikirkan suatu situasi dimana kelajuan konstan tetapi kecepatan berubah. (Petunjuk: kecepatan merupakan besaran vektor).



Ayo, Cek Pemahaman!

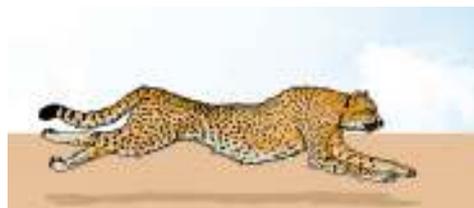


Apakah ketiga mobil mengalami percepatan? Jelaskan jawaban kalian.

Gambar 2.16 Kecepatan mobil pada keadaan yang berbeda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

C. Gerak Lurus

Lintasan benda yang bergerak merupakan titik-titik yang dilalui oleh benda tersebut. Gerak benda berdasarkan bentuk lintasan dibedakan atas gerak lurus, gerak lengkung (parabola/peluru), dan gerak melingkar. Gerak lurus adalah gerak suatu benda yang lintasannya berupa garis lurus. Misalnya, gerak pelari cepat atau benda jatuh ke bawah. *Cheetah* merupakan hewan darat yang tercepat di bumi. *Cheetah* terdapat di bagian timur dan selatan Benua Afrika serta Iran di Asia. *Cheetah* dapat mengalami perubahan kelajuan dari 0 km/jam menjadi 120 km/jam dalam waktu 3 detik. Kelajuan 120 km/jam, yang merupakan kelajuan maksimal, hanya dapat dipertahankan selama 30 detik. Setelah itu kelajuannya berkurang.



Gambar 2.17 *Cheetah* sedang berlari
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berdiskusi!

Carilah artikel dan temukan penyebab *cheetah* dapat berlari secepat itu. Selidiki apakah berkaitan dengan struktur alat geraknya atau pernapasannya atau hal lainnya.

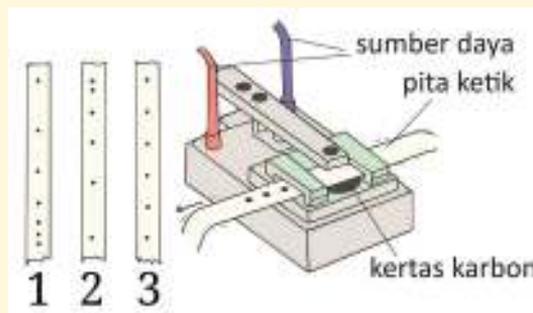
Aktivitas 2.4

Buatlah grafik kecepatan terhadap waktu yang menggambarkan gerak *cheetah*. Informasi tambahan adalah kecepatan *cheetah* berkurang dari 120 km/jam hingga berhenti dalam waktu 40 detik. Selidiki gerak *cheetah* pada setiap segmen grafik, apa yang terjadi dengan kecepatannya dalam selang waktu tertentu.



Ayo, Berkolaborasi!

Hasil dari percobaan dengan menggunakan *ticker timer*, berupa cetakan titik-titik pada kertas dan susunan peralatan percobaan diberikan dalam Gambar 2.18. Waktu tempuh antara dua titik selalu sama. Pada percobaan kertas dikaitkan pada *trolley* yang bergerak lurus pada suatu lintasan.



Gambar 2.18 Data dari *ticker timer* dan peralatan *ticker timer*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Analisis hasil percobaan 1, 2 dan 3 dan simpulkan gerak ketiga benda tersebut. Hubungkan dengan kecepatan dan percepatan benda.

Perhatikan grafik yang dibuat berdasarkan Aktivitas 2.4 dan hasil analisis dari Gambar 2.18 untuk menyimpulkan dua jenis gerak lurus. Keduanya adalah gerak lurus dengan kecepatan tetap disebut gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus dengan percepatan tetap disebut gerak lurus berubah beraturan (GLBB).

1. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Untuk memahami gerak lurus beraturan lakukan Aktivitas 2.5 berikut ini.



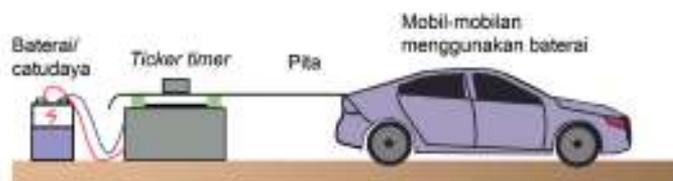
Aktivitas 2.5

Ayo, Berteknologi! (Kegiatan alternatif)

Lakukanlah percobaan secara berkelompok untuk menyelidiki gerak lurus beraturan.

Kegiatan Percobaan

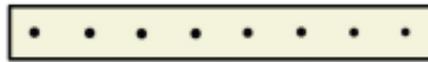
1. Siapkan papan luncur, mobil-mobilan baterai, pewaktu ketik (*ticker timer*), catu daya, pita *ticker timer*, gunting dan kertas grafik.
2. Susun rangkaian percobaan seperti pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Rangkaian percobaan GLB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

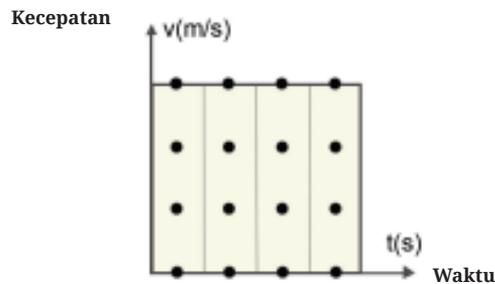
3. Hidupkan catu daya, *ticker timer*, dan mobil-mobilan (usahakan kecepatannya tetap dan bergerak pada lintasan lurus).
4. Setelah 5 detik matikan *ticker timer*, kemudian ambilah pita *ticker timer*. Buanglah beberapa titik hitam pada bagian pita yang paling dekat dengan mobil-mobilan.
5. Potonglah pita dengan setiap potongan berisi 5 ketukan/titik.
6. Susunlah potongan-potongan pita tadi secara berjajar pada kertas grafik.
7. Buatlah grafik $v - t$ untuk gerak mobil-mobilan tersebut!
8. Amatilah grafik tersebut. Diskusikan dalam kelompok dan apa kesimpulan dari percobaan tersebut?

Data hasil ketikan pada pita kertas ticker timer diberikan seperti dalam Gambar 2.20. Selang waktu antara dua titik selalu sama.



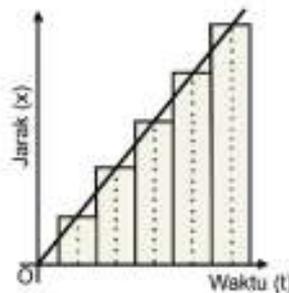
Gambar 2.20 Hasil ketikan *ticker timer* untuk GLB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Hal ini menunjukkan bahwa jarak yang ditempuh mobil-mobilan setiap selang waktu yang sama adalah sama. Garis yang menghubungkan puncak-puncak pita menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan (v) terhadap waktu (t) yang berupa garis lurus horizontal.



Gambar 2.21. Grafik (v - t) hasil potongan pita *ticker timer* untuk GLB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan Gambar 2.22 yang menunjukkan grafik jarak terhadap waktu untuk GLB.



Gambar 2.22. Grafik (x - t) hasil potongan pita *ticker timer* untuk GLB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gerak lurus beraturan (GLB) didefinisikan sebagai gerak suatu benda dengan kecepatan tetap (besar maupun arahnya). Sebuah mobil yang bergerak dengan kecepatan tetap 50 km/jam menunjukkan bahwa setiap jam mobil itu berpindah sejauh 50 km. Jika selama bergerak arahnya tetap maka dapat dikatakan bahwa setiap jam mobil menempuh jarak sejauh 50 km.

Pada Gerak Lurus Beraturan tidak terdapat kecepatan sesaat karena kecepatan selalu tetap. Kecepatan rata-rata sama dengan kecepatan sesaat. Dapat dituliskan.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Untuk posisi awal x_0 pada saat $t = 0$ maka

$$\Delta \vec{x} = x_t - x_0 \text{ dan } \Delta t = t - 0$$

$$x - x_0 = vt$$

$$x = x_0 + vt$$

Pada posisi awal $\Delta \vec{x} = 0$, secara umum hubungan antara perpindahan (Δx) dengan kecepatan (v) dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}t \tag{2.4}$$

Dengan : $\Delta \vec{x}$ = perpindahan (m),

t = selang waktu (s),

\vec{v} = kecepatan (m/s).

Persamaan (2.4) berlaku juga untuk jarak tempuh dan kelajuan.

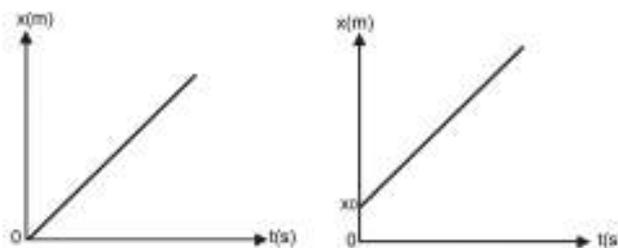
Perhatikan kembali grafik $v - t$ yang menunjukkan gerak dengan kecepatan konstan.



Gambar 2.23. Grafik $v-t$ pada GLB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perpindahan yang dialami benda yang melakukan gerak lurus beraturan sama dengan luas bidang di bawah kurva kecepatan (v) terhadap waktu (t). Untuk grafik kelajuan terhadap waktu maka jarak yang ditempuh oleh benda yang melakukan gerak lurus beraturan sama dengan luas bidang di bawah kurva kelajuan (v) terhadap waktu (t).

Grafik posisi terhadap waktu (grafik $x - t$) pada GLB akan menghasilkan besar kecepatan yang selalu sama, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 (a.) Grafik $x-t$ pada GLB tanpa posisi awal x_0 , (b) Grafik $x-t$ pada GLB dengan posisi awal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kemiringan (gradien) grafik menyatakan besar kecepatan benda tersebut. Makin curam kemiringannya makin besar kecepatannya. Kemiringan grafik secara matematis merupakan nilai $\tan \alpha$, α adalah sudut antara garis grafik dengan sumbu t (waktu) atau

$$\tan \alpha = v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$



Ayo, Cek Pemahaman!

Dua buah mobil yang terpisah sejauh 75 km bergerak lurus beraturan saling mendekati pada saat yang bersamaan, masing-masing dengan kecepatan 90 km/jam dan 60 km/jam. Kapan dan dimana kedua mobil tersebut berpapasan.

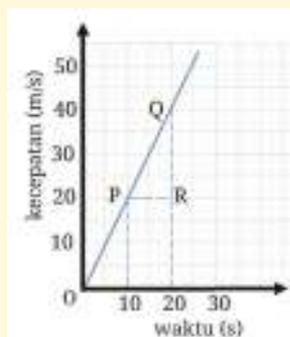
2. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Perhatikan kembali gerak cheetah. Selain gerak lurus beraturan (GLB) cheetah juga mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Cheetah mengalami perubahan kecepatan secara teratur sehingga gerakanya disebut sebagai gerak lurus berubah beraturan. Perubahan kecepatan yang teratur menunjukkan percepatan tetap. GLBB dibedakan atas dua, yaitu GLBB dipercepat dan GLBB diperlambat.



Ayo, Berkolaborasi!

Apa yang dimaksud dengan percepatan tetap? Coba kalian amati grafik pada Gambar 2.25 berikut ini.

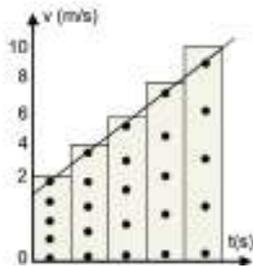


Buktikan $\text{percepatan OP} = \text{percepatan PQ}$

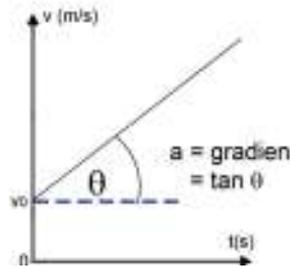
Apakah grafik OQ menunjukkan GLBB?

Gambar 2.25 Grafik kecepatan terhadap waktu pada GLBB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

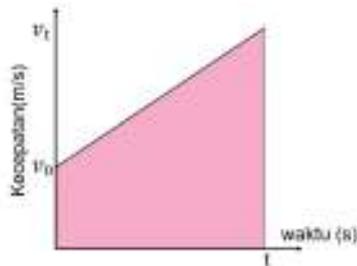
Bagaimana hasil percobaan *ticker timer* yang direkam pada pita kertas *ticker timer* menunjukkan GLBB? Perhatikan Gambar 2.26a. Percepatan merupakan kemiringan dari grafik kecepatan terhadap waktu sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.26b.



Gambar 2.26a. Grafik (v-t) hasil potongan pita *ticker timer* utk GLBB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 2.26b. Grafik (v-t) dengan percepatan $a = \tan \theta$
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 2.27 Menentukan perpindahan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Bagaimana perumusan untuk perpindahan dan jarak pada GLBB? Kalian dapat menggunakan grafik kecepatan terhadap waktu. Perhatikan Gambar 2.27.

Perpindahan = luas trapesium

$$x = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t \quad (2.5)$$

Ingat bahwa $v_t = v_0 + at$, substitusikan pada (2.5) sehingga

$$x = \frac{1}{2}(v_0 + v_0 + at)t \quad (2.6)$$

$$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

Dari persamaan 2.6 dan definisi perpindahan $\Delta \vec{x} = x_t - x_0$ diperoleh:

$$x_t = x_0 + \frac{1}{2}(v_0 + v_0 + at)t = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mencari kecepatan benda yang berpindah sejauh $\Delta \vec{x}$ dalam waktu t .

- Dengan :
- $\Delta \vec{x}$ = perpindahan (m),
 - v_0 = kecepatan awal (m/s),
 - v_t = kecepatan akhir (m/s),
 - a = percepatan (m/s²),
 - t = waktu (s).

Perumusan GLBB yang lain diberikan sebagai berikut.

Dari persamaan

$$v_t = v_0 + at \rightarrow t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = x_0 + v_0 \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right)^2$$

Diperoleh:

$$v_t^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \quad (2.7)$$

Lihat kembali Gambar 2.25 dan tentukan perpindahan selama 20 detik. Gunakan Persamaan 2.5 sehingga diperoleh

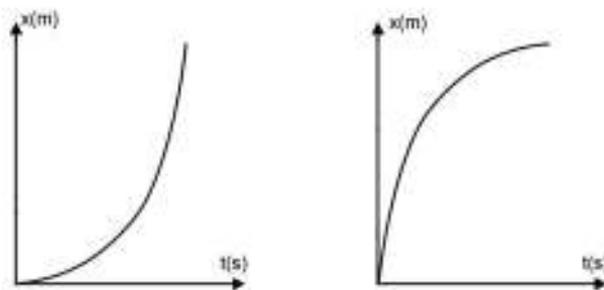
$$x = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t = \frac{1}{2}(0 + 40) \times 20 = 400m$$

Benda yang mengalami GLBB akan memiliki percepatan yang tetap. Grafik percepatan terhadap waktu (grafik $a - t$) digambarkan dengan garis lurus horizontal yang sejajar dengan sumbu waktu (t), seperti pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28. Grafik ($a-t$) untuk GLBB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Grafik perpindahan benda (x) terhadap waktu (t) untuk benda yang bergerak lurus berubah beraturan (GLBB) ditunjukkan seperti pada Gambar 2.29.



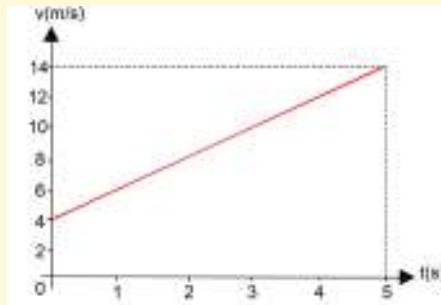
Gambar 2.29. (a) Grafik ($x-t$) untuk GLBB dipercepat (b) Grafik ($x-t$) untuk GLBB diperlambat
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berkolaborasi!

Perhatikan dan gunakan Gambar 2.30 untuk menjawab pertanyaan berikut ini.

- Tentukan kecepatan sebagai fungsi dari waktu. Petunjuk: kalian ingat kembali fungsi linier yang berupa garis lurus.
- Tentukan juga fungsi perpindahan sebagai waktu dengan menggunakan Persamaan 2.5.

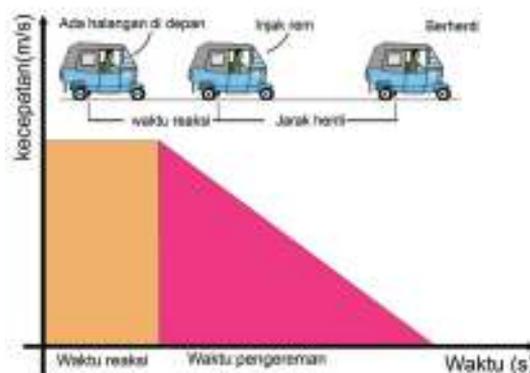


Gambar 2.30 Soal grafik kecepatan terhadap waktu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

3. Jarak Henti (*Stopping Distance*)

Pemerintah membuat peraturan PP no 43 tahun 1993 pasal 63 bahwa batas kecepatan maksimum di jalan tol dalam kota adalah 80 km/jam dan di luar kota adalah 100 km/jam dan menetapkan harus menjaga jarak aman. Mengapa demikian?

Perhatikan Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Jarak henti kendaraan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

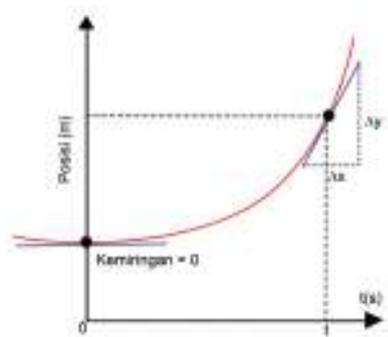
Waktu reaksi adalah waktu yang diperlukan untuk menanggapi informasi yang diterima dari panca indra. Waktu pengereman adalah waktu yang diperlukan untuk membuat kendaraan berhenti.

Aktivitas 2.6

Coba kalian gunakan persamaan 2.6 untuk membuat grafik dari soal cerita GLBB. Mobil yang mula-mula diam mengalami percepatan 2 m/s^2 selama 6 detik. Lengkapi tabel untuk membuat grafik

Tabel 2.4 Posisi terhadap Waktu

Waktu (detik)	Posisi (m)
1	
2	
3	
4	
5	
6	



Gambar 2.32 Kemiringan pada Grafik posisi waktu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kalian mendapatkan bahwa grafik berbentuk parabola karena posisi atau perpindahan atau jarak merupakan fungsi kuadrat.

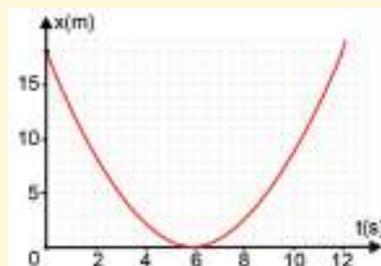
Bagaimana kalian menentukan kecepatan dari grafik posisi terhadap waktu untuk GLBB? Kecepatan merupakan kemiringan grafik pada suatu titik.



Ayo, Berdiskusi!

Perhatikan grafik dalam Gambar 2.33 dan jawab pertanyaan-pertanyaan ini.

- Tentukan posisi sebagai fungsi dari waktu.
- Tentukan besar dan arah kecepatan pada saat waktu $t = 3$ detik
- Tentukan besar dan arah kecepatan pada saat waktu $t = 7$ detik



Grafik 2.33 Grafik Posisi terhadap waktu untuk GLBB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

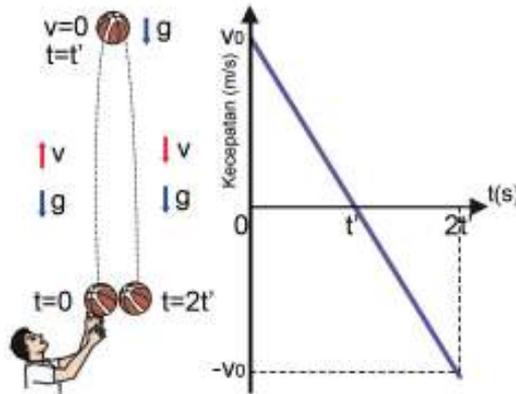


Ayo, Berteknologi! (Alternatif)

Gunakan tautan dalam <https://ophysics.com/k6.html> klik *Kinematics* lalu klik *Uniform Acceleration in One Dimension* untuk mempelajari grafik lebih lanjut.

4. Gerak Vertikal

Lemparkan benda ke atas dan amati gerak yang terjadi pada benda. Gambar 2.34 menunjukkan arah kecepatan dan arah percepatan gravitasi dan Gambar 2.35 menunjukkan grafik yang bersesuaian dengan peristiwa tersebut. Gerak jatuh bebas adalah gerak yang hanya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi.



Gambar 2.34 Diagram gerak vertikal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 2.35 Grafik v-t untuk gerak vertikal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Tahukah Kalian

Liem Swie King, pemain bulutangkis legendaris Indonesia yang menjadi juara dunia, menciptakan teknik *jump smash*.

King melompat untuk mencegat kok dan memukulnya secara keras (*smash*). Teknik ini ditiru dan digunakan oleh pemain bulutangkis lainnya di seluruh dunia. Untuk dapat melompat tinggi diperlukan energi kinetik yang besar karena energi kinetik berubah menjadi energi potensial.



Gambar 2.36 Liem Swie King dengan *jump smash*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Cek Pemahaman!

Gambarkan grafik ketinggian sebagai fungsi dari waktu berdasarkan Persamaan 2.6 untuk gerak vertikal ke atas.

D. Gerak Parabola

Seorang pemain basket melakukan tembakan ke arah jaring dengan cara mendorong bola miring ke atas karena posisi jaring lebih tinggi daripada posisi awal bola. Akibatnya, lintasan bola berbentuk parabolik.

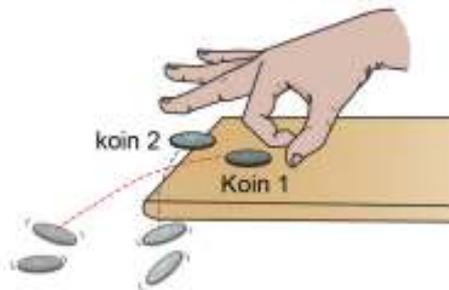


Gambar 2.37 Lintasan bola basket yang ditembakkan pemain basket
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Lakukan Aktivitas 2.7 dan Aktivitas 2.8 untuk mempelajari konsep gerak parabola.

Aktivitas 2.7

Tempatkan satu koin pada tepi meja dengan sebagian koin berada di luar meja (koin 1). Tempatkan koin 2 di belakang koin 1. Sentilahkan koin 2 sehingga mengenai koin 1 dan keduanya jatuh. Amati lintasan kedua koin dan gambarkan. Dengarkan juga bunyi keduanya untuk menentukan apakah keduanya tiba di lantai pada saat bersamaan atau tidak.



Gambar 2.38 Percobaan gerak parabola
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

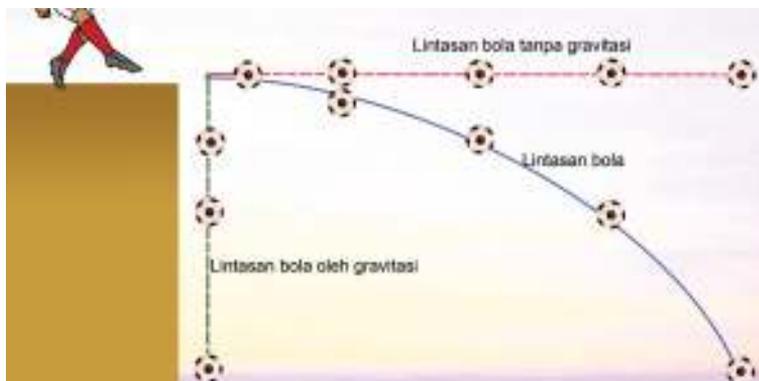
Aktivitas 2.8 (Alternatif)

Simak eksperimen dari tautan berikut:

<https://www.youtube.com/watch?v=0ePLissTYSc>. yang serupa dengan Aktivitas 2.7 tetapi menggunakan peralatan laboratorium.

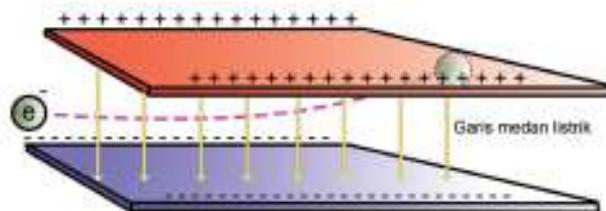
Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kedua koin tiba pada waktu bersamaan. Waktu jatuh ditentukan oleh komponen gerak vertikal saja. Komponen gerak horizontal tidak memengaruhi komponen gerak vertikal.

Coba kalian perhatikan Gambar 2.39. Gerak parabola merupakan perpaduan gerak lurus beraturan (GLB) pada arah horizontal dengan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) pada arah vertikal. Hambatan udara dapat diabaikan dan hanya gravitasi saja yang memengaruhi gerak parabola.



Gambar 2.39 Gerak parabola merupakan perpaduan GLB dan GLBB
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gerak parabola juga akan dialami oleh partikel bermuatan listrik dalam medan listrik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.40.



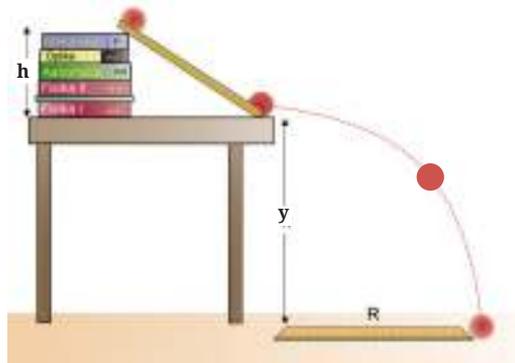
Gambar 2.40 Gerak parabola akibat medan listrik
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Lakukan **Aktivitas 2.9** berikut ini untuk mempelajari gerak parabola lebih lanjut.

Aktivitas 2.9

Lakukan suatu penyelidikan untuk menentukan faktor yang memengaruhi jarak horizontal benda. Buatlah susunan buku dan bidang miring sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 2.41. Sediakan suatu kelereng atau bola pingpong atau yang lainnya. Gunakan penggaris dan alat pengukur waktu.

1. Ukur ketinggian tumpukan buku h untuk menentukan kecepatan horizontal.
2. Ukur ketinggian y untuk menentukan waktu jatuh.
3. Tentukan jarak horizontal R dengan penggaris.



Gambar 2.41 Penyelidikan gerak parabola
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

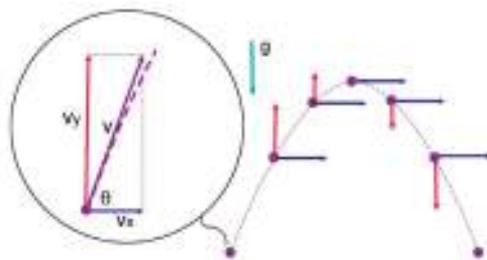
Pertanyaan

1. Bagaimana menentukan kecepatan horizontal jika diketahui ketinggian tumpukan h ?
2. Bagaimana menentukan waktu jatuh jika diketahui ketinggian y ?
3. Bagaimana menentukan jarak horizontal R dengan menggunakan y dan h ?
4. Apakah ada perbedaan hasil R yang diukur dan yang diperoleh dari teori?
5. Mengapa harus ada jarak antara dasar bidang miring dengan tepi meja?
6. Apa yang harus diubah dalam percobaan agar R makin jauh?

1. Analisis Gerak Parabola

Gambar 2.42 menunjukkan vektor kecepatan horizontal dan vertikal.

- Dari permukaan tanah ke ketinggian maksimum gerak benda diperlambat dalam arah vertikal.
- Dari ketinggian maksimum ke permukaan tanah gerak benda dipercepat dalam arah vertikal.
- Kecepatan benda tetap sepanjang arah horizontal.
- Pada ketinggian maksimum kecepatan vertikal adalah nol.
- Waktu tempuh dari tanah ke tanah lagi sama dengan dua kali waktu tanah ke ketinggian maksimum.



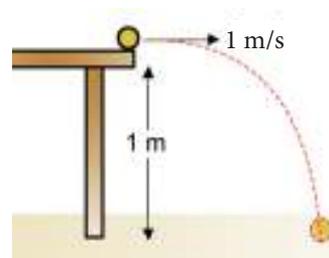
Gambar 2.42 Komponen kecepatan pada gerak parabola
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Pada setiap titik dalam lintasan parabola, kecepatan membentuk sudut dengan horizontal sehingga

$$v_x = v \cos \theta \text{ dan } v_y = v \sin \theta \quad (2.8)$$

Berikut ini diberikan beberapa contoh soal gerak parabola yang memerlukan perumusan GLB dan GLBB.

- Sebuah bola yang berada di pinggir meja didorong dengan kecepatan awal 2 m/s (lihat Gambar 2.43). Tentukan kelajuan bola ketika menumbuk tanah dan jarak horizontal bola.



Gambar 2.43 Gerak bola
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Untuk menentukan jarak horizontal diperlukan waktu tempuh,

Untuk menentukan waktu tempuh gunakan persamaan

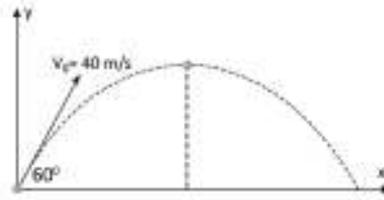
$$h = \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow 1 = \frac{1}{2} \times 10 \times t^2$$

$$t^2 = \frac{2}{10} = 0,2 \rightarrow t = \sqrt{0,2}$$

jarak horizontal diperoleh dengan menggunakan persamaan GLB

$$x = v t = 2 \frac{m}{s} \times \sqrt{0,2} s = 2\sqrt{0,2} m$$

2. Sebuah peluru ditembakkan dengan sudut elevasi 60° dan kecepatan awal 40 m/s (lihat gambar). Hitung berapa detik peluru itu sampai di titik tertinggi dan jarak maksimum yang dicapai peluru jika $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Gambar 2.44 Lintasan parabola dari peluru
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

kecepatan awal komponen horizontal

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 40 \cos 60^\circ = 40 \times \frac{1}{2} = 20 \text{ m/s}$$

kecepatan awal komponen vertikal

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 40 \sin 60^\circ = 40 \times \frac{1}{2} \sqrt{3} = 20\sqrt{3} \text{ m/s}$$

waktu mencapai ketinggian maksimum adalah

$$v_y = v_{0y} - gt \rightarrow 0 = 20\sqrt{3} - 10t$$

$$t = \frac{20\sqrt{3}}{10} = 2\sqrt{3} \text{ s}$$

Waktu untuk mencapai tanah adalah dua kali waktu mencapai ketinggian maksimum

$$t' = 2 \times t = 2 \times 2\sqrt{3} = 4\sqrt{3} \text{ s}$$

Jarak horizontal maksimum adalah

$$x = v_{0x} t' = 20 \text{ m/s} \times 4\sqrt{3} \text{ s} = 80\sqrt{3} \text{ m}$$

3. Sebuah peluru ditembakkan dengan sudut elevasi 30° dan kecepatan awal 60 m/s . Tentukan kecepatan peluru pada saat $t = 2$ detik.

kecepatan awal komponen horizontal :

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 60 \cos 30^\circ = 60 \times \frac{1}{2} \sqrt{3} = 30\sqrt{3} \text{ m/s}$$

kecepatan awal komponen vertikal :

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 60 \sin 30^\circ = 60 \times \frac{1}{2} = 30 \text{ m/s}$$

Kecepatan vertikal pada saat $t = 2$ detik

$$v_y = v_{0y} - gt \rightarrow v_y = 30 - 10 \times 2 = 10 \text{ m/s}$$

Kecepatan horizontal pada saat $t = 2$ detik

$$v_x = v_{0x} = 30\sqrt{3} \text{ m/s}$$

Kecepatan pada saat t , dengan menggunakan teorema Pythagoras

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(30\sqrt{3})^2 + (10)^2} = \sqrt{2800} = 52,9 \text{ m/s}$$

Arah vektor kecepatan diperoleh dengan persamaan

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{10}{30\sqrt{3}} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{3\sqrt{3}} \right)$$



Ayo, Cek Pemahaman!

Bola ditendang dengan sudut tertentu. Jika angin memengaruhi gerak bola dalam arah horizontal apakah gerak bola tetap merupakan gerak parabola? Jelaskan.

E. Gerak Melingkar Beraturan

Kalian pasti pernah berkendara melalui jalan yang menikung. Gerak kendaraan pada umumnya diperlambat jika menikung. Gerak martil menyerupai gerak motor ketika menikung. Kedua gerak tersebut merupakan gerak melingkar karena lintasannya berupa lingkaran. Gerak melingkar dibedakan atas gerak melingkar beraturan dan gerak melingkar berubah beraturan. Kalian akan belajar gerak melingkar beraturan dalam subbab ini.



Gambar 2.45 Gerak motor dalam sirkuit lingkaran
Sumber: Foto oleh Pixabay dari Pexels.com 2016



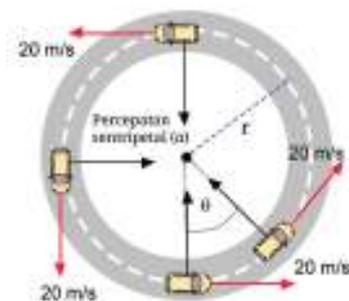
Gambar 2.46 Gerak martil
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Besaran-Besaran Gerak Melingkar Beraturan

Perhatikan lintasan benda dalam Gambar 2.46 (perhatikan juga besaran-besarnya). Mobil berputar pada lintasan melingkar. Percepatan sentripetal diberikan oleh persamaan :

$$\vec{a}_s = \frac{v^2}{r} \quad (2.9)$$

- Dengan :
- r = jari-jari (m),
 - θ = sudut tempuh (rad),
 - ω = kecepatan sudut (rad/s),
 - v = kecepatan linier (m/s),
 - \vec{a}_s = percepatan sentripetal (m/s^2).



Gambar 2.47 Gerak melingkar beraturan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berdiskusi!

Perhatikan kembali gambar 2.44. Besaran apa yang berubah? Mengapa? Kemana arah percepatan sentripetal?



Ayo, Cek Pemahaman!

Buktikan bahwa

$$v = \omega r$$

dimana v adalah kelajuan linier, ω adalah kecepatan sudut dan r adalah jari-jari lingkaran. Petunjuk tentukan v sebagai jarak tempuh dibagi dengan waktu. Waktu untuk mengelilingi satu putaran adalah T dan banyak putaran dalam satu detik adalah frekuensi.



Intisari

Benda bergerak jika mengalami perubahan posisi dan gerak bersifat relatif karena bergantung pada kerangka acuan. Besaran-besaran gerak adalah posisi, perpindahan, jarak, kecepatan, kelajuan dan percepatan. Gerak lurus dibedakan atas gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Gerak peluru merupakan perpaduan gerak lurus beraturan dalam arah horizontal dan gerak lurus berubah beraturan dalam gerak lurus berubah beraturan dimana gerak horizontal dan vertikal tidak saling memengaruhi. Gerak melingkar beraturan terjadi karena perubahan arah gerak tanpa perubahan besar kecepatan.



Refleksi

1. Apakah kalian sudah memahami dan dapat menerapkan konsep-konsep gerak dalam penyelesaian masalah?
2. Apakah kalian sudah bisa menemukan penerapan konsep-konsep gerak dalam kehidupan sehari-hari?
3. Materi apa yang memerlukan penguatan pemahaman?



Proyek

Desain suatu penyelidikan untuk menunjukkan bahwa jarak tempuh berbanding lurus dengan kuadrat waktu. Petunjuk, gunakan bidang miring dan kelereng atau bola kecil. Tentukan variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat. Tuliskan hasil pengamatan dalam tabel.

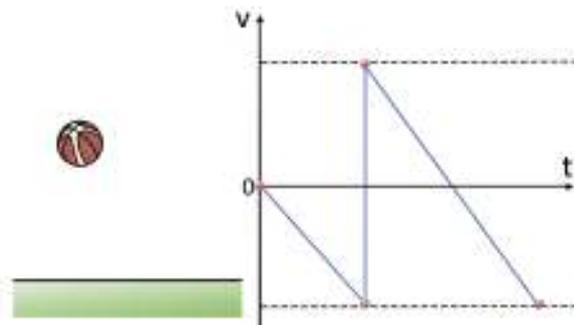


Asesmen

- Suatu pesawat terbang dipercepat 5 m/s^2 selama 32 detik sebelum naik ke atas.
 - Tentukan jarak tempuh pesawat sebelum lepas landas.
 - Perhatikan tabel berikut ini. Tentukan kemungkinan jenis pesawat.

Jenis Pesawat	Kapasitas Penumpang	Panjang Landasan Pacu (m)
ATR 72	70	1500
Airbus A 320	180	1900
Boeing 777	313 - 396	2500 - 3000
Airbus 380	555	3000

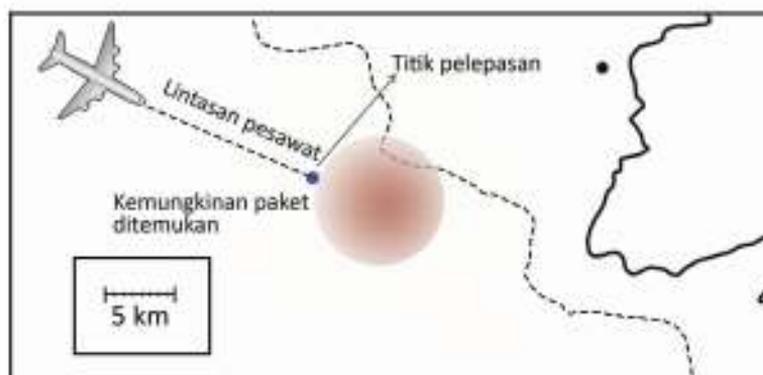
- Cari informasi panjang landasan pacu di Indonesia, tentukan dua kemungkinan bandara dimana pesawat itu berada.
- Jelaskan apa yang terjadi dengan gerak benda, seperti yang ditunjuk pada grafik di bawah ini.



3. Tes lompatan vertikal dilakukan untuk menguji kekuatan kaki. Pada beberapa cabang olahraga lompatan vertikal berperan besar.
 - a. Sebutkan lima cabang olahraga yang memerlukan lompatan vertikal
 - b. Jika waktu selama di udara adalah 0,3 detik tentukan ketinggian lompatan
 - c. Pemain polo air juga melakukan lompatan vertikal dari air. Apa perbedaan pengaruh melompat dari air dan dari tanah terhadap ketinggian lompatan?

4. Bola bermassa 80 gram, ditendang dari tanah dengan kecepatan awal v_0 dan sudut 60° . Pada ketinggian maksimum energi kinetik bola adalah 36 joule. Tentukan :
 - a. kecepatan awal,
 - b. waktu untuk mencapai ketinggian maksimum,
 - c. jarak horizontal maksimum,
 - d. kecepatan pada saat $t = 2$ detik.

5. Suatu pesawat menjatuhkan sebuah paket dari ketinggian 10.000 m dan kelajuannya pada saat paket dilepaskan adalah 800 km/jam.
 - a. Dengan mengabaikan pengaruh gesekan udara sangat kecil, tentukan jarak maksimum paket tersebut dari titik pelepasan.
 - b. Perhatikan lingkaran yang menyatakan wilayah kemungkinan paket ditemukan dan garis hitam yang menyatakan skala jarak. Apakah hasil yang diperoleh dari a sesuai dengan yang terdapat di peta?



“Apa yang kita ketahui hanya merupakan suatu tetes tetapi apa yang tidak kita ketahui merupakan suatu samudra”

(Isaac Newton)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 3

Dinamika Gerak Partikel

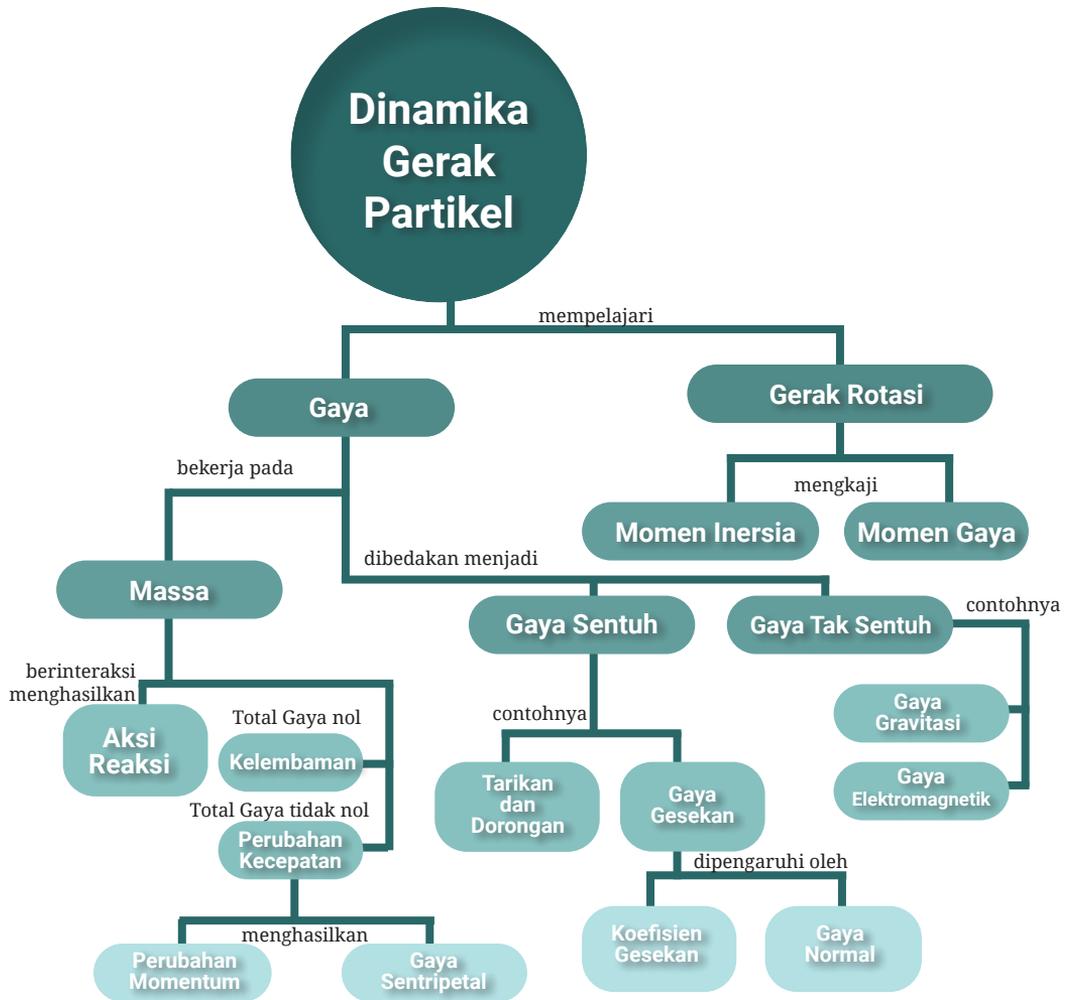
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan sifat kelembaman suatu benda, mengaplikasikan persamaan Hukum Newton dalam menyelesaikan masalah, mendeskripsikan beberapa jenis gaya, menerapkan konsep momentum pada fenomena sehari-hari dan mendeskripsikan momen gaya pada dinamika gerak rotasi.

Kata-kata kunci:

- Inersia
- Hukum Newton
- Diagram gaya
- Momentum
- Kecepatan terminal
- Momen gaya
- Gerak rotasi

Peta Konsep



Gambar 3.1. Pesawat terbang meninggalkan landasan pacu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Saat pertama kali melihat ataupun naik pesawat terbang, mungkin ada banyak pertanyaan dalam benak kalian. Misalnya: Apakah pesawat mampu terbang dengan beban yang begitu besar? Mengapa lintasan pesawat harus cukup panjang? Bagaimana pesawat bisa berhenti setelah mendarat? Setelah pesawat meninggalkan landasan, kalian juga akan merasa seperti tertekan

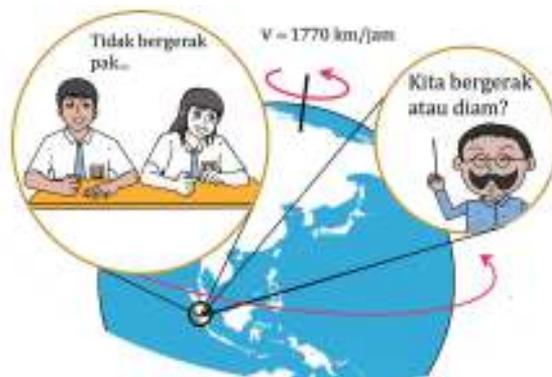
di kursi dan kemudian sesekali merasa melayang dan guncangan. Semua pertanyaan tersebut dapat dijelaskan dengan konsep gaya dan gerak, yang akan dijelaskan pada bab ini.

A. Hukum Newton

Saat beraktivitas sehari-hari tanpa disadari kita sangat bergantung pada gaya dan efek dari gaya tersebut, misalnya saat berjalan, menulis bahkan bernafas. Filsuf seperti **Plato (427-347 SM)** dan **Aristoteles (384-322 SM)** telah mengemukakan idenya terkait dengan gerak dan gaya, tetapi konsepnya bersifat abstrak dan sulit untuk diaplikasikan. Konsep gaya telah disederhanakan dalam persamaan matematis oleh **Sir Isaac Newton (1642-1727)** pada Hukum I, II dan III Newton.

1. Hukum I Newton

Kalian telah mempelajari persepsi benda yang bergerak dan benda tidak bergerak pada Bab II tentang Gerak Relatif. Sekarang bagaimana jika kita tinjau gerak dari sudut pandang Hukum Newton? Perhatikan Gambar 3.2, dan diskusikan bersama teman-teman kalian tentang konsep benda yang bergerak dan benda yang diam.



Gambar 3.2. Dua anak yang **diam** di dalam kerangka acuan yang **bergerak** dengan kecepatan konstan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Seorang filsuf bernama **Galileo Galilei (1564 –1642)** menunjukkan bahwa benda diam dan benda yang bergerak dengan kecepatan tetap memiliki keadaan yang sama. Bayangkan jika kita duduk diam di dalam pesawat yang bergerak dengan kecepatan tetap. Kita akan merasa seakan-akan tidak bergerak, padahal relatif terhadap tanah kita bergerak dengan kecepatan konstan yang cukup tinggi. Galileo memperkenalkan konsep yang membuat ide tentang gerak semakin masuk akal untuk membedakan keadaan suatu sistem, yaitu gaya luar. Gaya ini dapat berupa dorongan/tarikan, gaya gesekan ataupun gaya berat.

Ide Galileo Galilei kemudian dikembangkan oleh Sir Isaac Newton. Dalam hukum pertamanya, Newton menjelaskan keadaan benda jika benda tidak dipengaruhi oleh gaya luar atau benda memiliki resultan gaya nol (**gaya total nol**).

Hukum I Newton menyatakan “*benda yang diam akan tetap diam dan benda bergerak dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap apabila gaya total yang bekerja pada benda adalah nol*”. Newton menyederhanakannya dengan persamaan:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (3.1)$$

Dengan F adalah simbol untuk Gaya dengan satuan Newton.

Kecenderungan mempertahankan keadaan gerak disebut dengan kelembaman atau inersia. Semua benda memiliki sifat kelembaman (inersia). Jika kecepatan benda diubah, maka sifat kelembamannya akan menghambat perubahan gerak tersebut. Semakin besar massa benda, maka sifat kelembamannya semakin besar.

Dari Hukum I Newton, kalian juga akan memahami, bahwa gaya akan memengaruhi kecepatan suatu objek. Ingat bahwa kecepatan adalah besaran vektor, yang artinya besar dan arah kecepatan dapat dipengaruhi oleh gaya.



Aktivitas 3.1

Ayo, Amati!

Lakukan kegiatan berikut ini secara berkelompok!

1. Siapkan timbangan, beban dan sebuah alas.
2. Letakkan beban di atas timbangan, kemudian amati angka pada timbangan dan catat.
3. Mintalah temanmu untuk menggerakkan timbangan tersebut, kemudian amati angka pada timbangan apabila timbangan tersebut digerakkan ke arah bawah dan ke arah atas.



Gambar 3.3. Percobaan menentukan efek gaya luar pada benda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

4. Setelah mendapat simpulan, coba kalian diskusikan fenomena di atas dengan fenomena yang dialami seseorang apabila berada di dalam pesawat ataupun mobil yang dipercepat atau direm.

Massa Kelembaman Dan Massa Gravitasi

Ada dua jenis massa yang perlu kalian ketahui yaitu massa gravitasi dan massa kelembaman. Massa gravitasi adalah ukuran kemampuan suatu benda dalam menghasilkan gaya gravitasi. Massa gravitasi (m) dapat diukur dengan timbangan atau neraca, dengan cara membandingkan berat benda dengan berat massa standar (anak timbangan). Berat benda (w) adalah besar gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Berat berbanding lurus dengan massa benda. Arah gaya berat selalu vertikal ke bawah (menuju pusat bumi). Massa yang kedua disebut dengan massa kelembaman yang akan dijelaskan pada bahasan selanjutnya.

2. Hukum II Newton

Mengapa bus besar yang bergerak dengan kecepatan rendah bisa lebih berbahaya dibandingkan dengan bajaj yang bergerak dengan kecepatan yang sama ketika berbenturan dengan benda lain? Fenomena tersebut dapat dijelaskan dengan menggunakan konsep dalam fisika yang disebut dengan Hukum II Newton.

Hukum II Newton menyatakan “*percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja pada benda dan berbanding terbalik dengan massanya*” Secara matematis ditulis

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

Dengan : ΣF = gaya total yang di alami benda (N), (3.2)

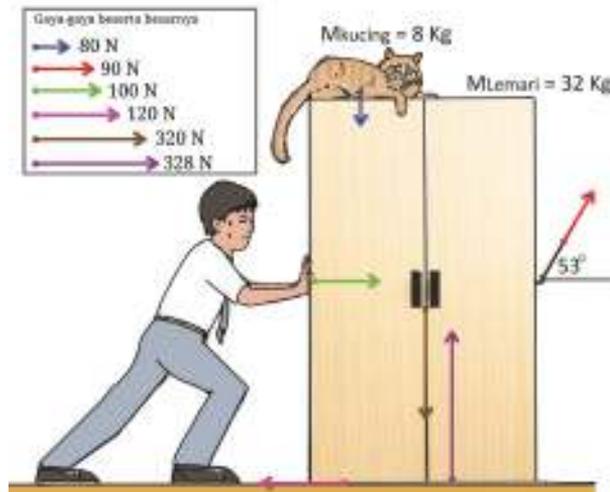
m = massa kelembaman benda (kg),

a = percepatan (m/s^2).

Saat bus bergerak, kecenderungan untuk berhenti akan lebih sulit dibandingkan dengan bajaj, karena memiliki kelembaman yang lebih besar, sehingga gaya untuk menghentikan bus tersebut akan lebih besar dibandingkan bajaj. Dari Hukum II Newton kita ketahui bahwa percepatan benda berbanding terbalik dengan massanya. Semakin besar massa benda, maka percepatan benda akan semakin kecil jika diberi gaya eksternal yang sama.

Diagram Gaya

Gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda dapat digambarkan dengan suatu diagram gaya. Diagram gaya adalah interpretasi vektor gaya yang bekerja pada suatu benda dengan besar dan arah yang sesuai. Berikut merupakan contoh diagram gaya benda yang mengalami beberapa gaya dari luar.



Gambar 3.4. Diagram gaya pada suatu benda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Cek Pemahaman!

Perhatikan Gambar 3.4! Tentukan:

1. Gaya total yang bekerja pada lemari (perhatikan warna panah)
2. Percepatan kucing dan lemari tersebut.

Untuk memahami hukum II Newton beserta besaran-besaran di dalamnya, kalian dapat melakukan aktivitas berikut secara berkelompok



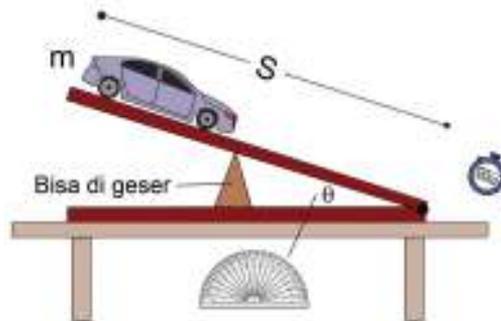
Aktivitas 3.2

Ayo, Berkolaborasi!

Untuk menemukan hubungan antara resultan gaya dan percepatan, lakukanlah percobaan berikut secara berkelompok.

Aktivitas 3.2

1. Siapkan sebuah mobil-mobilan/benda yang memiliki permukaan licin, sebuah busur dan papan yang licin. Buatlah rangkaian percobaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.
2. Ukur massa mobil-mobilan (m), kemudian letakkan di permukaan bidang miring licin, sehingga meluncur lurus ke bawah seperti Gambar 3.5.
3. Ukur panjang jarak lintasan (s) yang ditempuh mobil-mobilan.
4. Catat waktu (t) yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut.
5. Ukur besar sudut kemiringan (θ).



Gambar 3.5 Rangkaian percobaan hubungan gaya dan percepatan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

6. Tentukan percepatan (a) mobil-mobilan dengan menggunakan persamaan GLBB.
7. Tentukan besar resultan gaya (ΣF) yang bekerja pada mobil-mobilan tersebut menggunakan persamaan.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\vec{g} \sin \theta \quad (3.3)$$

Untuk mempermudah perhitungan ambil nilai $g = 10 \text{ m/s}^2$.

8. Ulangi percobaan tersebut sebanyak 5 kali, dengan kemiringan sudut (θ) yang berbeda-beda. Catat semua data dan hasil perhitungan tersebut ke dalam tabel data hasil pengamatan.

9.

Tabel 3.1 Data hasil pengamatan

No	m(kg)	s(m)	θ (... $^\circ$)	t(detik)	ΣF (N)	a(m/s ²)
1.	Tetap	Tetap				
2.	Tetap	Tetap				
3.	Tetap	Tetap				
4.	Tetap	Tetap				
5.	Tetap	Tetap				

Tugas dan pertanyaan

1. Buatlah grafik percepatan (a) terhadap fungsi resultan gaya (ΣF), dengan percepatan di sumbu horisontal dan resultan gaya di sumbu vertikal.
2. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari grafik tersebut? Tuliskan hubungan antara resultan gaya (ΣF) dan percepatan (a) itu dalam bentuk persamaan.

Dari percobaan yang telah dilakukan, kalian akan memperoleh suatu konstanta yang dalam SI satuannya adalah kilogram (kg). Konstanta ini diartikan sebagai massa kelembaman benda, yaitu ukuran besarnya sifat kelembaman (inersia) dari benda tersebut. Dengan demikian diperoleh bentuk persamaan 3.2.

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

Bedasarkan persamaan tersebut, maka dapat disimpulkan “*Jika suatu benda mengalami resultan gaya, maka besar percepatan yang ditimbulkan sebanding dengan besarnya resultan gaya, dan arah percepatannya sama dengan arah resultan gaya tersebut*”.

Massa kelembaman suatu benda dapat kita ukur berdasarkan Hukum II Newton, yaitu dengan cara membandingkan besar resultan gaya ΣF yang diperoleh dengan percepatan (a) benda tersebut. Walaupun secara konsep pengertian massa kelembaman dan massa gravitasi berbeda, tetapi fakta menunjukkan bahwa besar kedua massa tersebut adalah sama. Itulah sebabnya untuk keperluan hitung-menghitung massa gravitasi dan massa kelembaman cukup dinyatakan sebagai massa benda.



Ayo, Berdiskusi!

Perhatikan fenomena berikut!



Gambar 3.6. Telur yang dijatuhkan pada dua keadaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

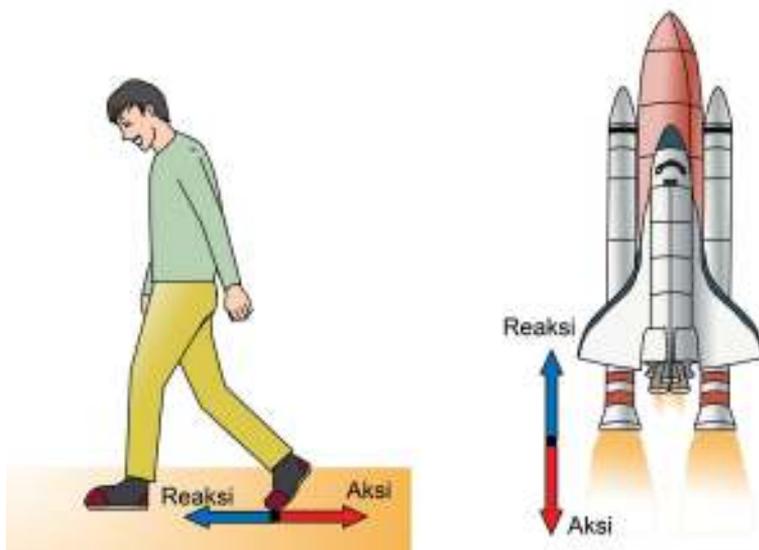
Menurut kalian, apakah hubungan antara fenomena pada Gambar 3.6 dengan Hukum II Newton? Bandingkan dengan aplikasi pada *airbag* pada mobil dan kegunaan sarung tinju pada olahraga tinju. Simpulan apa yang dapat kalian peroleh?

3. Hukum III Newton

Dalam kehidupan sehari-hari, selalu ada interaksi antara beberapa benda, interaksi umumnya diawali dengan aksi. Dalam fisika setiap aksi selalu ada reaksi yang arahnya berlawanan dengan aksi tersebut. Hal ini dinyatakan dalam Hukum ke-III Newton. “Setiap aksi akan menimbulkan reaksi, jika suatu benda memberikan gaya pada benda yang lain maka benda yang terkena gaya akan memberikan gaya yang besarnya sama dengan gaya yang diterima dari benda pertama, tetapi arahnya berlawanan“ secara matematis ditulis:

$$\vec{F}_{\text{aksi}} = -\vec{F}_{\text{reaksi}} \quad (3.4)$$

Fenomena aksi-reaksi sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Roket dapat terdorong ke atas karena ada semburan gas panas yang ditembakkan ke bawah. Saat kita berjalan, reaksi kita berjalan ke depan dikarenakan kaki kita menyapu ke arah belakang.



Gambar 3.7. Pasangan gaya aksi dan reaksi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Ada banyak contoh dari pasangan aksi dan reaksi yang bisa kalian temukan dalam kehidupan sehari-hari. Kalian bisa melakukan aktivitas mandiri untuk mencari pasangan aksi-reaksi di sekitar kalian dan kemudian diskusikan hasil pengamatan kalian baik kepada teman ataupun guru.

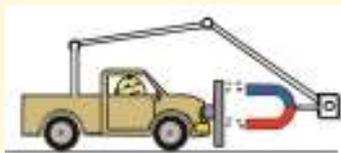


Ayo, Berpikir Kritis!

Tahukah kalian, pada perlombaan tarik tambang, setiap aksi pada tali dari penarik sebelah kanan selalu sama dengan reaksi pada tali penarik sebelah kiri. Hal ini dibuktikan dengan tegangan tali yang merata dari grup sebelah kiri dan grup sebelah kanan. Jika gaya ini sama besar, bagaimana perlombaan ini bisa dimenangkan?



Gambar 3.8. Perlombaan tarik tambang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 3.9. Mobil yang ditarik oleh magnet
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kemudian diskusikan bersama teman-temanmu, mengapa sistem pada Gambar 3.9 berikut tidak mungkin untuk bisa bergerak!



Aktivitas 3.3

Ayo, Berteknologi!

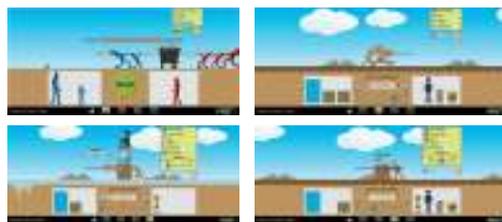
Laboratorium virtual menggunakan **Phet.Colorado**

Prosedur

1. Lakukan percobaan virtual ini secara mandiri
2. Masuklah ke dalam tautan berikut:

https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_in.html

3. Eksplorasi terkait gaya dan gerak dari ke-empat fitur yang terdapat di dalam aplikasi.



Gambar 3.10 Fitur-fitur di dalam aplikasi Phet.colorado
Sumber: Phet colorado

4. Dari eksplorasi kalian, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut:
 - a. Apa yang dimaksud dengan gaya netto?
 - b. Apakah pengaruh gaya terhadap gerak?
 - c. Apakah pengaruh gaya gesek terhadap kecepatan benda?
 - d. Bagaimana nilai percepatan suatu benda dengan variasi massa dan gaya eksternal?

B. Jenis-Jenis Gaya

Terdapat beberapa gaya yang sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya, gaya berat, gaya normal, gaya gesekan benda padat, gaya gesekan pada fluida dan gaya sentripetal.

1. Gaya Berat

Saat belanja di pasar rakyat, mungkin kalian pernah mendengar seorang penjual yang menawarkan jualan, misalnya buah apel **seberat** 0,5 kg memiliki harga Rp.10.000,- Dalam bahasa sehari-hari kita sering menggunakan besaran berat dengan satuan kilogram. Perlu kalian ketahui, berat merupakan gaya tarik bumi terhadap suatu benda. Secara matematis berat adalah perkalian antara massa dan percepatan gravitasi.

$$\vec{w} = m\vec{g} \quad (3.5)$$

Berat memiliki satuan newton, dengan g merupakan percepatan gravitasi bumi yang nilainya berkisar $9,8 \text{ m/s}^2$ jika diukur dekat dengan permukaan bumi. Sedang massa adalah ukuran banyaknya partikel di dalam suatu objek dan memiliki satuan kilogram.



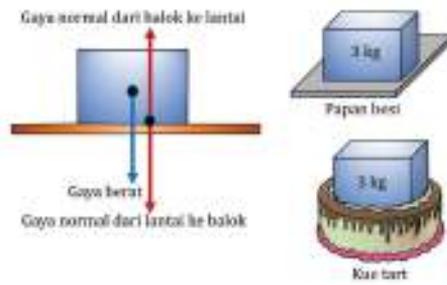
Ayo, Cek Pemahaman!

Jika kita pindah ke permukaan planet Mars, apakah berat dan massa kita akan berubah?

2. Gaya Normal

Sebuah benda yang di letakkan di atas meja, akan diam, meskipun kalian tahu bahwa ada gaya gravitasi yang bekerja pada benda. Pasti, ada gaya lain yang menyeimbangkan gaya berat ini. Gaya ini kita sebut dengan gaya normal. Gaya normal selalu tegak lurus dengan bidang dan merupakan gaya tahan dari material terhadap gaya luar, arahnya keluar dari bidang permukaan.

Kalian bisa membayangkan dengan meletakkan benda seberat 1 kg di atas kue tart atau di atas meja besi. Pasti meja besi akan lebih mampu menahan beban dan memberikan gaya normal yang setara dengan gaya berat, sedangkan kue tart akan hancur. Perlu diperhatikan, karena gaya normal adalah interaksi antara dua benda, maka akan timbul pasangan aksi dan reaksi.



Gambar 3.11 a. Diagram gaya pada balok di atas meja b. Gaya normal tiap material
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

3. Gaya Gesek Benda Padat

Ketika sebuah benda yang berada di suatu permukaan lantai ditarik, benda tersebut akan mengalami gaya gesek dengan permukaan lantai. Gaya gesek merupakan konsep yang sangat penting dalam gerak sehari-hari. Terdapat dua jenis gaya gesek. Pertama adalah gaya gesek statis yang mempertahankan benda agar terus diam. Kedua adalah gaya gesek kinetis yang menghambat pergerakan benda. Gaya gesek sangat berhubungan dengan gaya normal/kontak dan koefisien gesekan antar benda. Hubungan antara besaran ini dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{f}_{\text{statis}} = \vec{N}\mu_{\text{statis}} \quad (3.6)$$

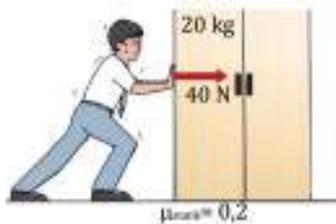
$$\vec{f}_{\text{kinetis}} = \vec{N}\mu_{\text{kinetis}} \quad (3.7)$$

Dengan : f = gaya gesek (N),
 N = gaya normal (N),
 μ = koefisien gesek antara dua benda.

Besarnya koefisien gesek ditentukan oleh kehalusan antara dua permukaan. Contohnya lantai yang licin akan memiliki koefisien yang lebih kecil dibandingkan dengan lantai yang kasar.



Ayo, Cek Pemahaman!



Gambar 3.12. lemari yang didorong di atas permukaan kasar
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Seorang anak mendorong lemari yang memiliki koefisien gesek lantai dan lemari sebesar 0,2. Apabila massa lemari 20 kg dan anak tersebut mendorong dengan gaya 40 N, apakah lemari akan bergerak?
 $(g = 10 \text{ N/kg})$



Aktivitas 3.4

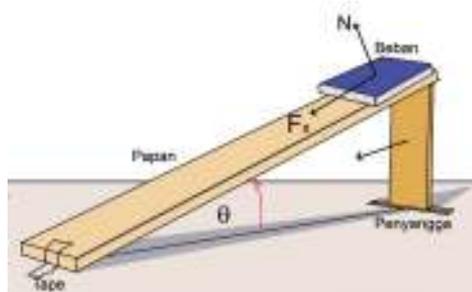
Ayo, Berkolaborasi!

Lakukanlah sebuah percobaan untuk menentukan koefisien gaya gesek statik antara dua permukaan dengan menggunakan konsep bidang miring (Gambar 3.13). Percobaan ini berguna untuk memahami konsep gaya normal, gaya berat dan gaya gesek yang merupakan kelanjutan Aktivitas 3.2.

Prosedur

1. Siapkan sistem bidang miring yang bisa diatur sudutnya (dapat menggunakan papan, penyangga dan tape), busur derajat, dan beberapa benda dengan tingkat kehalusan permukaan yang berbeda. Contoh rangkaian percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.13.
2. Posisikan benda pada bidang miring sehingga benda tetap stabil, kemudian secara perlahan naikan kemiringan bidang miring dan amati pergerakan benda. Apabila benda sudah mulai bergerak, catat sudut dimana benda mulai akan bergerak.
3. Apabila benda sudah mulai bergerak, catat sudut dimana benda mulai akan bergerak.
4. Lakukan percobaan berulang dengan objek yang berbeda.
5. Tentukan koefisien gesekan statis menggunakan persamaan

$$\mu_s = \tan \theta \quad (3.8)$$



Gambar 3.13. Rangkaian percobaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Aktivitas 3.4

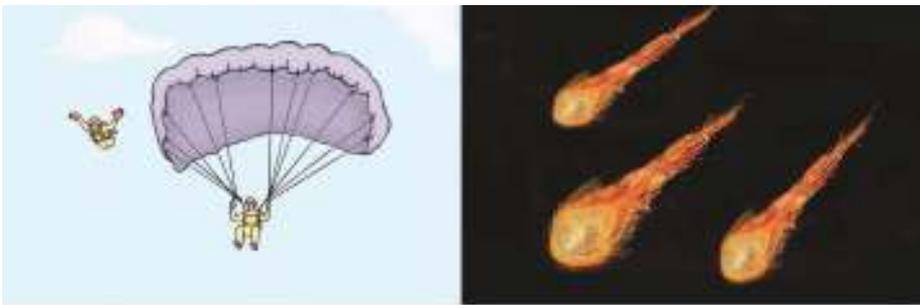
6. Isilah tabel berikut menggunakan hasil eksperimen.

Tabel 3.2 Data hasil pengamatan penentuan koefisien gesek statis

Percobaan	Benda	Sudut	Koefisien Gesek Statis
1.			
2.			
3.			

7. Diskusikan hasil eksperimen dan ambillah kesimpulan dari eksperimen yang telah dilakukan.
8. Diskusikan bersama teman-temanmu bagaimana memperoleh persamaan (3.8) dengan menggunakan Hukum Newton.

4. Gaya Gesek Fluida

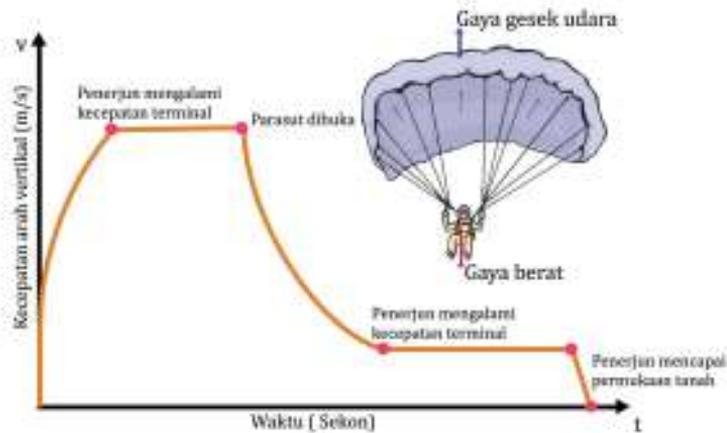


Gambar 3.14. (a). Penerjun payung (b) Meteor yang terbakar
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan Gambar 3.14! Menurut kalian apakah kesamaan yang bisa diperoleh dari kedua gambar tersebut?

Kedua fenomena tersebut disebabkan oleh efek yang sama yaitu gaya gesekan fluida. Sebuah benda yang bergerak melalui fluida (cair atau gas) akan mengalami hambatan dari fluida tersebut. Kecepatan benda yang melewati suatu fluida akan melambat karena energinya diubah menjadi panas bahkan pada tingkat yang ekstrim akan membakar benda itu sendiri. Pada benda yang jatuh, gaya hambat fluida akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan. Hal ini akan menyebabkan gaya total berkurang hingga pada suatu keadaan, gaya hambat udara mengimbangi gaya berat benda. Akibatnya percepatan menjadi nol dan kecepatan menjadi konstan. Kecepatan ini dikenal sebagai kecepatan terminal.

Gambar 3.15 memperlihatkan grafik kecepatan arah vertikal terhadap waktu dari gerak seorang penerjun payung.



Gambar 3.15. Grafik kecepatan terhadap waktu pada penerjun payung
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

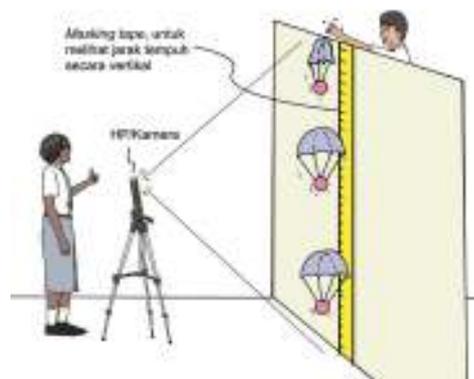


Aktivitas 3.5

Ayo, Bekerjasama!

Prosedur

1. Siapkan *masking tape*, *handphone* untuk merekam, dua buah benda (usahakan berbentuk bola/bulat) yang salah satunya dipasangkan sebuah parasut (bisa menggunakan kantong plastik) dan benda lainnya tanpa parasut.
2. Carilah posisi yang cukup tinggi dan aman dengan pengaruh angin sekecil mungkin. Rangkaian percobaan dapat di lihat pada Gambar 3.16.



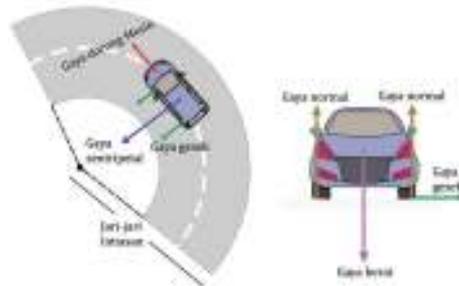
Gambar 3.16. Contoh skema percobaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Aktivitas 3.5

3. **Percobaan 1**, jatuhkan benda tanpa parasut dan ukur waktunya saat menyentuh tanah (waktu dapat dilihat di *handphone*).
4. **Percobaan 2**, jatuhkan benda dengan parasut dan ukur waktunya saat menyentuh tanah (waktu dapat dilihat di *handphone*).
5. Gunakan perangkat lunak video editor untuk menganalisis gerak benda, dan bandingkan hasil dari percobaan 1 dan percobaan 2.
6. Untuk mendapatkan hasil data yang lebih baik, plotlah data posisi dan waktu menggunakan *software* pengolah data seperti *Microsoft excel* atau *software* alternatif yang lain.

5. Gaya Sentripetal

Mobil yang bergerak pada suatu tikungan memiliki kecepatan atau kelajuan tertentu sedemikian sehingga mobil tetap stabil di lintasannya. Apabila terlalu lambat mobil cenderung akan bergerak ke arah pusat, sedangkan bila terlalu kencang, mobil akan keluar dari lintasan.



Pada Gambar 3.17 gaya sentripetal diberikan oleh gaya gesek saja.

Gambar 3.17. Gerak melingkar pada sebuah mobil
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gaya total yang bekerja pada sistem ini disebut dengan gaya sentripetal. Gaya ini selalu mengarah ke arah pusat. Besarnya gaya dapat dinyatakan dengan persamaan

$$F_s = m \frac{v^2}{r} \quad (3.9)$$

Dengan : F_s = gaya sentripetal (N),
 m = massa benda (kg),
 v = kecepatan linier (m/s),
 r = jari – jari lingkaran (m).

Gaya ini akan mempertahankan benda untuk berada pada lintasan melingkar.

Ayo cek pemahaman

Perhatikan Gambar 3.17! Apabila massa mobil adalah 1000 kg, bergerak dengan kelajuan atau kecepatan konstan 20 m/s pada lintasan melingkar dengan jari-jari 20 m. Dengan menganggap mobil tetap berada pada lintasan. Tentukan gaya gesekan ban dengan jalan! ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

C. Momentum dan Impuls

Kalian telah memahami bagaimana hubungan antara besaran-besaran massa, percepatan dan gaya pada Hukum II Newton. Terdapat suatu besaran lain yang dapat menjelaskan tentang gerak suatu benda, yaitu momentum. Momentum adalah besaran turunan yang merupakan hasil kali antara massa (m) dan kecepatan (v) suatu objek yang menunjukkan kesukaran benda untuk berhenti. Momentum memiliki satuan kg m/s dan simbol \vec{p} . Secara matematis besaran momentum dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{3.10}$$

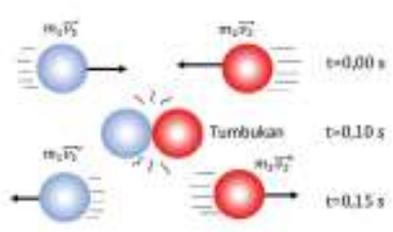
Perubahan momentum terhadap waktu dari suatu benda akan menghasilkan perubahan kecepatan benda terhadap waktu yang senilai dengan gaya luar yang dialami benda. Hubungan ini bisa dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta\vec{p} &= m\Delta\vec{v} \\ \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} &= m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \sum \vec{F} \end{aligned} \tag{3.11}$$

Pada bab kinematika telah dijelaskan, bahwa perubahan kecepatan terhadap waktu akan sama dengan percepatan. Jadi perubahan momentum terhadap waktu adalah bentuk lain dari Hukum II Newton. Perubahan momentum $\Delta\vec{p}$ disebut dengan impuls (I).

1. Hukum Kekekalan Momentum

Apabila dua objek saling berinteraksi, tiap objek akan mengalami gaya aksi dan reaksi yang sama besar, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Tumbukan antara dua benda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Dengan menggunakan definisi impuls dari penjelasan sebelumnya, maka keadaan ini secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \vec{F}_{aksi} &= -\vec{F}_{reaksi} \\ \frac{m_1(\vec{v}_1' - \vec{v}_1)}{t} &= \frac{-m_2(\vec{v}_2' - \vec{v}_2)}{t} \\ m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 &= m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2' \end{aligned} \quad (3.12)$$

Persamaan 3.12 dikenal dengan hukum kekekalan momentum, yang secara sederhana menyatakan bahwa, momentum total sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama. Hukum ini akan berlaku pada keadaan apapun selama terjadi interaksi antara dua benda.

2. Jenis-Jenis Tumbukan

Saat dua benda bertumbukan, akan ada energi yang diubah menjadi energi lain dan akan berdampak pada perbedaan kecepatan relatif sebelum dan sesudah tumbukan. Rasio perubahan kecepatan relatif sesudah dan sebelum tumbukan disebut dengan koefisien restitusi (e).

Jenis tumbukan berdasarkan rasio tersebut dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

a. Tumbukan Lenting Sempurna ($e=1$)

Tumbukan lenting sempurna terjadi ketika tidak ada energi sistem yang hilang saat bertumbukan. Dalam hal ini berlaku hukum kekekalan energi kinetik dan hukum kekekalan momentum. Tinjau tumbukan dari Gambar 3.18, dimana jumlah energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama.

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 \quad (3.13)$$

Jika dihubungkan dengan hukum kekekalan momentum pada persamaan 3.12, maka diperoleh hubungan sebagai berikut.

$$\frac{-(\vec{v}_2' - \vec{v}_1')}{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)} = \frac{-(\Delta v')}{(\Delta v)} = 1 \quad (3.14)$$

Dari persamaan 3.14 dapat disimpulkan bahwa perubahan kecepatan relatif sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama besar tapi berlawanan arah.

Jenis tumbukan ini jarang terjadi di alam, tetapi untuk tingkat molekul, tumbukan ini sering dijadikan sebagai asumsi.

b. Tumbukan Lenting Sebagian ($0 < e < 1$)

Pada tumbukan lenting sebagian, hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku karena adanya energi yang hilang saat terjadi tumbukan. Energi ini umumnya diubah menjadi panas atau bunyi. Pada tumbukan lenting sebagian hanya berlaku hukum kekekalan momentum saja dan koefisien restitusi tumbukan lenting sebagian mempunyai nilai di antara nol dan satu ($0 < e < 1$).

$$e = \frac{-(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)} \quad (3.15)$$

Tumbukan lenting sebagian sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari.

c. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali ($e = 0$)

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, dua benda yang bertumbukan akan menyatu dan bergerak bersama-sama setelah bertumbukan. Sama halnya dengan tumbukan lenting sebagian, energi sebelum tumbukan akan lebih besar daripada energi setelah tumbukan. Karena kedua benda bergerak bersama, maka nilai koefisien restitusi pada tumbukan tidak lenting sama sekali adalah nol. Hal ini mengakibatkan kecepatan kedua benda akan sama setelah bertumbukan.

$$\frac{-(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)} = \frac{-(\Delta \vec{v})}{(\Delta \vec{v})} = 0$$
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 \quad (3.16)$$

Ayo cek pemahaman

Sebuah balok bergerak di atas permukaan licin dengan kecepatan 5 m/s, kemudian menumbuk balok lain yang diam. Setelah tumbukan balok pertama bergerak ke kiri dengan kecepatan 1 m/s seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19.



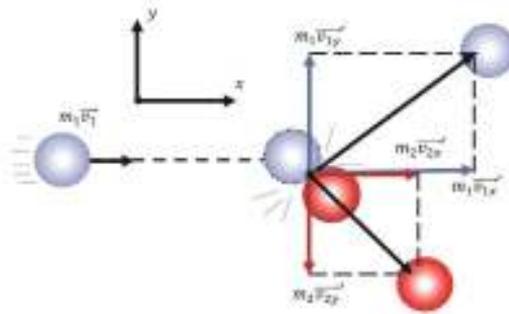
Gambar 3.19. Tumbukan antara dua balok
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Tentukan:

- kecepatan balok kedua setelah tumbukan,
- energi yang hilang saat tumbukan,
- jenis tumbukan.

d. Tumbukan di Dalam Ruang

Pada umumnya, benda-benda yang bertumbukan akan bergerak di dalam suatu bidang (2 dimensi) ataupun dalam ruang (3 dimensi). Sebagai contoh, jika sebuah petasan meledak, maka serpihan-serpihannya akan menyebar ke berbagai arah. Untuk memecahkan persoalan gerak dalam ruang, kalian bisa menggunakan metode penguraian vektor yang telah dipelajari pada Bab I bersama-sama dengan hukum kekekalan momentum. Gambar 3.20 memperlihatkan bagaimana menguraikan komponen momentum dalam gerak 2 dimensi.



Gambar 3.20. Diagram tumbukan pada bidang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



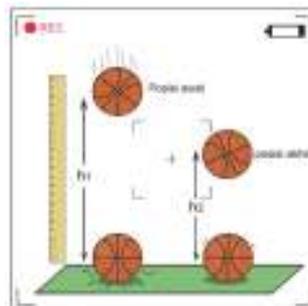
Aktivitas 3.6

Ayo, Berteknologi!

Menentukan koefisien restitusi bola yang jatuh

Prosedur

1. Sediakan 2 bola dengan jenis yang berbeda (contoh: bola kaki dan bola voli), *handphone*, dan *masking tape*.
2. Gunakan kamera HP untuk merekam posisi awal dan posisi benda setelah pemantulan. Lakukan tiga kali untuk setiap bola dengan posisi awal yang sama.
3. Gunakan aplikasi *video editor* untuk mengecek posisi dan waktu secara akurat.



Gambar 3.21. Tampilan percobaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gunakan persamaan 3.17 dalam menentukan nilai koefisien restitusi pada tumbukan:

$$e = \sqrt{\frac{h_{\text{akhir}}}{h_{\text{awal}}}} \quad (3.17)$$

5. Masukan hasil ke dalam tabel berikut. Kemudian diskusikan hasil percobaan!

Tabel 3.3. Penentuan koefisien restitusi

Percobaan	1	2	3
Tinggi akhir bola 1			
Tinggi akhir bola 2			
Koef. Restitusi			

6. Dari pemahaman yang sudah kalian pelajari tentang energi, tentukan energi yang hilang pada setiap percobaan tumbukan di atas.

D. Gerak Rotasi



Gambar 3.22 Seorang pemuda mencoba menyeimbangkan dua beban

Perhatikan Gambar 3.22. Seorang remaja mencoba menyeimbangkan dua beban yang dipanggulnya. Untuk menyeimbangkan dua beban tersebut, pemuda tersebut harus memposisikan batang penyangga sedemikian sehingga momen gaya total yang diberikan adalah nol.

1. Momen Gaya

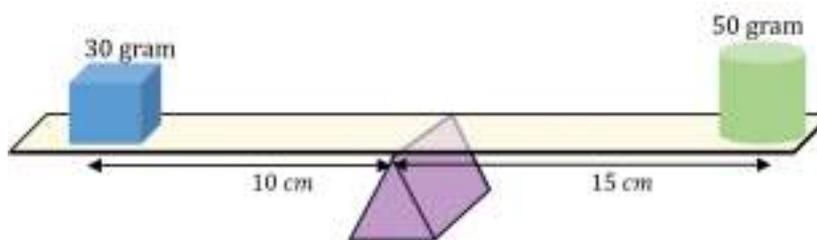
Momen gaya adalah gaya yang bekerja terhadap sumbu putar sehingga benda mengalami gerak berputar. Momen gaya dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (3.18)$$

Dengan : τ = momen gaya (Nm),
 r = panjang lengan dari sumbu putar(m),
 F = gaya (N).

Sudut antara r dan F harus tegak lurus satu dengan yang lain.

Sebagai contoh perhatikan sistem pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Dua benda yang berada di atas tumpuan dan penggaris
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Momen gaya yang di akibatkan oleh silinder τ_s dan balok τ_b terhadap titik tumpu adalah:

$$\tau_s = r_s F_s = 0,15 \text{ m} (0,05 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) = 0,0735 \text{ Nm searah jarum jam}$$

$$\tau_b = r_b F_b = 0,10 \text{ m} (0,05 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) = 0,0294 \text{ Nm berlawanan arah jarum jam}$$

Total momen gaya terhadap titik tumpu adalah:

$$\tau_{\text{total}} = \tau_s + \tau_b = -0,0735 \text{ Nm} + 0,0294 \text{ Nm} = -0,0441 \text{ Nm}$$

Yang artinya benda akan berputar mengikuti gerak silinder.

Perhatikan bahwa tanda negatif menunjukkan arah momen gaya searah dengan jarum jam dan sebaliknya tanda positif menunjukkan arah momen gaya berlawanan arah dengan jarum jam.



Aktivitas 3.7

Ayo, Amati!

Prosedur

1. Siapkan sebuah penggaris, sebuah tumpuan dan dua benda (gunakan plastisin agar massa bisa diatur). Buatlah rangkaian percobaan seperti pada Gambar 3.23.
2. Ukurlah massa tiap benda, dan aturlah posisi benda 1 dan 2 sehingga kedua benda dalam keadaan setimbang. Ukur jarak benda terhadap titik tumpu.
3. Isilah tabel berikut sesuai dengan percobaan yang telah dilakukan.

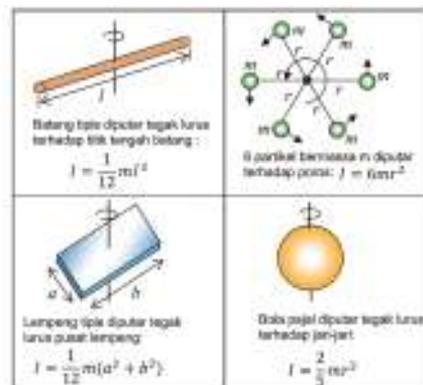
Tabel 3.4. Data hasil pengamatan momen gaya pada dua benda

Berat Benda 1 (N)	Jarak benda 1 terhadap titik tumpu	Berat benda 2 (N)	Jarak benda 2 terhadap titik tumpu

4. Buatlah kesimpulan dari percobaan.
5. Sekarang geser titik tumpu ke arah 1/4 panjang penggaris, buatlah plastisin dengan perbandingan massa 1:2. Tentukan persamaan jarak antara massa yang lebih ringan dari titik tumpu dengan menggunakan panjang penggaris (L), massa yang lebih ringan (m_2) dan massa penggaris (m_p). Di mana momen gaya total adalah nol.

2. Momen Inersia

Jika pada Hukum I Newton terdapat besaran kelembaman benda terhadap gaya luar, maka gerak rotasi juga terdapat suatu besaran kelembaman benda untuk berputar pada porosnya. Momen inersia benda bisa berbeda-beda tergantung dari massa (m) dan posisi pusat massanya (r). Gambar 3.24 menunjukkan momen inersia dari beberapa benda.



Gambar 3.24 beberapa benda beserta momen inersianya

sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Seperti pada Hukum II Newton, hubungan antara momen inersia, momen gaya dan percepatan sudut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\tau = I\alpha \quad (3.19)$$

Dengan: I = momen inersia (kgm^2),
 α = percepatan sudut (radian/s^2).

Gerak rotasi dan gerak lurus memiliki kesamaan bentuk dalam persamaan yang di tunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Beberapa besaran pada gerak lurus dan gerak rotasi

Besaran	Gerak lurus	Gerak rotasi
Kecepatan	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$
Kecepatan	$v_t = v_0 + at$	$\omega_t = \omega_0 + \alpha t$
Percepatan	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
Perpindahan	$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
Perpindahan	$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$	$\theta = \frac{\omega_t^2 - \omega_0^2}{2\alpha}$



Intisari

Dinamika merupakan kajian yang mempelajari tentang gaya beserta efeknya. Gaya dapat mengubah kecepatan dan arah suatu benda. Benda akan mempertahankan keadaan awalnya apabila tidak dipengaruhi oleh gaya dari luar. Fenomena gerak suatu benda dapat dijelaskan dengan menggunakan Hukum Newton dan konsep momentum. Dinamika gerak rotasi mengkaji tentang momen gaya dan efeknya pada gerak rotasi.



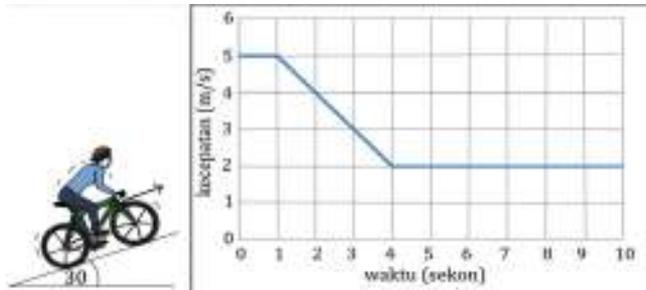
Refleksi

1. Bagaimanakah kalian memandang pergerakan benda-benda di sekeliling kalian.
2. Bagaimana kalian bisa lebih memaknai keteraturan alam menggunakan konsep Hukum Newton.



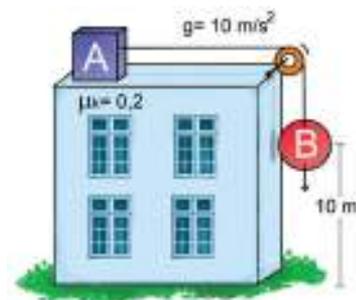
Asesmen

1. pada pada grafik berikut.



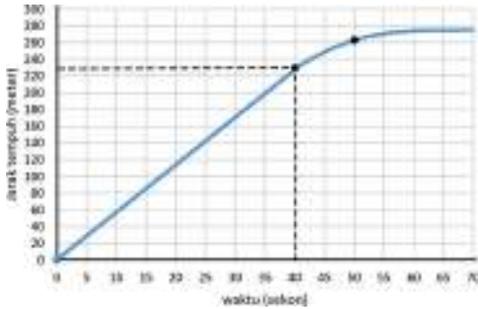
Jika massa Susan dan sepeda adalah 60 kg dan gaya gesek antara sepeda dan tanah selalu sama. Tentukan:

- a. gaya yang diberikan Susan pada detik ke-1 sampai detik ke-4,
 - b. gaya yang diberikan Susan saat detik ke-4 sampai ke-10 ($g = 10 \text{ m/s}^2$).
2. Sebuah bola pejal akan dijatuhkan dari sebuah gedung dengan menggunakan sistem katrol seperti pada gambar di samping. Balok A memiliki massa 20 kg dan bola B bermassa 10 kg. Jika mula-mula bola B diam dan jaraknya dari tanah adalah 10 m. Tentukan waktu yang diperlukan bola B hingga menyentuh tanah jika bola B dilepaskan!



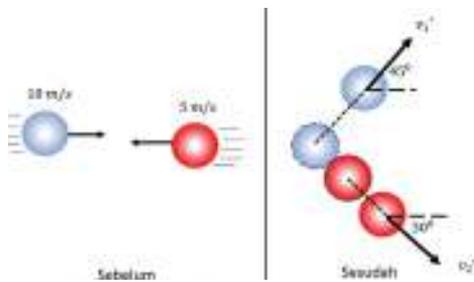
Asesmen

3. Sebuah kereta bergerak pada lintasan lurus yang pergerakannya ditunjukkan seperti pada grafik di berikut.



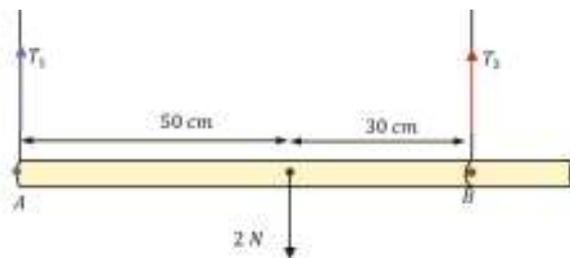
Pada detik ke 0 hingga 40 kereta mengalami gaya hambat sebesar 1000 N. Dengan menganggap gaya dari kereta adalah konstan dan massa kereta adalah 1000 kg, perkirakan gaya hambat pada kereta setelah bergerak lebih dari 40 detik!

4. Dua buah benda dengan massa yang sama yaitu 500 gram saling mendekat seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Kedua benda tersebut kemudian bertumbukan dan memiliki waktu kontak sekitar 50 mili-sekon.



Dari diagram di samping, tentukan:

- kecepatan kedua bola setelah tumbukan
 - gaya rata-rata antara dua benda saat bertumbukan.
 - energi yang hilang saat bertumbukan
5. Sebuah tongkat homogen bermassa 2 kg ditahan oleh dua buah tali seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut!



Dari sistem di atas, tentukan:

- momen titik pusat massa terhadap B,
- tegangan pada tali T_1 dan T_2 ,
- percepatan pusat massa dari tongkat apabila tali di titik B dipotong. Momen inersia tongkat terhadap titik tumpu A adalah $6,7 \text{ kgm}^2$.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 4

Fluida

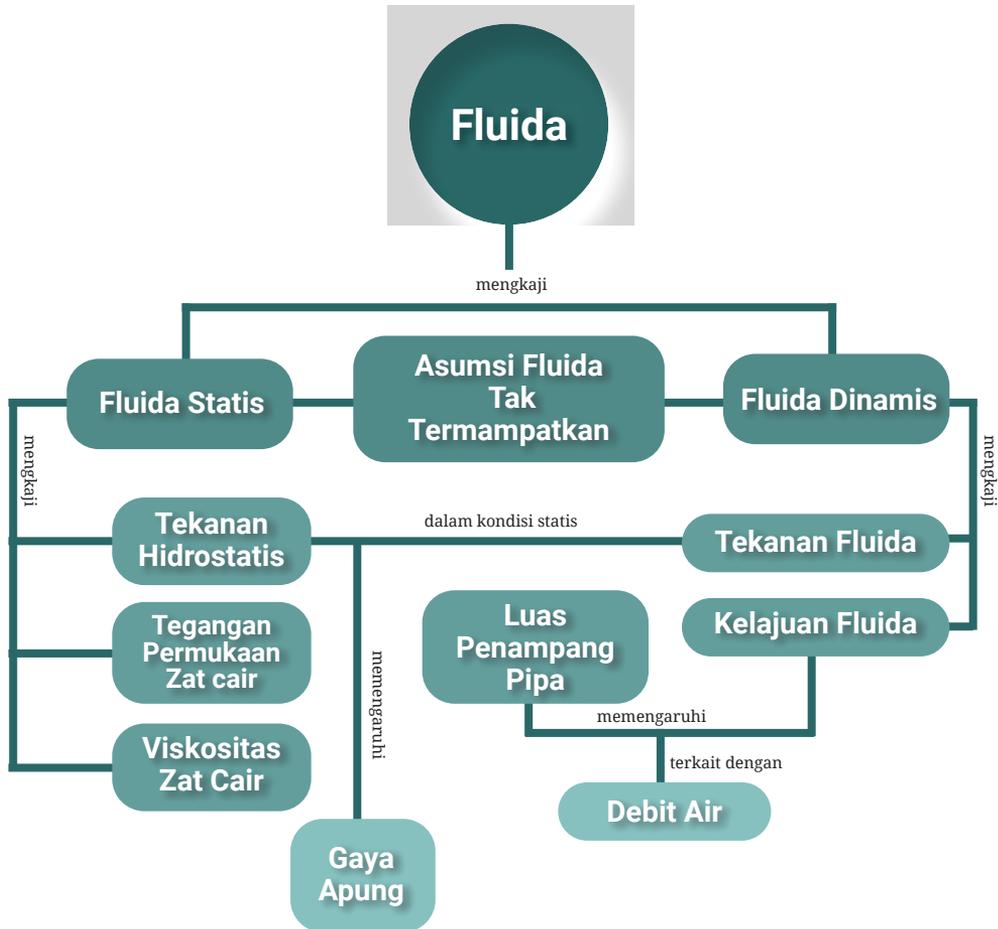
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat mengidentifikasi konsep tekanan hidrostatis pada ruang terbuka dan tertutup, menjelaskan aplikasi Prinsip Archimedes dalam kehidupan sehari-hari, mengidentifikasi tegangan zat cair dan viskositas zat cair dalam kehidupan sehari-hari dan menerapkan konsep kontinuitas dan Hukum Bernoulli dalam fluida dinamis pada kehidupan sehari-hari.

Kata-kata kunci:

- Fluida statis
- Tekanan hidrostatis
- Gaya apung
- Prinsip Archimedes
- Viskositas
- Tegangan permukaan

Peta Konsep



Apakah kalian pernah memerhatikan kapal yang terapung? Mungkin kalian berpikir sejenak, bagaimana kapal pesiar raksasa *symphony of the seas* yang memiliki massa rata-rata sekitar 230 ribu ton dapat terapung? Bagaimana balon udara dapat mengangkat beban sekitar 1 ton? Jika kalian mengamati cairan infus yang digunakan oleh pasien di rumah sakit, pernahkah terpikir oleh kalian, mengapa cairan tersebut digantung dengan posisi di atas kepala pasien? Lalu bagaimana pesawat terbang yang bergerak mendapatkan gaya angkatnya? Fenomena tersebut akan kita pelajari dalam bab fluida ini.

A. Fluida Statis

Kalian telah mengetahui bahwa wujud atau fase materi dapat digolongkan atas tiga jenis, yaitu padat, cair, dan gas. Zat cair dan gas dapat mengalir secara fisis sehingga disebut sebagai zat alir atau fluida. Fluida terbagi atas fluida statis, yaitu fluida diam dan fluida dinamis, yaitu fluida bergerak.

Salah satu aplikasi konsep fluida dalam dunia kedokteran adalah peletakan posisi cairan infus pasien (perhatikan Gambar 4.1). Jika posisi cairan lebih rendah dari tangan pasien, kemungkinan besar cairan darah akan mengalir masuk ke dalam kantong infus. Hal ini diakibatkan oleh tekanan cairan darah yang lebih besar dari tekanan cairan infus.



Gambar 4.1 Posisi infus pada pasien
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Dengan meletakkan posisi kantong infus lebih tinggi, tekanan cairan infus akan meningkat dibandingkan dengan tekanan darah. Salah satu konsep yang mendasar dalam pembahasan fisika mengenai fluida adalah konsep tekanan.

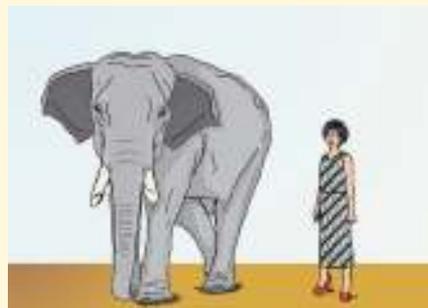


Ayo, Cermati!

Bandingkan dua kasus berikut ini.

1. Seekor gajah dengan massa 6 ton berdiri menopang tubuhnya dengan keempat kakinya. Luas rata-rata satu kaki gajah adalah 200 cm^2 .
2. Seorang karyawan dengan massa 50 kg berdiri di atas kedua kakinya yang memakai sepatu berhak tinggi. Luas hak sepatunya adalah 1 cm^2 . Anggaplah berat tubuh karyawan terkonsentrasi pada hak sepatunya.

Cobalah kalian membuat dugaan, manakah tekanan yang lebih besar bekerja pada tanah, tekanan oleh satu kaki gajah atau tekanan oleh salah satu kaki karyawan? Berikan alasan kalian!



Gambar 4.2 Seekor gajah dan seorang wanita
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Besaran tekanan merupakan gaya yang bekerja pada suatu luas. Secara umum tekanan dituliskan sebagai berikut.

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Dengan : p = tekanan (Nm^{-2}),
 F = gaya (N),
 A = luas permukaan (m^2).

Berdasarkan konsep tekanan, hitunglah tekanan yang diberikan oleh salah satu kaki gajah pada tanah dan tekanan yang diberikan oleh salah satu kaki karyawan pada tanah! Apakah hasil perhitungan sesuai dengan tebakan kalian? Jelaskan!



Ayo, Cek Pemahaman!

Letakkanlah sehelai koran di atas lantai yang datar sehingga seluruh permukaan koran menyentuh lantai tersebut. Usaha yang besar dibutuhkan untuk menarik koran secara cepat. Mengapa demikian?

1. Tekanan Hidrostatik

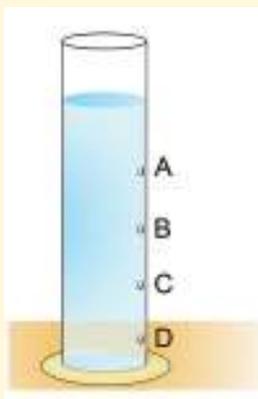
Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang ditimbulkan oleh zat cair baik pada dinding maupun dasar wadah. Kalian mungkin pernah memperhatikan dinding bendungan yang digunakan untuk menahan air. Dinding bendungan makin tebal dari atas ke dasar. Hal ini terkait dengan tekanan hidrostatik yang semakin besar.



Gambar 4.3 Bendungan

Sumber: Ciboulette/Pexels.com (2017) dan Walter Perathoner/Pixabay.com (2016)

Ayo, Berkolaborasi!



Gambar 4.4 Tabung yang dilubangi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Sebelum kalian belajar lebih lanjut mengenai tekanan hidrostatis, cobalah berikan prediksi untuk kasus berikut. Ketika pada botol berisi air dibuat beberapa lubang (lubang A, B, C, dan D) dengan posisi vertikal yang berbeda, maka tekanan air yang menyembur keluar pun berbeda.

Menurut kalian, bagaimana kecenderungan kekuatan semburan (tekanan air) seiring dengan bertambah jauhnya posisi lubang dari permukaan fluida?

Untuk memahami lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang memengaruhi tekanan fluida, lakukan aktivitas berikut ini.

Aktivitas 4.1

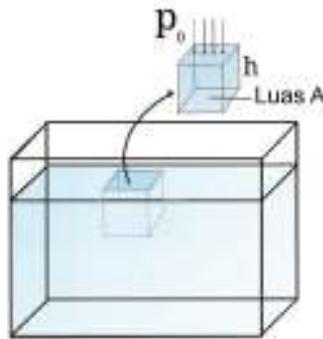
Lakukan langkah-langkah penyelidikan sebagai berikut.

1. Nyalakan *Laptop/PC/Handphone* dengan akses internet.

Masuk ke dalam tautan berikut:

https://phet.colorado.edu/sims/html/under-pressure/latest/under-pressure_en.html

2. Arahkan gambar alat ukur (di samping kanan atas) ke dalam air dengan posisi tertentu. Mulailah dengan membuka katup pipa agar zat cair mengalir ke dalam wadah. Ubahlah nilai massa jenis (*fluid density*) dan besaran lainnya.
3. Catatlah data hasil pengamatan ke dalam bentuk tabel. Analisis hasil data ini dan simpulkanlah faktor-faktor apa saja yang memengaruhi tekanan hidrostatis!
4. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.
 - a. Jelaskan hubungan antara massa jenis fluida dengan tekanan hidrostatis yang dihasilkan!
 - b. Jelaskan hubungan antara kedalaman fluida dengan tekanan hidrostatis yang dihasilkan!
5. Buatlah laporan aktivitas ini dengan menggunakan media yang tersedia (cetak atau digital), kemudian presentasikan!



Gambar 4.5 Penjelasan tekanan hidrostatik
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Mengapa tekanan fluida semakin bertambah seiring bertambahnya kedalaman zat tersebut? Penyebabnya adalah gravitasi. Berat fluida pada lapisan atas tertentu memberikan tekanan pada lapisan di bawahnya. Hal ini dapat dianalogikan seperti tumpukan barang padat secara vertikal. Semakin tinggi tumpukan semakin besar tekanan yang dialami oleh dasar tumpukan tersebut.

Gelembung dari dalam air akan membesar ketika naik ke atas. Mengapa demikian? Tekanan hidrostatik dari air yang menekan gelembung akan berkurang seiring naiknya gelembung tersebut. Akibatnya, ukuran gelembung akan membesar.

Bagaimana perumusan tekanan akibat berat fluida? Perhatikan Gambar 4.5. Tekanan pada dasar balok dengan tinggi balok (h) dan luas dasar balok (A) adalah:

$$p_{\text{total}} = p_0 + \text{Tekanan akibat berat fluida}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan akibat berat fluida} &= \frac{\text{Berat fluida}}{\text{Luas permukaan dasar kubus}} \\ &= \frac{mg}{A} = \frac{mgh}{Ah} = \frac{mgh}{V} \\ &= \rho gh \end{aligned}$$

Jadi tekanan hidrostatik pada kedalaman h dirumuskan oleh persamaan

$$p_{\text{total}} = p_0 + \rho gh \quad (4.2)$$

Dengan : p_0 = tekanan udara luar (N/m^2),

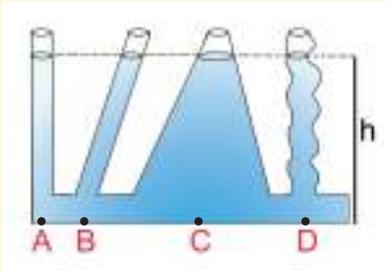
ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3),

g = percepatan gravitasi (m/s^2),

h = kedalaman suatu posisi dari permukaan air (m).



Ayo Cek Pemahaman!



Gambar 4.6 Tabung dengan bentuk berbeda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan Gambar 4.6. Titik manakah dari A, B, C, dan D yang mendapatkan tekanan hidrostatik terbesar?



Ayo Berpikir Kritis!

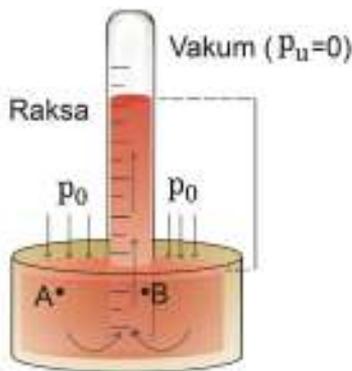
Bagaimana proses penyedotan air hingga masuk ke dalam mulut kita? Kesalahpahaman yang sering terjadi adalah anggapan bahwa naiknya cairan dalam sedotan karena kekuatan hisap dari mulut kita. Seandainya kalian diberikan sedotan dengan panjang 11 meter secara vertikal ke atas (dengan asumsi kalian mampu mengembungkan paru-paru dengan maksimal saat menyedot cairan di bawah), apakah kalian dapat minum cairan tersebut? Berikan penjelasan fisisnya!

Aktivitas 4.2

Siapkan dua buah gelas berisi air minum. Pada gelas pertama terdapat sebuah sedotan yang kondisinya baik sedangkan pada gelas kedua terdapat sedotan berlubang kecil pada sisinya. Salah seorang anggota kelompok minum air dengan sedotan dari gelas pertama dan gelas kedua. Manakah yang lebih mudah, minum dengan sedotan yg normal atau sedotan yang berlubang? Berikan alasan kalian!

Pengukuran Tekanan Gas

Tekanan hidrostatik diakibatkan oleh gaya gravitasi yang bekerja pada zat cair tersebut. Tekanan gas timbul akibat tumbukan antara partikel-partikel gas dengan dinding wadahnya. Bagaimana mengukur tekanan gas dalam ruang tertutup?



Gambar 4.7 Barometer Toricelli
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Salah satu aplikasi tekanan hidrostatis adalah penggunaan barometer untuk mengukur tekanan udara luar. Perhatikan Gambar 4.7 di samping!

Barometer sederhana terdiri atas suatu tabung dibalik seperti gambar dan dicelupkan ke dalam wadah berisi raksa dengan massa jenis $\rho_{\text{raksa}} = 13600 \text{ kg/m}^3$. Cairan raksa memasuki tabung hingga ketinggian h cm. Apa kaitan antara ketinggian h dengan tekanan udara luar?

Karena cairan raksa berada dalam keadaan statis maka tekanan pada permukaan raksa ($h=0$) yakni pada titik A (tekanan udara luar p_0) dan tekanan pada titik B (tekanan cairan raksa dengan ketinggian h di dalam tabung) bernilai sama.

$$p_A = p_B \quad (4.3)$$

Karena p_u bernilai nol (diusahakan vakum), maka persamaan ini menjadi:

$$p_0 = \rho gh$$

Jika cairan yang digunakan adalah raksa ($\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$) dan barometer berada di sekitar permukaan laut, maka didapatkan ketinggian cairan sekitar 76 cm. Jadi,

$$p_0 = 13600 \text{ Kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,76 \text{ m}$$

$$p_0 \approx 1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ atau } 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Nilai tersebut merupakan nilai tekanan udara luar rata-rata pada ketinggian sekitar permukaan laut, yakni $1,01 \times 10^5$ Pascal atau 76 cmHg (artinya tekanan udara yang terukur setara dengan tekanan cairan Hg yang ketinggiannya 76 cm).



Ayo, Cek Pemahaman!

Jika barometer sederhana menggunakan air, berapa ketinggian air di dalam tabung tersebut? ($\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$).

2. Prinsip Archimedes



Gambar 4.8 Kapal di permukaan laut
Sumber: Pixabay/Pexels.com (2017)

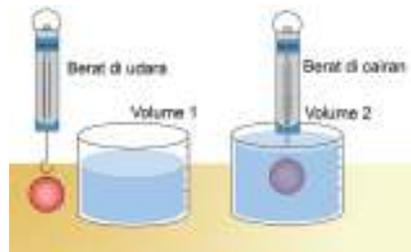
Bagaimana kapal yang berat dapat mengapung di atas air? Lakukan dua aktivitas berikut untuk memahami konsep fisika yang mendasari kapal terapung.

Aktivitas 4.3

Untuk melakukan aktivitas ini sediakan neraca pegas, gelas ukur, beban logam, pipet kecil, plastisin, air, alkohol, minyak kelapa, gelas piala, dan bola plastik yang agak kaku.

Aktivitas 1:

1. Ukur berat logam di udara (W_u), berat logam dalam air (W_a), dan ukur volume benda (V_b) dan catat datanya.
2. Amati volume air sebelum dan sesudah benda dimasukkan ke dalam air.
3. Lakukan analisis data, kemudian jawablah pertanyaan berikut:
 - a. Berapa besar gaya apung yang dialami oleh benda di dalam air jika besar gaya apung merupakan selisih antara berat benda di udara dan berat benda di dalam air?
 - b. Berapa volume air yang dipindahkan saat benda berada di dalam air?
 - c. Jika massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , berapa berat air yang dipindahkan?
4. Ulangi percobaan tersebut dengan menggunakan benda lainnya.
5. Kesimpulan apa yang diperoleh dari seluruh hasil percobaan ini?



Gambar 4.9 Percobaan Prinsip Archimedes
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Aktivitas 2:

1. Ambil sebuah benda dan ukur beratnya di udara, di air dan di minyak kelapa. Berapa besar gaya apung benda di udara, air dan minyak kelapa?

- Ambil besi dan plastisin yang massanya sama, kemudian ukur beratnya di udara dan di dalam air. Apakah keduanya mempunyai gaya apung yang sama?
- Ambil besi dan plastisin yang volumenya sama, kemudian ukur beratnya di udara dan di dalam air. Apakah keduanya mempunyai gaya apung yang sama?
- Berdasarkan hasil percobaan (1, 2, 3) kesimpulan apakah yang diperoleh?

Ketika benda padat tercelup dalam suatu cairan, maka ada tiga kemungkinan yang terjadi, yaitu:

- Benda terapung di permukaan air

Gaya berat benda sama dengan gaya ke atas yang diberikan zat cair pada benda tersebut (gaya apung).

$$F_A = w$$

Syarat terjadinya hal ini adalah

$$\rho_{\text{cairan}} > \rho_{\text{rata-rata benda}}$$

- Benda melayang dalam air

Gaya berat benda sama besar dengan gaya ke atas yang diberikan zat cair pada benda tersebut (gaya apung).

$$F_A = w$$

Syarat terjadinya hal ini adalah

$$\rho_{\text{cairan}} = \rho_{\text{rata-rata benda}}$$

- Benda tenggelam dalam air

Gaya berat lebih besar daripada gaya ke atas yang diberikan zat cair pada benda tersebut (gaya apung).

$$F_A < w$$

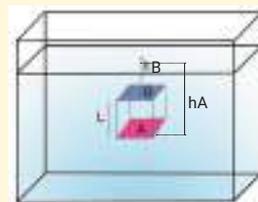
Syarat terjadinya hal ini adalah

$$\rho_{\text{cairan}} < \rho_{\text{rata-rata benda}}$$



Ayo, Amati!

Coba kalian perhatikan Gambar 4.10. Kubus dengan panjang sisi L dalam kondisi melayang di dalam air dengan permukaan A dan B berjarak h_A dan h_B dari permukaan cairan.



Gambar 4.10 Kubus di dalam wadah
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Hitung tekanan zat cair pada permukaan atas kubus (permukaan B) dan pada permukaan bawah balok (permukaan A)! Bagaimana dengan tekanan pada sisi depan, belakang, samping kiri dan samping kanan?

Gaya ke atas

Mengacu pada Gambar 4.10 perbedaan tekanan hidrostatik pada permukaan atas balok (B) dan permukaan bawah balok (A) menimbulkan gaya total pada benda secara vertikal. Tekanan pada permukaan depan dan belakang tidak berpengaruh karena gaya keduanya sama besar dengan arah yang berlawanan. Begitu juga dengan tekanan pada permukaan samping kiri dan kanan akan saling menghilangkan.

Gaya total dari zat cair terhadap balok adalah:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= F_{\text{permukaan A}} - F_{\text{permukaan B}} \\ \Sigma F_y &= (\rho g h_A) A - (\rho g h_B) A \\ \Sigma F_y &= F_a = \rho g (V_{\text{benda tercelup}})\end{aligned}$$

Perhatikan bahwa V_{bt} merupakan volume zat cair V_f yang dipindahkan atau tumpah ketika benda padat dimasukkan ke dalam zat cair tersebut. Jadi,

$$\begin{aligned}F_a &= \rho g (V_f) \\ F_a &= m_f g\end{aligned}$$

Prinsip Archimedes menyatakan bahwa “*gaya ke atas yang dialami oleh suatu benda sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut*”.



Ayo, Berpikir Kritis!



Gambar 4.11 Wadah berisi cairan dan es batu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan Gambar 4.11 berikut. Suatu gelas berisi penuh air dengan seongkah es terapung. Jika gelas berisi air dan es ini diletakkan di meja pada suhu ruangan, es tersebut akan mencair. Jika es mencair seluruhnya, apakah air kan tumpah membasahi meja? Jelaskan.



Ayo, Cek Pemahaman!

Kerjakan soal-soal berikut.

1. Kayu berbentuk kubus dengan massa jenis 500 kg/m^3 dimasukkan ke dalam wadah berisikan air ($\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$). Apa yang akan terjadi dengan kubus kayu?
2. Kayu berbentuk kubus dengan massa jenis 700 kg/m^3 dimasukkan ke dalam wadah berisikan air ($\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$). Tentukan persentase volume kayu yang tercelup di dalam air!

3. Tegangan Permukaan

Lakukan kegiatan di bawah ini untuk menyelidiki apakah prinsip Archimedes juga berlaku dalam fenomena ini.



Ayo, Berkolaborasi!

Sediakan sebuah jarum/silet/koin dan letakkan di atas selembar tissue yang tipis. Kemudian tissue dan logam tersebut diletakkan di atas permukaan air. Perhatikan apa yang terjadi ketika tissue itu mulai menyerap air dan tenggelam ke dalam air. Apakah hal ini menunjukkan aplikasi prinsip Archimedes? Jelaskan!

Jika jarum/silet/koin saja dimasukkan ke dalam air maka pasti akan tenggelam. Jadi konsep apakah yang mendasari fenomena tersebut? Amati lagi fenomena tersebut dalam Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Apakah ada bagian yang tercelup dalam air?

Konsep tegangan permukaan air yang menopang klip kertas dan laba-laba air di atas permukaan air, bukan prinsip Archimedes.



Gambar 4.12 Paper clip di permukaan air
Sumber: Kemendikbudristek/Alvius Tinambunan (2022)



Gambar 4.13 Laba-laba air di atas permukaan air
sumber: Tanguy Sauvvin/Pexels.com (2016)



Gambar 4.14 Ilustrasi gaya Kohesi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Secara mikroskopik, air di dalam wadah mengalami gaya tarik-menarik antar molekul sejenis (kohesi). Molekul yang berada di bawah permukaan air mengalami gaya kohesi dengan molekul-molekul sekitarnya dari segala arah sehingga molekul tersebut berada dalam kesetimbangan (resultan gaya adalah nol).

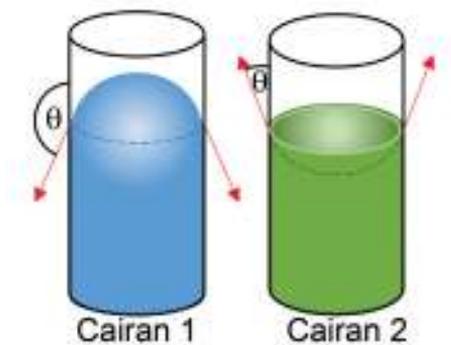
Molekul pada permukaan hanya mengalami gaya kohesi dari arah samping dan bawah saja. Akibatnya resultan gaya pada molekul permukaan air tidaklah nol sehingga timbul tegangan pada permukaan air seperti selaput yang menegang. Begitu juga pada selaput sabun seperti gambar 4.14 yang mengalami tegangan pada permukaannya.

Aktivitas 4.4

Untuk mendapatkan pemahaman lebih lanjut mengenai gaya tegangan permukaan zat cair, silahkan kalian melakukan aktivitas berikut. Lakukanlah langkah-langkah berikut ini.

1. Siapkan larutan sabun dan seutas kawat panjang.
2. Ambilah kawat panjang tersebut dan buatlah bentuk lingkaran dengan diameter sekitar 5 cm.
3. Ikatkan benang sepanjang diameter kawat tersebut.
4. Celupkan kawat berbentuk lingkaran ini ke dalam larutan sabun sehingga lapisan sabun terbentang pada kawat tersebut. Benang tersebut membagi lapisan sabun menjadi dua bagian.
5. Selanjutnya tusuklah salah satu bagian dari lapisan sabun tersebut.
6. Amatilah apa yang terjadi dan berikan penjelasan fisisnya!

Apa yang terjadi jika air dan raksa dimasukkan ke dalam masing-masing tabung yang penampangnya kecil? Permukaan air akan membentuk meniskus cekung sedangkan permukaan air raksa akan membentuk meniskus cembung.



Gambar 4.15 Meniskus cembung dan cekung
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan bahwa pada cairan 2 (air), sudut kontakannya merupakan sudut lancip ($\theta < 90^\circ$) sedangkan pada cairan 1 (air raksa), sudut kontakannya merupakan sudut tumpul ($\theta > 90^\circ$). Sudut kontak adalah sudut antara garis vertikal dengan permukaan zat cair.



Ayo, Berdiskusi!

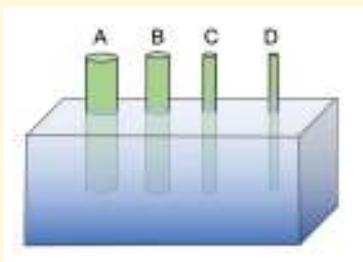
Diskusikan penyebab terjadinya perbedaan bentuk permukaan pada zat cair 1 dan zat cair 2 dalam Gambar 4.15!



Ayo, Cermati!

Kapilaritas merupakan suatu fenomena naik atau turunnya suatu cairan dalam pipa sempit atau pipa kapiler. Air akan naik sedangkan cairan raksa akan turun dalam pipa kapiler.

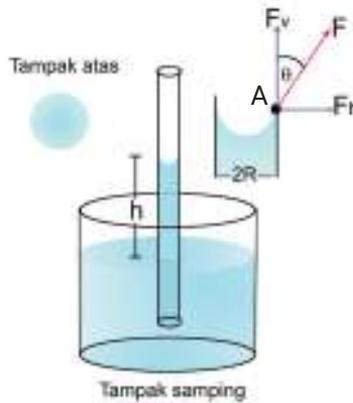
Perhatikan Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.16 Prinsip kapilaritas
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Air pada pipa manakah yang mengalami kenaikan terbesar? Apa yang menentukan kenaikan zat cair dalam pipa kapiler?

Bagaimana menurunkan rumus kapilaritas? Perhatikan Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Penurunan persamaan kapilaritas
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Air mengalami kenaikan setinggi h dalam pipa kapiler yang berdiameter $2R$. Tegangan permukaan bekerja pada sekeliling tabung (keliling = $2\pi R$) menarik dinding wadah pada titik A ke arah kiri bawah. Dinding wadah memberikan reaksi sehingga menarik air ke kanan atas dengan gaya yang sama, yaitu F . Besar gaya F ini adalah $\gamma 2\pi R$.

Kolom air setinggi h berada dalam kondisi kesetimbangan sehingga:

$$\sum F_y = 0$$

Berat air yang naik = Gaya oleh tegangan permukaan

$$m_{\text{fluida yang naik}} g = \gamma 2\pi R \cos \theta$$

$$\rho_f (\pi^2 R h) g = \gamma 2\pi R \cos \theta$$

sehingga tinggi kenaikan zat cair adalah

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho_f g R} \quad (4.5)$$

Dengan : γ = tegangan permukaan (N/m),
 h = kenaikan zat cair dalam pipa kapiler (m),
 θ = sudut kontak (derajat),
 R = jari-jari pipa kapiler (m),
 g = percepatan gravitasi (m/s^2) dan
 ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)



Ayo, Cek Pemahaman!

Kerjakan soal-soal berikut (boleh berdiskusi dengan teman sekelompok kalian)

1. Suatu kawat berbentuk lingkaran dengan diameter 7 cm dimasukkan ke dalam larutan sabun yang tegangan permukaannya $\gamma = 0,024 \text{ N/m}$. Ketika kawat tersebut dikeluarkan dari larutan sabun maka kawat tersebut membentuk lapisan sabun (selaput sabun ini ada 2 lapis, yaitu depan dan belakang). Tentukan gaya tegangan yang bekerja pada kawat!
2. Sebuah pipa kapiler mempunyai jari-jari 0,25 mm. Jika sebagian pipa ini dicelupkan ke dalam air yang tegangan permukaannya $\gamma = 0,072 \text{ N/m}$, kenaikan air pada pipa kapiler adalah 1,5 cm, berapa sudut kontak?
3. Tentukan massa maksimum sebuah jarum yang panjangnya 1 cm agar tidak tenggelam dalam bensin yang tegangan permukaannya $\gamma = 0,029 \text{ N/m}$!

4. Viskositas



Gambar 4.18 Madu yang mengalir
Sumber: Roman Odintsov/Pexels.com (2021)

Apa yang membedakan cairan madu dengan air? Bayangkan kalian celupkan satu tangan ke dalam madu dan satu lagi ke dalam air. Gerakan tangan mana yang lebih bebas, apakah di dalam madu atau di dalam air?

Viskositas atau kekentalan merupakan ukuran gesekan dalam fluida. Gerakan fluida yang kental melambat karena energi kinetik berkurang menjadi panas. Itu sebabnya, suatu fluida yang kental ketika diaduk akan terasa hangat.

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa gaya viskositas:

- a. sebanding dengan kelajuan fluida yang bergerak,
- b. sebanding dengan luasan fluida,
- c. berbanding terbalik dengan jarak antar lapisan.

Maka gaya viskositas dapat dituliskan

$$F = \eta \frac{Av}{h} \quad (4.6)$$

Dengan : F = gaya viskositas (N),
 η = koefisien viskositas (PI atau Ns/m²),
 A = luas (m²),
 v = kelajuan fluida (m/s) dan
 h = jarak antar lapisan (m).

Pada tahun 1845, **George Stokes** menunjukkan bahwa bola berjari-jari R yang bergerak dengan kelajuan v dalam fluida homogen mengalami gaya gesek sebesar:

$$F = 6\pi R\eta v \quad (4.7)$$



Ayo, Cek Pemahaman!

Hitunglah kelajuan terminal dari tetesan air yang berjari-jari 0,1 mm yang mengalami gerak jatuh bebas di udara dengan koefisien viskositas udara $\eta = 0,00018 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ (diketahui massa jenis udara $\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ dan massa jenis air $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)! Perhatikan bahwa dalam perhitungan kelajuan terminal ini juga mempertimbangkan gaya ke atas (prinsip Archimedes)

B. Fluida Dinamis

Pada bagian pertama, kalian sudah memahami sifat-sifat fluida dalam kondisi statis. Lalu bagaimana sifat-sifat fisis fluida dalam kondisi dinamis?

1. Fluida Ideal

Gerakan fluida merupakan fenomena yang kompleks. Penyederhanaan dalam mempelajari dinamika fluida dilakukan dengan anggapan bahwa fluida bersifat ideal. Beberapa sifat fluida ideal adalah:

- Inkompresibel artinya volume fluida dianggap tidak berubah ketika mengalami tekanan. Karena volume konstan, massa jenis fluida tersebut juga konstan.
- Irotasional artinya aliran fluida tidak memutar suatu objek yang tercelup dalam fluida tersebut.

- c. Aliran bersifat tunak artinya kelajuan fluida pada suatu titik tertentu tidak berubah terhadap waktu. Aliran fluida yang mengalir dengan kelajuan rendah dapat dianggap sebagai aliran tunak. Semakin tinggi kelajuannya maka semakin terjadi gejala dalam aliran tersebut.
- d. Viskositas dianggap bernilai nol, artinya fluida tidak mengalami hambatan ketika sedang mengalir.



Ayo, Berdiskusi!

Apa akibat dari asumsi fluida ideal dalam dinamika fluida ini? Jawaban akan dipertajam pada sub bagian selanjutnya, yaitu asas kontinuitas.

2. Asas Kontinuitas

Asas kontinuitas menyatakan hubungan antara kelajuan fluida di suatu lokasi dengan lokasi lainnya. Ketika fluida mengalir dalam suatu pipa, kelajuan fluida tersebut dapat berubah akibat perubahan ukuran pipa yang dilalui.

Aktivitas 4.5

Cobalah kalian melakukan aktivitas berikut untuk memahami hubungan kelajuan fluida pada posisi tertentu.

1. Ambil selang pipa karet untuk dipasangkan pada keran air. Usahakan ujung pipa terpasang dengan baik sehingga air yang mengalir dari keran tidak mengalami kebocoran.
2. Bukalah katup keran air agar air mengalir melalui pipa.
3. Perhatikan kelajuan air yang keluar dari ujung pipa.
4. Sekarang cobalah kalian untuk menekan ujung pipa tersebut dengan jari kalian (kecilkan ukuran luas penampangnya). Amati apa yang terjadi pada kelajuan air yang keluar dari ujung pipa!
5. Diskusikan dan jelaskan secara fisis hasil pengamatan kalian!



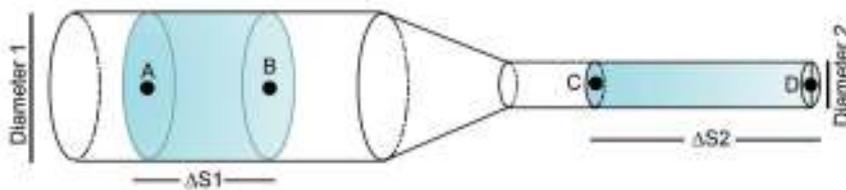
Ayo, Cermati!



Aliran air keran makin mengecil ketika posisinya makin ke bawah. Mengapa demikian?

Gambar 4.19 Keran air
Sumber: Kaboompics.com/Pexels.com (2015)

Aliran fluida dalam pipa dipengaruhi oleh ukuran luas penampang pipa tersebut. Hal ini terkait erat dengan sifat fluida ideal yaitu inkompresibel. Perhatikan Gambar 4.20!



Gambar 4.20 Prinsip Bernoulli pada fluida
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Waktu yang diperlukan oleh fluida untuk mengalir dari A ke B sama dengan waktu yang diperlukan untuk mengalir dari C ke D. Berdasarkan sifat inkompresibel maka volume air yang melewati A ke B sama dengan volume air dari C ke D. Artinya volume dalam satuan waktu di posisi mana pun dalam pipa tersebut akan selalu bernilai tetap. Hal ini dinyatakan dalam debit (Q), yaitu

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{waktu}} \quad (4.8)$$

Perhatikan bahwa debit air dari A ke B haruslah sama dengan debit air dari C ke D sehingga

$$\frac{V_{AB}}{t} = \frac{V_{CD}}{t}$$

Jika secara umum pipa merupakan suatu prisma (dalam hal ini tabung termasuk ke dalam bangun prisma), maka

volume = luas penampang \times tinggi prisma

$$V = A \Delta S$$

$$\frac{V}{t} = A \frac{S}{t}$$

$$Q = A v \quad (4.9)$$

Dengan : Q = debit air (m^3/s),
 A = luas penampang (m^2)
 v = kelajuan fluida (m/s)

Karena debit harus tetap maka di dua titik berbeda, yaitu titik 1 dan 2 berlaku

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4.10)$$

Persamaan 4.10 disebut sebagai persamaan kontinuitas.



Ayo, Berdiskusi!

Berdasarkan asas kontinuitas, luas penampang aliran A_2 akan lebih kecil dibandingkan dengan luas penampang A_1 . Jika $h = 5 \text{ cm}$ dengan $A_1 = 2 \text{ cm}^2$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan luas penampang A_2 !

(Gunakan saja aproksimasi: $g = 10 \text{ m/s}^2$)



Gambar 4.21 Prinsip Bernoulli pada keran air
 sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Aktivitas 4.6

Cobalah kalian melakukan aktivitas berikut untuk memahami relasi kelajuan fluida berdasarkan asas kontinuitas.

Lakukan percobaan dengan menggunakan simulasi PhET secara berkelompok yang di unggah dari tautan:

https://phet.colorado.edu/sims/fluid-pressure-and-flow/fluid-pressure-and-flow_in.jar.

1. Buka Aplikasi PhET yang sudah terunduh pada komputer atau laptop.
2. Pilih aliran atau *flow* pada Aplikasi PhET.
3. Matikan titik zat cair dan atur laju menjadi gerak lambat.
4. Tekan tombol merah besar dan amati yang terjadi.
5. Gunakan fluksmeter untuk mengukur luas penampang pipa dan gunakan *tools* kelajuan atau speed untuk mengukur kelajuan fluida pada pipa di tiap-tiap ujung pipa.

- Catat hasil pengukuran luas penampang pipa dan kecepatannya kemudian masukan ke dalam tabel hasil pengamatan.
- Ulangi langkah 4 dan 5 dengan mengecilkan pipa di sebelah kanan dan sebelah kiri pipa dengan diameter tetap (Ukuran pipa dapat diubah dengan menarik pegangan pipa pada gambar ke bawah atau ke atas).
- Ulangi langkah 4 dan 5 dengan mengecilkan pipa sebelah kanan dan pipa sebelah kiri dengan diameter awal.
- Hitung besar laju aliran dan bandingkan hasilnya.

Tabel 4.1 Data hasil pengamatan

No	Luas penampang pipa kiri (m ²)	Kecepatan fluida pada pipa kiri	Luas penampang pipa kanan (m ²)	Kecepatan fluida pada pipa kanan	Debit air (m ³ /s)	Bentuk fluida pada kolom	Deskripsi
1.							
2.							
3.							
4.							

Pertanyaan

- Bagaimanakah besar kelajuan pada pipa yang diubah luas penampangnya?
- Bagaimanakah besar laju aliran volume atau debit pada tabel di atas?
- Dari hasil percobaan di atas, mengapa pemasangan pipa PDAM ke rumah-rumah memiliki diameter lebih kecil dari pipa induk PDAM? Jelaskan!



Ayo, Cek Pemahaman!

- Suatu pipa berdiameter 10 mm dialiri air selama 1 menit dan banyaknya air yang mengalir adalah 400 cm³. Hitunglah kelajuan rata-rata aliran!
- Sebuah pipa yang ujungnya menyempit dengan diameter pipa besar adalah 10 cm dan diameter pipa kecil adalah 5 cm. Jika kelajuan di bagian pipa besar adalah 50 cm/s, tentukan debit air dan kelajuan aliran pada pipa kecil!
- Banyak air yang mengalir melalui pipa berdiameter 2 cm adalah 400 cm³ selama 10 detik. Tentukan debit aliran air serta kelajuan air tersebut ketika melewati pipa yang diameternya 0,5 cm!

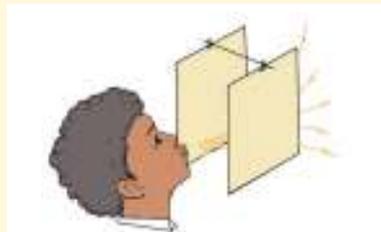
3. Prinsip Bernoulli

Saat kalian menyiram tanaman dengan selang air, biasanya ujung selang kalian tekan agar aliran air yang keluar dari selang dapat memancar lebih jauh. Hal ini disebabkan karena luas permukaan selang tempat air keluar semakin kecil maka kecepatan air yang keluar dari selang akan lebih besar. Ini menunjukkan ada tekanan dari fluida tersebut. Jadi fluida yang bergerak menimbulkan tekanan. Bagaimana hubungan antara tekanan dan kelajuan fluida tersebut?



Ayo, Berkolaborasi!

Ambil dua helai kertas dan peganglah kedua helai kertas tersebut sehingga berada dalam posisi sejajar. Tiuplah udara menuju celah di antara dua kertas seperti dalam Gambar 4.22.



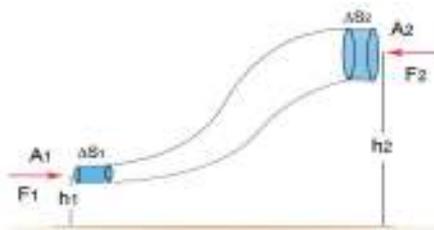
Gambar 4.22 Dua kertas yang ditiup
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikanlah apa yang terjadi pada kedua kertas tersebut! Coba beri simpulan apa kaitan antara kelajuan fluida dengan tekanan udara yang dihasilkan!

a. Persamaan Bernoulli

Hubungan antara tekanan fluida dengan kelajuannya dapat diturunkan melalui prinsip usaha-energi. Perhatikanlah Gambar 4.23 di samping ini.

Fluida ideal dengan massa jenis konstan ρ mengalir melalui pipa dengan luas penampang A_1 memasuki pipa dengan luas penampang A_2 , posisi penampang A_1 adalah h_1 dari acuan tanah dan posisi penampang A_2 adalah h_2 dari tanah. Perhatikan potongan fluida yang mengalir dari ujung kiri mengalami gaya tekan F_1 lalu potongan fluida tersebut bergerak ke ujung kanan mengalami gaya tekan F_2 . Anggaplah setelah Δt potongan fluida di ujung kiri telah menempuh Δs_1 . Usaha yang dilakukan oleh F_1 adalah:



Gambar 4.23 Penurunan persamaan bernoulli
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

$$W_1 = F_1 \Delta s_1 = p_1 A_1 v_1 \Delta t$$

Sedangkan usaha yang dialami pada potongan fluida di ujung kanan adalah:

$$W_2 = -F_2 \Delta s_2 = -p_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Jadi usaha totalnya adalah:

$$W = p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Dalam asas kontinuitas $A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q$ dengan $Q \Delta t = V$ maka

$$W = p_1 Q \Delta t - p_2 Q \Delta t$$

$$W = p_1 V - p_2 V$$

$$W = (p_1 - p_2)V$$

Lalu selama mengalir, potongan fluida mengalami gaya gravitasi sehingga usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi adalah:

$$W_g = -\Delta E_p = -(mgh_2 - mgh_1) = -\rho Vg (h_2 - h_1)$$

Prinsip usaha-energi menyatakan usaha total sama dengan perubahan energi kinetik:

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

$$(p_1 - p_2) V - \rho Vg (h_2 - h_1) = \frac{1}{2}(\rho V)v_2^2 - \frac{1}{2}(\rho V)v_1^2$$

Seluruh persamaan dikalikan $1/V$, maka didapatkan

$$(p_1 - p_2) - \rho g (h_2 - h_1) = \frac{1}{2}(\rho)v_2^2 - \frac{1}{2}(\rho)v_1^2$$

Jadi persamaan Bernoulli adalah:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Persamaan ini diturunkan oleh Daniel Bernoulli dan sering juga dituliskan dalam bentuk:

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Konstan} \quad (4.11)$$

Dengan :

- p = tekanan fluida (N/m^2),
- g = percepatan gravitasi (m/s^2),
- v = kelajuan fluida (m/s),
- h = posisi fluida (m) dan
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

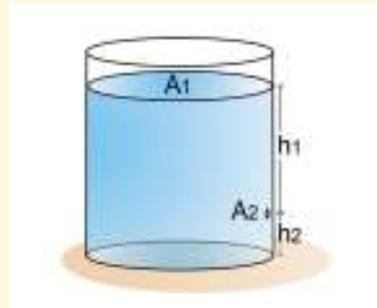


Ayo, Cek Pemahaman!

Kerjakan soal-soal latihan berikut ini.

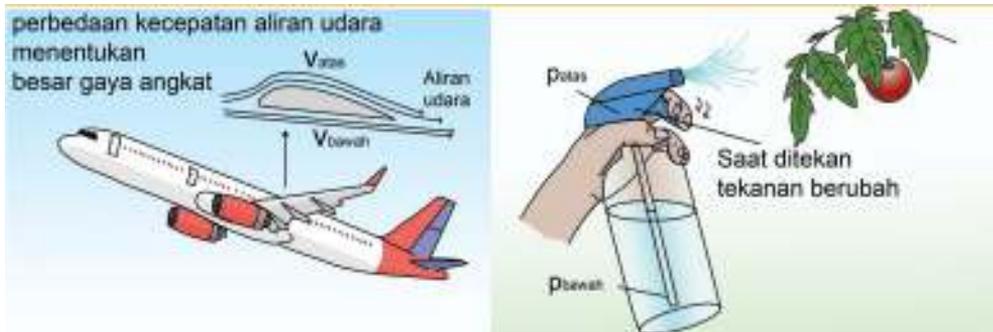
1. Tentukan debit air yang keluar melalui lubang $0,1 \text{ cm}^2$ yang terletak 3 m dibawah permukaan air dalam bak besar! (anggaplah ukuran diameter lubang relatif sangat kecil dibandingkan dengan ukuran diameter bak besar).
2. Wadah terbuka berisi air setinggi 50 cm dari dasar wadah dengan lubang pada posisi seperti Gambar 4.24.

Jika posisi lubang dari tanah $h_2 = 20 \text{ cm}$ dan dari permukaan air $h_1 = 30 \text{ cm}$, dengan luas penampang wadah $A_1 = 300 \text{ cm}^2$ dan luas penampang lubang $A_2 = 3 \text{ cm}^2$, tentukan kelajuan sembur air melalui lubang A_2 !



Gambar 4.24 Wadah yang dilubangi pada ketinggian h_2
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

4. Penerapan Prinsip Bernoulli



Gambar 4.25 Prinsip Bernoulli pada pesawat dan *sprayer*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Banyak fenomena sehari-hari serta penerapan teknologi berdasarkan prinsip Bernoulli. Mulai dari gaya angkat pada pesawat terbang sampai semprotan obat nyamuk.



Ayo, Berdiskusi!

Coba kalian diskusikan fenomena fisis berikut dan berikan penjelasan fisis yang mendasari fenomena tersebut!

1. Ketika dua perahu motor bergerak dengan kelajuan tinggi dengan posisi sejajar, apakah kedua perahu akan saling mendekat atau saling menjauh? Jelaskan!
2. Pada kamar mandi yang menggunakan *shower* dan tirai plastik, ketika *shower* memancarkan air dengan deras maka tirai kamar mandi akan bergerak. Apakah tirai tersebut akan tertarik ke dalam atau terdorong ke luar kamar mandi? Jelaskan!
3. Angin topan besar dapat mengangkat atap rumah. Jelaskan bagaimana hal tersebut dapat terjadi!



Intisari

Fluida merupakan zat yang dapat mengalir. Berbeda dengan zat padat, fluida memiliki sifat-sifat fisis yang unik. Fluida dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu fluida statis dan fluida dinamis.

Prinsip-prinsip fisika yang penting dalam fluida statis adalah tekanan hidrostatis, prinsip Archimedes, tegangan permukaan, dan viskositas. Sedangkan prinsip-prinsip fisika yang penting dalam fluida dinamis adalah asas kontinuitas dan prinsip Bernoulli.



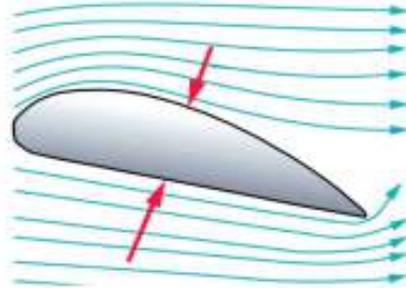
Refleksi

1. Apakah kalian sudah memahami sifat-sifat fisis pada fluida baik fluida statis maupun fluida dinamis dalam kehidupan sehari-hari?
2. Apakah kalian mampu menerapkan prinsip-prinsip fisika pada fluida dalam kehidupan sehari-hari?



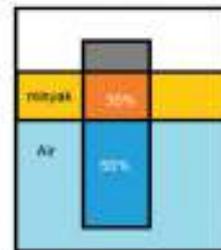
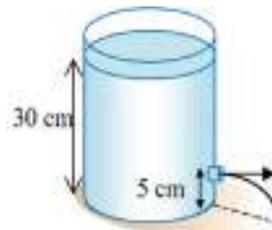
Asesmen

1. Jika Barometer (pipa toricelli) dibawa ke suatu tempat yang memiliki tekanan udara luar 0,8 atm. Berapa kenaikan tinggi raksa ($\rho=13.600 \text{ kg/m}^3$) pada barometer tersebut?
2. Sebuah pesawat terbang dengan massa total 5000 kg bergerak dengan percepatan arah horizontal sebesar 2 m/s^2 . Pesawat tersebut mempunyai sayap dengan luas penampang total 60 m^2 , apabila kecepatan aliran udara di bagian atas sayap adalah 250 m/s dan kecepatan aliran udara di bagian bawah sayap adalah 200 m/s dengan massa jenis udara adalah $1,2 \text{ kg/m}^3$. Tentukan resultan gaya yang dialami pesawat tersebut!
3. Wadah terbuka berisi air ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) seperti gambar di bawah ini.

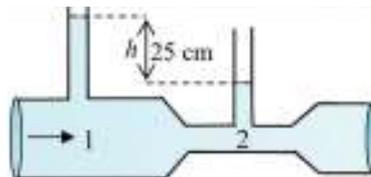


Tentukanlah :

- a. tekanan hidrostatik yang di alami oleh lubang tersebut,
 - b. kecepatan cairan saat keluar dari lubang,
 - c. jarak terjauh yang ditempuh cairan yang keluar dari lubang.
4. Sebuah wadah berisi cairan minyak dan air, sebuah balok di masukkan ke dalam wadah sehingga balok 50% berada dalam air, 30% berada di dalam minyak dan sisanya berada di atas lapisan minyak. Apabila massa jenis minyak adalah 8 g/cm^3 dan air adalah 1 g/cm^3 . Tentukan massa jenis dari balok tersebut!



5. Venturimeter adalah alat yang digunakan untuk menghitung laju aliran suatu fluida. Apabila suatu cairan mengalir pada suatu pipa venturimeter seperti yang ditunjukkan pada gambar di samping. jika luas penampang A_1 adalah 6 cm^2 dan A_2 adalah 4 cm^2 , berapakah kecepatan aliran cairan yang memasuki pipa venturimeter?



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 5

Gelombang, Bunyi dan Cahaya

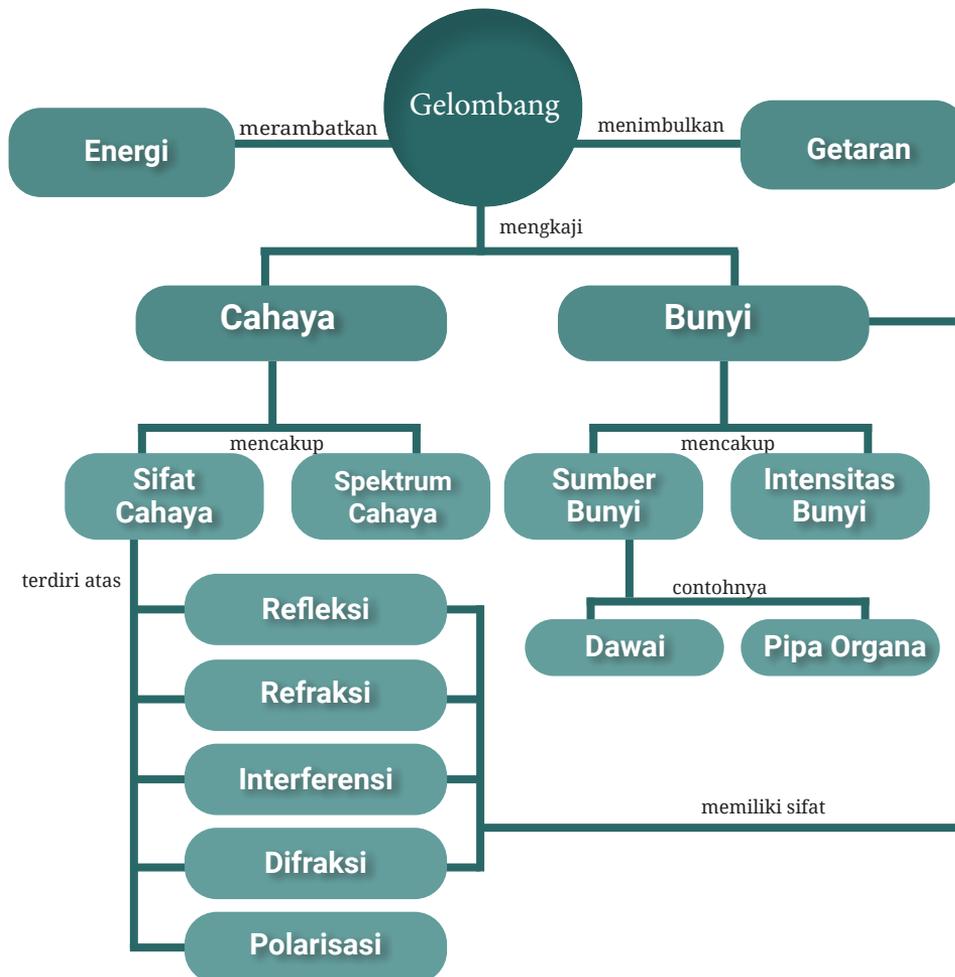
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menentukan persamaan cepat rambat gelombang bunyi, menerapkan persamaan efek Doppler dalam pemecahan masalah, menentukan hubungan antara besaran yang memengaruhi frekuensi gelombang pada dawai dan pipa organa, menentukan jumlah layangan bunyi tiap detik, menentukan intensitas bunyi dan taraf intensitas bunyi, menerapkan konsep dan sifat gelombang cahaya dalam pemecahan masalah dan menerapkan konsep gelombang bunyi dan gelombang cahaya pada teknologi.

Kata-kata kunci:

- Gelombang
- Beda fase
- Bunyi
- Cahaya
- Intensitas
- Sifat gelombang
- Efek Doppler
- Difraksi
- Interferensi

Peta Konsep



Pada tanggal 26 Desember 2004 terjadi gempa yang sangat besar di daerah Aceh. Gempa ini memicu gelombang tsunami yang besar dan menyapu pemukiman dan gedung menjadi rata dengan tanah. Gempa merupakan efek dari rambatan energi yang sangat kuat. Tahukah kalian bahwa gempa adalah salah satu fenomena gelombang? Pada bab ini kalian akan mempelajari pengaruh fenomena gelombang dalam kehidupan sehari-hari.



Gambar 5.1. Gelombang tsunami dan dampak gempa bumi
 Sumber: Елена Кузьмина/pexel (2021) dan Ray Bilcliff/pexel (2005)



Ayo, Berteknologi!

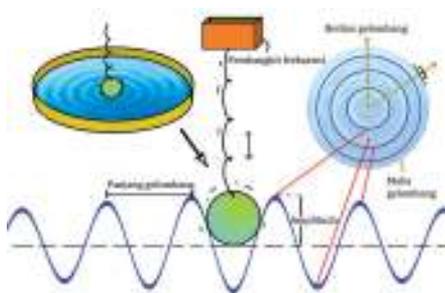
Carilah informasi mengenai hubungan antara gelombang, getaran, gempa dan tsunami. Sampaikan pengetahuanmu kepada teman-temanmu.

A. Gelombang

Pernahkah kalian melihat riakan di permukaan air, baik itu di sungai ataupun di kolam? Riakan yang kalian amati adalah fenomena yang kita sebut dengan gelombang. Fenomena gelombang sangat luas aplikasinya dan sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari seperti cahaya dan bunyi. Salah satu teknologi yang sering kita gunakan dan memanfaatkan sifat-sifat dari gelombang adalah internet. Internet memanfaatkan gelombang radio untuk menghantarkan informasi dalam bentuk digital.



Gambar 5.2. Pemanfaatan internet di era modern
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



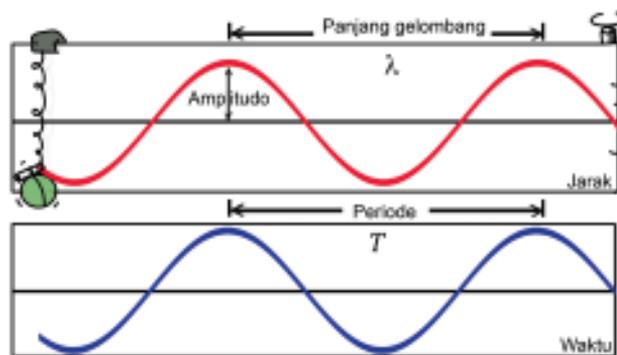
Gambar 5.3 Demonstrasi gelombang pada permukaan air
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Untuk memahami apa itu gelombang, perhatikan percobaan pada Gambar 5.3. Energi mekanik pada bandul akan diubah menjadi getaran pada permukaan air, kemudian getaran tersebut merambat dan membentuk gelombang. Secara sederhana, gelombang adalah gangguan yang menjalar. Gerak gelombang dapat

dipandang sebagai perpindahan energi dan momentum dari suatu tempat ke tempat lain tanpa mengikutsertakan perpindahan partikel atau medium.

Lingkaran-lingkaran yang terbentuk pada Gambar 5.3 disebut muka gelombang. Muka gelombang adalah tempat sekumpulan titik dengan fase yang sama. Jarak antara lingkaran menunjukkan panjang gelombang (λ), dan arah rambat gelombang dari sumber disebut sebagai sinar gelombang. Muka gelombang dan sinar gelombang selalu tegak lurus satu dengan yang lain.

Gelombang merambatkan energi secara periodik sehingga fungsi gelombang akan memenuhi bentuk persamaan berulang (periodik) baik itu pada ruang (jarak) ataupun waktu. Adapun interpretasi gelombang dalam masing-masing fungsi waktu dan jarak dapat ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4. Interpretasi gelombang pada jarak dan waktu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Dari Gambar 5.4 kalian dapat menemukan beberapa besaran seperti simpangan gelombang maksimum atau amplitudo (A), periode (T), panjang gelombang (λ) dan frekuensi (f). Adapun besaran cepat rambat gelombang (v) dapat dituliskan dengan persamaan 5.1.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (5.1)$$

Dengan : v = cepat rambat gelombang (m/s),

λ = panjang gelombang (m),

T = waktu periode (sekon atau s),

f = frekuensi (Hertz atau Hz).

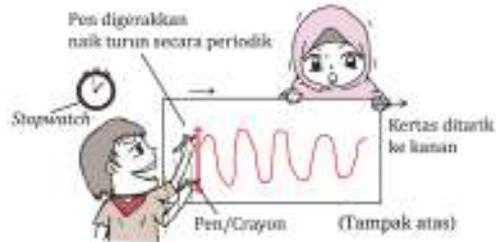


Aktivitas 5.1

Ayo, Berdiskusi!

Lakukanlah aktivitas sederhana berikut secara berpasangan.

1. Buatlah skema percobaan seperti pada Gambar 5.5.
2. Gerakkan pen naik turun secara teratur menggunakan *timer*, sebagai contoh pen naik turun diatur selama 2 detik.
3. Mintalah teman untuk menggerakkan kertas kekanan secara perlahan dengan kecepatan yang dipertahankan tetap.
4. Diskusikan dan presentasikan kecepatan gelombang dan amplitudo dari gelombang yang terbentuk.

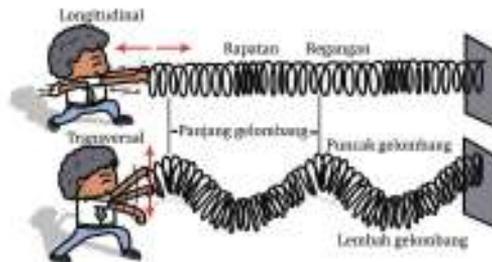


Gambar 5.5. Percobaan membuat pola gelombang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

1. Jenis-Jenis Gelombang

a. Berdasarkan arah getaran dan arah rambatnya

Berdasarkan arah getaran dan arah rambatnya gelombang dapat dibagi menjadi gelombang longitudinal dan gelombang transversal. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarannya berimpit dengan arah rambatnya, contohnya adalah gelombang bunyi. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getarannya tegak lurus dengan arah rambatnya, misalnya gelombang pada tali dan gelombang cahaya. Terdapat gelombang yang arah getarnya bisa tegak lurus dan searah dengan rambatan gelombangnya, yaitu gelombang seismik (gempa).



Gambar 5.6. (a)Gelombang longitudinal (b)Gelombang transversal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



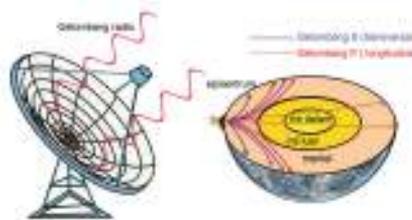
Aktivitas 5.2

Ayo, Amati!

1. Dalam aktivitas ini kalian bisa menggunakan karet gelang yang disambung ataupun slinki.
2. Buatlah demonstrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6b.
3. Mintalah 1 teman untuk mengambil video dari samping dan dari hasil video tersebut, tentukan panjang gelombang dari hasil demonstrasi kalian.

b. Berdasarkan perantara (medium) rambatannya

Berdasarkan perantara (medium) rambatannya, gelombang dapat dibagi menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang memerlukan medium untuk merambat. Contoh dari gelombang mekanik adalah bunyi dan gempa. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Contoh dari gelombang elektromagnetik adalah cahaya dan gelombang radio.



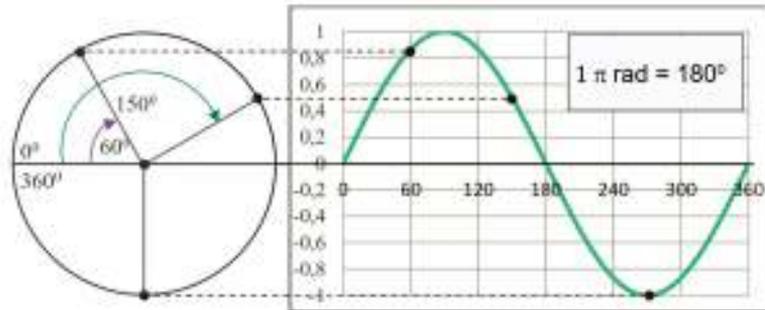
Gambar 5.7. Gelombang radio dan gelombang seismik
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Tahukah Kalian

Indonesia merupakan negara dengan intensitas gempa yang cukup tinggi, karena Indonesia terletak pada Cincin Api Pasifik atau Lingkaran Api Pasifik (*Ring of Fire*). Terdapat dua jenis gelombang seismik, yaitu gelombang P dan gelombang S. Gelombang P merupakan gelombang longitudinal yang mampu menembus inti bumi karena energinya dirambatkan melalui media cair sedangkan gelombang S berbentuk gelombang transversal dan tidak bisa menembus inti bumi. Gelombang S memiliki daya hancur yang lebih tinggi dibandingkan gelombang P. Gelombang seismik di bawah permukaan bumi akan mengalami pembiasan karena melewati medium yang berbeda. Oleh sebab itu penyebaran efek gempa bisa menjadi lebih luas.

2. Beda Fase Gelombang



Gambar 5.8. Sudut fase pada gelombang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gelombang merupakan getaran yang merambat, sehingga posisi simpangan gelombang dapat juga dinyatakan dengan fase (Gambar 5.8) .

Fase gelombang tidak memiliki kuantitas yang pasti karena bergantung pada posisi dan waktu dari titik yang diamati. Fase gelombang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\varphi = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{\omega t - kx}{2\pi} = \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \quad (5.2)$$

Dengan : θ = sudut fase (radian/derajat)

φ = fase gelombang

ω = kecepatan sudut gelombang (rad/s)

t = lamanya gelombang bergetar (s)

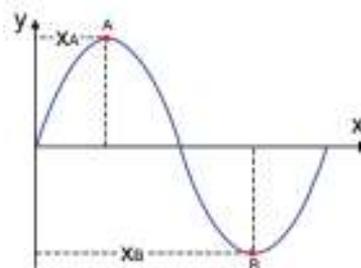
T = periode gelombang (s)

x = jarak titik ke sumber getar (m)

λ = panjang gelombang (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda} =$ bilangan gelombang (m^{-1})

Perbedaan fase di dua titik yang berbeda pada waktu yang sama diberikan dalam Gambar 5.9.



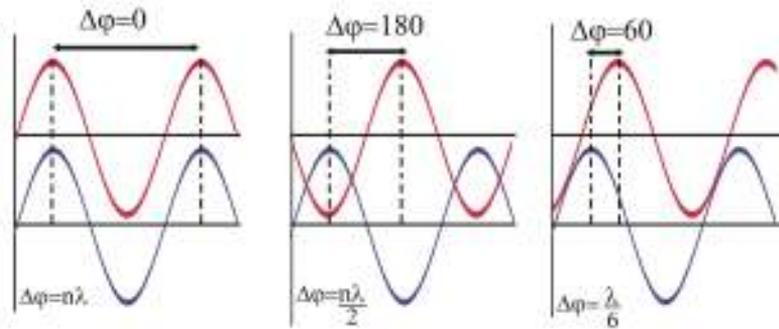
Gambar 5.9. Beda fase antara dua titik pada sebuah gelombang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Secara matematis beda fase dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_B - \varphi_A \\ \Delta\varphi &= \frac{x_B - x_A}{\lambda} \\ \Delta\varphi &= \frac{\Delta x}{\lambda}\end{aligned}\quad (5.3)$$

Dua buah titik bisa memiliki fase sama dengan syarat beda sudut fasenya adalah $0, 2\pi, 4\pi \dots 2n\pi$ atau beda fasenya adalah $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots n\lambda$. Dua buah titik bisa memiliki fase berlawanan dengan syarat beda sudut fasenya adalah $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots (2n+1)\pi$ atau beda fasenya adalah $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2 \dots, (2n+1)\lambda/2$ dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Adapun beda fase antara dua gelombang dengan ukuran sudut (derajat) dan panjang gelombang (meter) dapat ditunjukkan pada Gambar 5.10. Konsep beda fase sangat penting untuk memahami sifat-sifat gelombang pada cahaya dan bunyi.



Gambar 5.10. Beda fase antara dua gelombang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Cek Pemahaman!

Suatu gelombang dinyatakan dengan persamaan:

$$y = 2\sin\theta, \text{ di mana sudut fase gelombang dinyatakan dengan}$$

$$\theta = 2\pi(0,5t - 0,2x) \text{ (} x \text{ dalam m dan } t \text{ dalam sekon)}$$

Tentukan:

- fase pada $x = 5$ m dan $t = 4$ sekon,
- beda fase pada $x = 3$ m dan $3,5$ m,
- cepat rambat gelombang.



Aktivitas 5.3

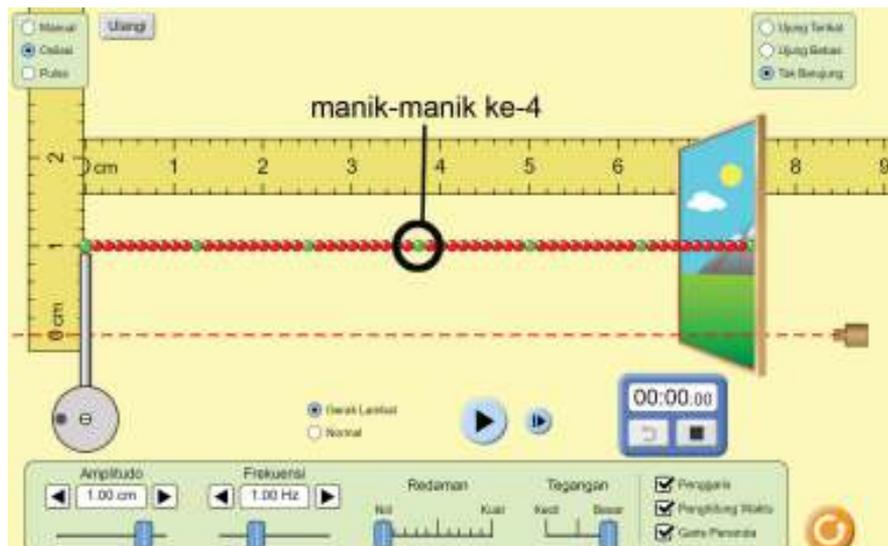
Ayo, Berteknologi!

Prosedur

1. Lakukanlah percobaan secara mandiri, masuklah ke dalam tautan berikut:

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_in.html

2. Ikuti Pengaturan seperti pada Gambar 5.11. Amati setiap posisi manik-manik. Gantilah pilihan osilasi (*oscillate*) menjadi sinyal (*pulse*), amati perbedaan dan buatlah kesimpulan.



Gambar 5.11. Pengaturan percobaan virtual
Sumber: Alvius Tinambunan/Screenshot Phet.colorado (2022)

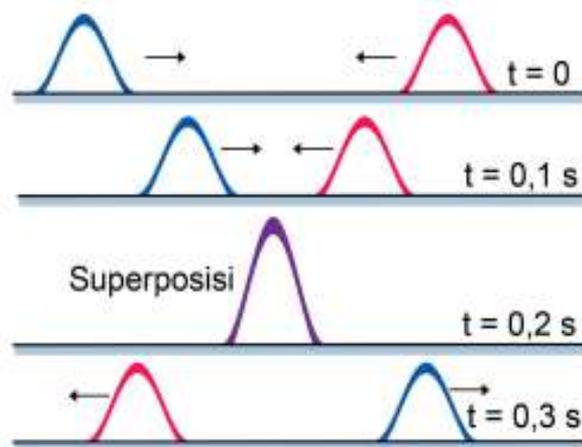
3. Dari eksperimen tentukan:
 - a. Simpangan dan fase dari manik-manik ke-4 pada detik ke 1,5
 - b. Beda fase pada 1 detik dan 1,5 detik. Bandingkan hasil jawaban dengan persamaan 5.2.
4. Tentukan panjang gelombang serta kecepatan gelombang tersebut. Setelah mendapatkan jawaban, coba bereksperimen dengan mengubah nilai frekuensi dan amati perubahan panjang gelombang

3. Prinsip-Prinsip dalam Gelombang

Kombinasi nada pada lagu, warna-warni pada lukisan dan teknologi internet yang kita bisa nikmati saat ini tidak lepas dari peran pengaplikasian dari sifat-sifat gelombang. Untuk memahami perilaku gelombang perlu diperkenalkan beberapa prinsip yang dapat ditemukan dari fenomena gelombang.

a. Prinsip Superposisi

Apabila dua gelombang atau lebih merambat pada medium yang sama, maka gelombang-gelombang tersebut akan bertemu pada suatu titik dan waktu yang sama. Simpangan kedua gelombang tersebut dapat dijumlahkan dan menghasilkan sebuah gelombang baru dengan simpangan yang berbeda sehingga terjadilah superposisi gelombang.



Gambar 5.12. Superposisi dua sinyal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

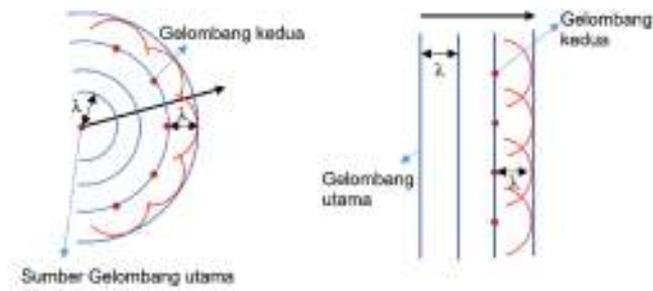
Syarat dari superposisi gelombang adalah kedua gelombang yang bersuperposisi harus saling koheren atau memiliki frekuensi dan bentuk yang sama (identik). Kedua gelombang yang berasal dari sumber yang sama dapat dikatakan sebagai dua gelombang yang saling koheren.

b. Prinsip Huygens-Fresnel

Prinsip Huygens menyatakan bahwa:

“setiap titik yang dilewati sumber gelombang akan menghasilkan muka gelombang yang panjang gelombangnya sama dengan gelombang sumbernya”

Fresnel kemudian menemukan bahwa prinsip Huygens dapat menjelaskan fenomena interferensi dan difraksi. Prinsip ini dapat menjelaskan sifat-sifat gelombang baik pada gelombang cahaya maupun gelombang bunyi.



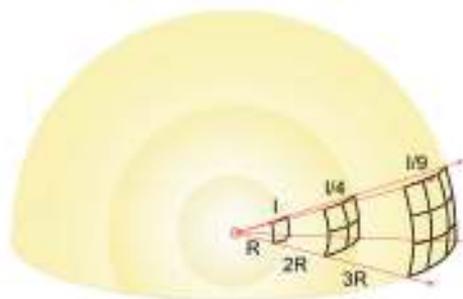
Gambar 5.13. Prinsip Huygens-Fresnel pada muka gelombang bidang dan gelombang sferis
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

c. Intensitas gelombang

Kecerahan lampu, kebisingan suara, dan daya hancur gempa bergantung pada energi yang berasal dari sumber gelombang. Energi ini berbanding lurus dengan kuadrat amplitudonya.

$$E \propto A^2$$

Besaran yang dinyatakan dengan laju perubahan energi per satuan luas disebut dengan intensitas. Adapun intensitas gelombang memenuhi hukum kuadrat terbalik, artinya besar intensitas akan berbanding terbalik dengan kudrat jarak dari titik ke sumber gelombang. (5.4)



Gambar 5.14. Hukum kuadrat terbalik pada intensitas gelombang
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Besar intensitas dari sumber gelombang secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{P}{A} \tag{5.5}$$

- Dengan :
- P = energi per satuan waktu (watt),
 - I = intensitas (watt/m²),
 - A = luas (m²).

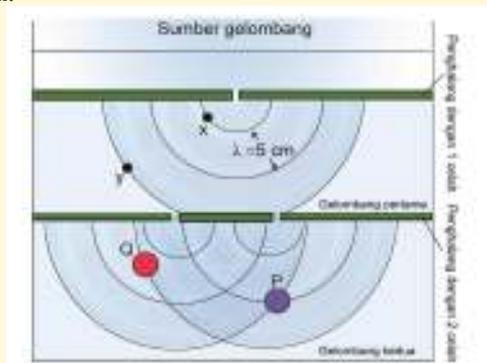
Hukum ini berlaku untuk keadaan apapun. Sebagai contoh semakin jauh kita dari sumber bunyi ataupun sumber cahaya, maka intensitasnya (nyaring /tingkat kecerahan) semakin melemah.



Ayo, Cek Pemahaman!

Sebuah eksperimen menggunakan dua celah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.15. Pada eksperimen, frekuensi yang digunakan untuk membuat riakan adalah tetap, yaitu 20 Hz. Anggap gelombang pertama mengikuti hukum kuadrat terbalik dengan celah pertama sebagai titik sumber gelombang. Tentukan perbandingan intensitas dari titik x:y.

- Anggap amplitudo yang terbentuk pada gelombang dari celah kedua selalu sama, yaitu A. Tentukan simpangan gelombang di titik P dan titik Q.
- Tentukan cepat rambat gelombang dari kedua gelombang pada celah kedua.



Gambar 5.15. Percobaan dua celah ganda pada gelombang air
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

B. Gelombang Bunyi

Kita semua suka mendengar musik. Musik merupakan perpaduan dari frekuensi dan amplitudo dari benda-benda yang bergetar. Benda yang bergetar disebut sumber bunyi. Keras lemah suatu bunyi tergantung pada amplitudo getarannya, sedangkan tinggi rendah bunyi bergantung pada frekuensi getarannya.



Gambar 5.16. Seorang pelajar mendengarkan musik
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



1. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi hanya bisa merambat melalui medium, baik itu berbentuk padat, cair ataupun gas. Bunyi ditransfer melalui rapatan dan regangan molekul-molekul medium sehingga tekanan dan suhu sangat mempengaruhi cepat rambat bunyi dalam suatu medium.

Berikut beberapa data mengenai cepat rambat bunyi dalam suatu medium.

Tabel 5.1. Cepat rambat bunyi pada beberapa medium

Medium	Kecepatan rambat bunyi (m/s)
Udara (0° C)	331
Udara (100° C)	386
Air	1490
Air Laut	1530
Alumunium	5100
Besi	5130

Cepat rambat bunyi bergantung kepada sifat elastisitas material dan massa jenisnya. Kedua besaran ini akan mempengaruhi kecepatan perambatan energi getaran pada medium, baik itu pada fase padat, cair ataupun gas.

a. Cepat rambat bunyi pada zat padat

Pada benda padat, cepat rambat bunyi dihitung dengan akar perbandingan modulus elastisitas (E) terhadap massa jenis (ρ) bahan tersebut, menggunakan persamaan berikut.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Dengan : E = modulus elastisitas (N/m^2),
 ρ = massa jenis bahan (kg/m^3). (5.6)

b. Cepat rambat bunyi pada benda cair

Pada benda cair, cepat rambat bunyi dipengaruhi oleh modulus Bulk (B) dan massa jenis (ρ) benda yang ditunjukkan dengan persamaan

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (5.7)$$

Dengan : B = modulus bulk (N/m^2),
 ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3).

Adapaun modulus Bulk benda adalah ukuran elastisitas bahan pada satuan volume.

c. Cepat rambat bunyi pada gas

Pada gas, kecepatan molekul dipengaruhi oleh suhu, semakin cepat molekul bergerak maka bunyi akan semakin cepat untuk dirambatkan. Adapun modulus Bulk pada udara akan bergantung pada tekanan dan keadaan adiabatik yang ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$B = \gamma P$$

Dengan : γ = konstanta Laplace, (5.8)
 p = tekanan (N/m^2).

Pada bab Termodinamika, kalian akan mempelajari persamaan gas ideal yang ditunjukkan dengan persamaan:

$$pM = \rho RT$$

Substitusikan pada persamaan (5.7) diperoleh:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (5.9)$$

Dengan : R = tetapan gas dengan nilai 8.31 J/mol.K ,
 M = massa molar gas (kg/mol),
 T = suhu dengan satuan Kelvin.



Ayo, Cek Pemahaman!

1. Bagaimanakah para astronot berkomunikasi di luar angkasa, sedangkan di luar angkasa tidak ada medium atau hampa udara?
2. Bagaimana perbedaan bunyi menurut pengamat pada waktu siang ataupun malam?
3. Pada suatu keadaan gas normal, nilai $\gamma=1,4$, massa molar adalah $0,029 \text{ kg/mol}$. Tunjukkan bahwa persamaan (5.9) dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$T = 331 \text{ m/s} \sqrt{\frac{T}{273 \text{ K}}}$$

2. Sumber Bunyi

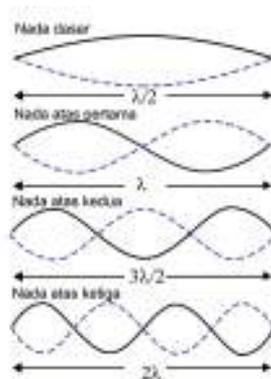


Gambar 5.17. (a) alat musik gesek dan (b) alat musik tiup
Sumber: Yan Kruvov/pexels.com (2021) dan pixabay/pexels.com (2016)

Apakah kalian suka bermain musik? Tahukah kalian bagaimana cara kerja alat musik? Sumber bunyi musik dapat berupa dawai, pipa organa, kulit maupun logam. Semua sumber ini bekerja berdasarkan perubahan frekuensi dan amplitudo.

a. Sumber bunyi dawai

Pada waktu kalian memetik dawai/senar, kalian akan menghasilkan gelombang stasioner dengan ujung terikat yang merupakan hasil superposisi gelombang. Frekuensi yang dihasilkan akan beresonansi dengan udara di sekitar dan sampai ke telinga kalian. Perhatikan Gambar 5.18.



Gambar 5.18. Pola gelombang stasioner pada dawai
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Nada dasar adalah nada dengan panjang gelombang $1/2 \lambda$ dan nada atas pertama adalah nada dengan panjang gelombang 1λ . Pola ini akan terus naik dengan beda $1/2 \lambda$. Besarnya frekuensi nada ke- n (f_n) pada dawai dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n}{2L}v \quad (5.10)$$

- Dengan :
- f = frekuensi (Hz),
 - v = cepat rambat gelombang bunyi (m/s),
 - λ_n = panjang gelombang bunyi (m),
 - L = panjang dawai (m),
 - $n = 1, 2, 3, \dots$

Contoh dari alat musik dawai adalah sasando, gitar dan biola.

Adapun cepat rambat bunyi (v) pada dawai tergantung kepada tegangan dawai (F), massa dawai (m) dan panjang dawai (L), yang secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

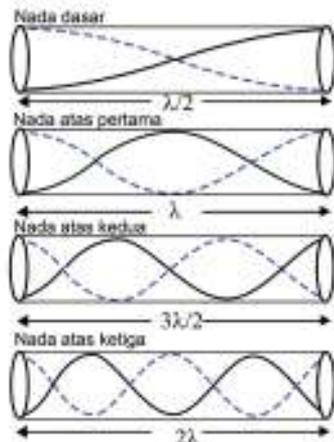
$$v = \sqrt{\frac{F}{A\rho}} = \sqrt{\frac{FL}{m}} \quad (5.11)$$

- Dengan :
- F = tegangan dawai (N),
 - L = panjang dawai (m),
 - m = massa dawai (kg).

b. Sumber bunyi pipa organa

Seruling, terompet dan alat musik tiup lain memanfaatkan kolom udara yang ditiup sehingga udara yang bergetar akan menghasilkan suara yang teratur. Kolom tempat udara bergetar disebut pipa organa. Terdapat dua jenis pipa organa, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

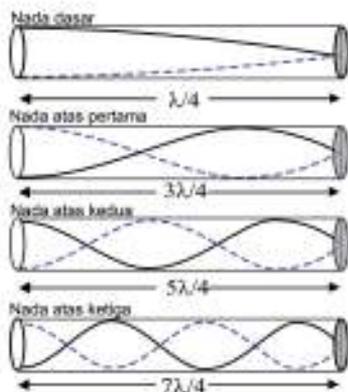
1) Pipa organa terbuka



Gambar 5.19. Pola gelombang stasioner pada pipa organa terbuka
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Pipa organa terbuka merupakan sebuah pipa dengan kolom udara tanpa penutup pada kedua ujungnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.19. Sama halnya dengan dawai, frekuensi pada pipa organa dimulai dengan panjang gelombang $1/2 \lambda$ dan terus naik dengan beda $1/2 \lambda$, sehingga penentuan frekuensi nada ke- n dapat ditentukan dengan Persamaan (5.10). Adapun contoh dari alat musik pipa organa terbuka adalah pianika dan terompet.

b) Sumber bunyi pipa organa tertutup



Gambar 5.20. Pola gelombang stasioner pada pipa organa tertutup
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Pada pipa organa tertutup, salah satu ujung dari kolom udara pada pipa berada dalam posisi tertutup. Hubungan panjang gelombang dan panjang kolom, dapat dilihat pada Gambar 5.20. Frekuensi tiap tingkatan nada dapat ditunjukkan dengan persamaan (5.12)

$$f_n = \frac{(2n-1)}{4L}v \quad (5.12)$$

Dengan : L = panjang kolom pipa organa (m),
 f_n = frekuensi nada ke- n (Hz).



Aktivitas 5.4

Ayo, Amati!

Lakukan percobaan ini secara berkelompok

1. Siapkan sebuah gitar, sebuah capo dan sebuah aplikasi frekuensi meter.
2. Bunyikan senar dari paling bawah hingga paling atas, catat semua frekuensinya menggunakan *tuner*.



Gambar 5.21. Alat dan bahan percobaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

3. Lakukan eksperimen dengan senar yang sama (senar 1 sebagai contoh). Kendorkan tegangan gitar, ukur dan bandingkan frekuensinya sebelum dan sesudah dikendorkan.
4. Sekarang lakukan pada senar yang sama, gunakan capo untuk memendekkan senar dari leher gitar. Ukur dan bandingkan frekuensinya sebelum dan sesudah dipasang capo.
5. Simpulkan beberapa hubungan berikut:
 - a. massa senar terhadap frekuensi
 - b. tegangan senar terhadap frekuensi
 - c. panjang senar terhadap frekuensi
4. Lakukan perbandingan dengan Persamaan 5.11.

3. Efek Doppler

Ling-Ling dan Siti mengukur frekuensi ambulans dari posisi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.22. Menurut Ling-ling frekuensi bunyi sirene adalah 958 Hz, sedangkan menurut Siti frekuensinya sebesar 848,5 Hz. Frekuensi sumber adalah 900 Hz. Mengapa hal ini bisa terjadi? Fenomena ini dikenal dengan istilah efek Doppler. Efek ini terjadi karena panjang gelombang sumber bunyi akan berubah secara relatif ketika mendekat atau menjauhi pengamat. Menurut Siti frekuensi yang didengar menjadi lebih rendah sedangkan menurut menurut Ling-Ling frekuensi yang didengar lebih tinggi.



Gambar 5.22. Efek Doppler pada dua pengamat
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Efek Doppler juga akan berlaku apabila pengamat bergerak bersamaan dengan sumber. Secara umum persamaan efek Doppler dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s \quad (5.13)$$

Dengan : v_p = kecepatan gerak pengamat (m/s),
 v_s = kecepatan gerak sumber (m/s),
 f_s = frekuensi sumber bunyi (Hz),
 f_p = frekuensi yang didengar pengamat (Hz).

Kecepatan pengamat v_p akan bertanda (+) apabila mendekati sumber dan akan bertanda (-) apabila menjauhi sumber, sedangkan v_s menunjukkan kecepatan gerak sumber, v_s akan bertanda (+) apabila menjauhi pengamat dan bertanda (-) apabila mendekati pengamat.



Aktivitas 5.5

Ayo, Berkolaborasi!

Lakukan percobaan ini secara berkelompok

1. Unduh aplikasi frequency generator, *pitch tuner* dan perekam layar di *Handphone* kalian.
2. Nyalakan *frequency generator* pada HP 1 dan catatlah nilai frekuensi tersebut.
3. Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 5.23.
4. Pada HP 2, nyalakan *pitch tuner* beserta aplikasi perekam layar.



Gambar 5.23. Contoh rangkaian percobaan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

5. Kemudian biarkan HP 2 bergerak menjauhi dan mendekat sumber bunyi (rangkaiannya percobaan bisa diubah sesuai kreativitas kalian).
6. Buatlah kesimpulan dari data yang diperoleh dan bandingkan dengan materi yang telah dipelajari.

4. Resonansi

Tahukah kalian bahwa seorang penyanyi dapat memecahkan gelas dengan menggunakan suaranya? Hal ini disebabkan frekuensi suara penyanyi tersebut beresonansi dengan frekuensi alami gelas. Saat material gelas bergetar, susunan bahannya menjadi tidak stabil dan akhirnya pecah. Resonansi adalah proses ikut bergetarnya suatu benda karena frekuensi alaminya sama dengan frekuensi dari suatu sumber bunyi. Resonansi sering ditemukan dalam fenomena sehari-hari seperti ikut bergetarnya jendela saat terjadi halilintar. Dalam alat musik seperti gitar terdapat kotak resonansi di mana udara dalam kotak resonansi ikut bergetar saat dawai dipetik.



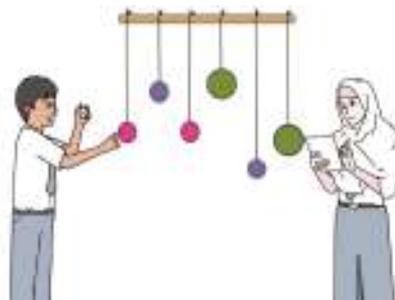
Gambar 5.24. Gelas yang retak karena resonansi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Aktivitas 5.6

Ayo, Amati!

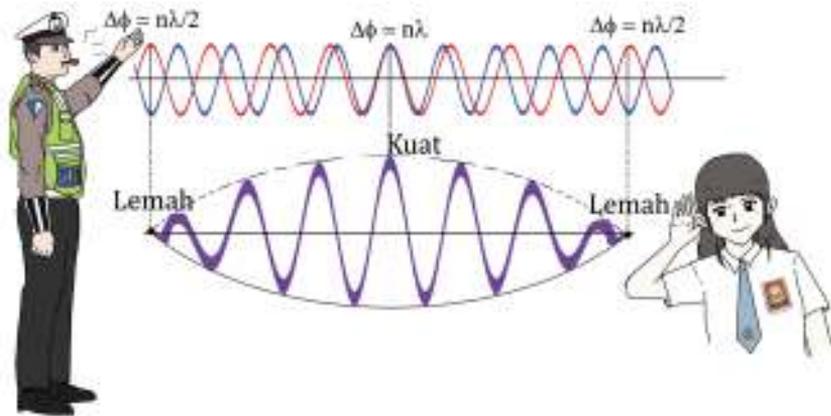
1. Lakukanlah percobaan ini secara berpasangan.
2. Ukurlah panjang lima (5) benang sebagai berikut 30 cm, 30 cm, 30 cm, 20 cm dan 10 cm. Siapkan plastisin sebagai pemberat/bandul.
3. Buatlah percobaan seperti Gambar 5.25.
4. Simpangkan salah satu bandul kemudian lepaskan, amati gerak bandul yang lain.
5. Catat pengamatan kalian dan coba jelaskan kepada teman ataupun guru tentang hasil percobaan kalian.



Gambar 5.25. Percobaan resonansi bandul
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

5. Pelayangan Bunyi

Pernahkah kalian mendengar bunyi peluit? Bunyi melengking yang kita dengar sebenarnya tidak berasal hanya dari satu frekuensi saja, tetapi dari berbagai frekuensi dan seringkali terdengar suaranya pelan kemudian melengking. Fenomena ini disebut sebagai pelayangan bunyi. Pelayangan bunyi dapat dijelaskan melalui prinsip superposisi gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26. Peristiwa layangan bunyi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kombinasi dari dua gelombang ini disebut dengan interferensi. Saat mendengar suara yang keras, berarti kedua gelombang memiliki beda fase $n\lambda$. Keadaan ini disebut dengan interferensi konstruktif, sedangkan bunyi yang terdengar lemah dikarenakan kedua gelombang memiliki beda fase $n\lambda/2$. Adapun persamaan untuk menentukan layangan bunyi adalah:

$$f_n = |f_2 - f_1| \quad (5.14)$$

Dengan : f_n = frekuensi layangan bunyi (Hz)

f_1/f_2 = frekuensi benda yang berinterferensi (Hz)



Ayo, Cek Pemahaman!

Seorang anak memainkan piano dengan frekuensi 440 Hz dan anak yang lain memainkan gitar dengan frekuensi 330 Hz. Berapa ketukan per detikkah yang akan didengar?

6. Intensitas dan Taraf Intensitas Bunyi

Telinga manusia memiliki batas/ambang pendengaran yang berkisar 10-12 watt/m². Jika kurang dari batas tersebut itu telinga tidak dapat mendengar bunyi dari sumber bunyi. Adapun ukuran kekuatan dari bunyi dinyatakan dengan istilah Taraf Intensitas Bunyi. Taraf intensitas bunyi merupakan logaritma perbandingan antara intensitas yang diukur dengan intensitas ambang pendengaran, yang secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$TI = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (5.15)$$

Taraf intensitas memiliki satuan desiBel (*dB*).

Berikut merupakan contoh beberapa taraf intensitas beserta sumbernya.

Tabel 5.2. Taraf Intensitas bunyi beserta sumbernya

Taraf Intensitas	Sumber
0 dB	Ambang pendengaran manusia
10-20 dB	Bisikan Kecil
30-40 dB	Perpustakaan
50-70 dB	Percakapan sehari-hari
70-80 dB	Lalu lintas yang ramai
90 dB	Alat pengebor beton
> 90 dB	Mesin jet



Aktivitas 5.7

Ayo, Berkolaborasi!

Lakukan percobaan ini secara berkelompok.

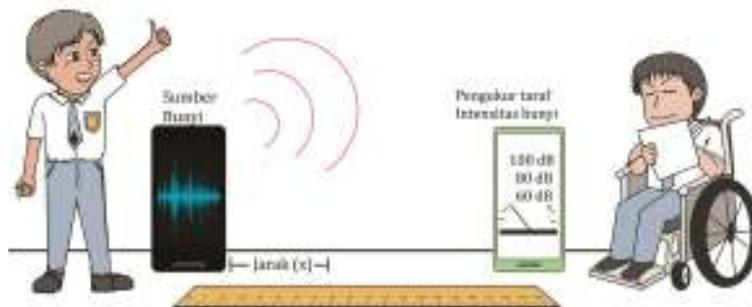
1. Unduhlah aplikasi *Soundlevel meter*, *frequency generator* dan *pitch tuner* di *Handphone* kalian.
2. Siapkan meteran untuk mengukur jarak antara sumber bunyi dan pengukur taraf intensitas seperti Gambar 5.27.

- Nyalakan *frequency generator* pada HP 1 dan ukurlah level bunyi menggunakan HP 2. Lakukan pengukuran berulang dengan perubahan jarak 1 meter hingga 4 meter. Amati perubahan taraf intensitas bunyi tersebut. Catatlah nilai pengamatan pada tabel berikut:

Tabel 5.3. Data pengamatan jarak terhadap Intensitas bunyi

Jarak (m)	Taraf Intensitas (dB)
1.	
2.	
3.	
4.	

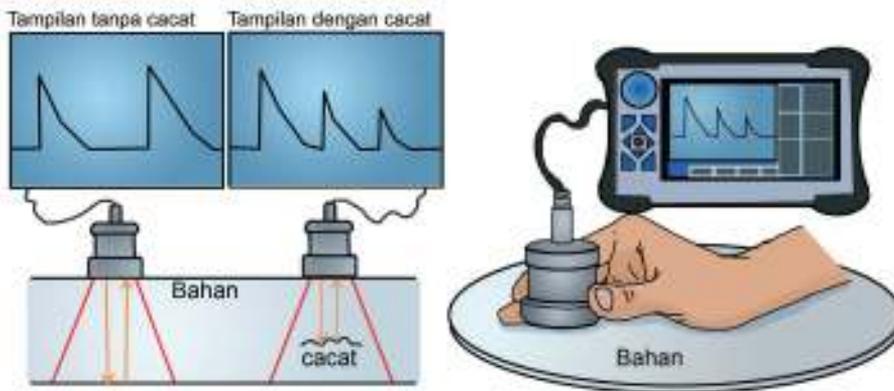
- Buatlah grafik dari hubungan taraf intensitas bunyi terhadap jarak. Tariklah simpulan dari hasil percobaan.



Gambar 5.27. Skema Percobaan taraf intensitas bunyi terhadap jarak
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

7. Aplikasi Gelombang Bunyi

Prinsip gelombang bunyi memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya adalah NDT (*Non-destructive testing*) yaitu menguji atau mengecek cacat bahan tanpa harus merusak material tersebut. NDT menggunakan prinsip pemantulan gelombang dengan menggunakan frekuensi ultrasonik. Frekuensi ultrasonik memiliki rentang frekuensi Di atas 20.000 Hz



Gambar 5.28. Skema cara kerja NDT
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Saat sinyal ultrasonik mengenai suatu benda asing, maka layar akan menunjukkan adanya suatu sinyal yang tidak sesuai. Selain menguji bahan, NDT juga dapat dimanfaatkan dalam dunia medis, dengan menggunakan prinsip yang sama yaitu mendeteksi benda asing atau suatu cacat di dalam tubuh menggunakan pemantulan gelombang.

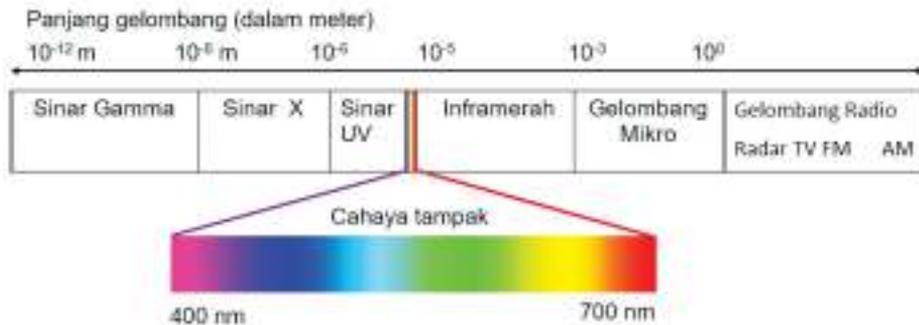
C. Gelombang Cahaya



Gambar 5.29. Proses pembentukan pelangi oleh butiran air
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Jika kalian melihat pelangi dengan langit biru sebagai latar belakangnya, apa yang ada dalam benak kalian? Tahukah kalian bahwa pelangi adalah proses penguraian cahaya polikromatis (banyak warna) menjadi cahaya monokromatis (satu warna) dengan proses pemantulan dan pembiasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.29. Dan tahukah kalian bahwa langit terlihat berwarna biru dikarenakan adanya hamburan cahaya oleh partikel-partikel yang ada di atmosfer?

Cahaya tampak merupakan salah satu bagian dari gelombang elektromagnetik yang rentang panjang gelombangnya dapat ditangkap oleh mata kita.

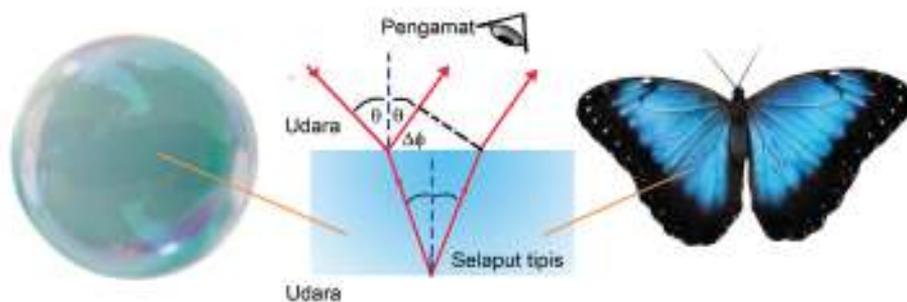


Gambar 5.30. Spektrum gelombang elektromagnetik
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Banyak fenomena cahaya yang kita amati sehari-hari yang dapat dijelaskan dengan sifat-sifat gelombang seperti yang dijelaskan berikut ini.

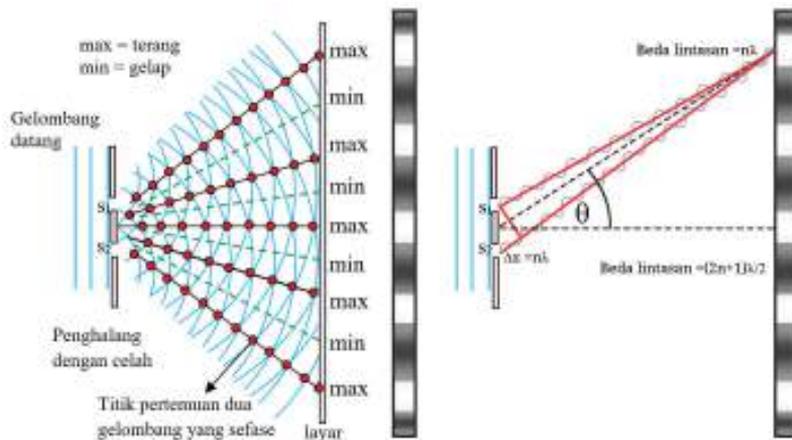
1. Interferensi Cahaya

Pernahkah kalian melihat warna-warni pada lapisan gelembung sabun dan indahnya warna pada sayap kupu-kupu? Warna-warna tersebut merupakan efek dari gabungan beberapa sumber cahaya pada selaput tipis.



Gambar 5.31. Interferensi pada selaput tipis
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 5.31 memperlihatkan terjadinya interferensi cahaya pada selaput tipis oleh gelembung sabun dan sayap kupu-kupu. Sebagian cahaya dibiaskan melalui selaput tipis kemudian dipantulkan dan sebagian langsung dipantulkan. Kombinasi dari dua superposisi gelombang ini akan membentuk pola interferensi baik dari kombinasi panjang gelombang dan kecerahan yang kemudian diterjemahkan oleh mata kita sebagai kombinasi warna yang indah.



Gambar 5.32. Pola interferensi pada cahaya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Percobaan tentang interferensi dapat dilihat pada Gambar 5.32. Gelombang datang akan melewati dua celah sehingga terbentuk dua gelombang. Menurut prinsip Huygens dua gelombang ini akan koheren satu sama lain sehingga kedua gelombang bisa bersuperposisi.

Tampilan layar menunjukkan hasil interferensi dua gelombang yang mengakibatkan pelemahan (pola gelap) dan penguatan (pola terang). Pola terang terjadi jika pertemuan kedua gelombang memiliki beda fase $0, \lambda, 2\lambda \dots, n\lambda$ sedangkan pola gelap terjadi jika pertemuan kedua gelombang memiliki beda fase $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2 \dots, (2n+1)\lambda/2$.

Percobaan interferensi cahaya pertama dilakukan oleh ilmuwan bernama **Thomas Young (1773 -1829)**. Adapun hasil yang diperoleh dari percobaan yang menghubungkan lebar celah (d), pola ke- n gelap/ terang dan panjang gelombang (λ) dapat dinyatakan dengan kesimpulan berikut :

- Interferensi konstruktif (saling menguatkan/membuat terang):

$$d \sin \theta = n\lambda \quad (5.16)$$

- Interferensi destruktif (saling melemahkan/membuat gelap)

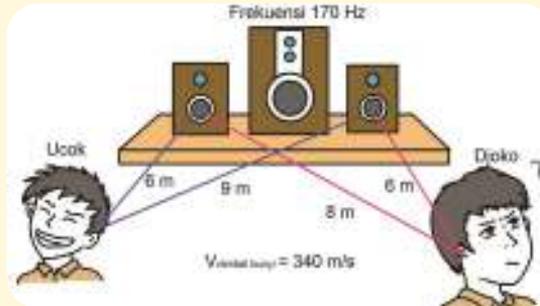
$$d \sin \theta = \frac{(2n+1)\lambda}{2} \quad (5.17)$$

Dengan θ = sudut simpangan antara sinar dan layar(derajat),
 λ = panjang gelombang (m),
 d = jarak antar celah (m),
 $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ (n adalah orde terang/gelap ke- n).



Ayo, Cek Pemahaman!

Perbedaan panjang lintasan pada gelombang cahaya berlaku juga untuk gelombang bunyi dalam menentukan jenis interferensi. Menggunakan prinsip yang sama, siapakah yang mendengar interferensi konstruktif dan siapakah yang mendengar interferensi destruktif dari kasus berikut.



Gambar 5.33. Beda lintasan gelombang pada dua pengamat
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

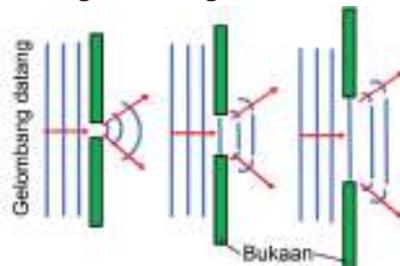
2. Difraksi Cahaya

Jika kita melihat ke langit, terkadang kita bisa melihat cahaya menyebar melalui awan, seperti pada Gambar 5.34. Fenomena yang kalian lihat adalah salah satu contoh fenomena yang disebut dengan difraksi.



Gambar 5.34. Fenomena difraksi di alam
Sumber: pixabay/pexels.com (2016)

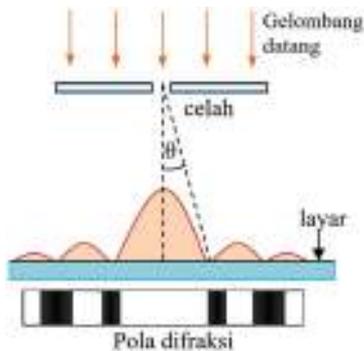
Difraksi adalah efek pembelokan atau penyebaran arah muka gelombang yang terjadi saat gelombang menemui sebuah ujung penghalang ataupun celah sempit. Gambar 5.35 menunjukkan hubungan antara lebar celah dan pola penyebaran arah muka gelombang.



Gambar 5.35. Pembentukan difraksi pada suatu celah
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Fenomena difraksi secara umum dibagi menjadi difraksi celah tunggal dan difraksi pada kisi.

a. Difraksi celah tunggal



Gambar 5.36. Pola difraksi cahaya pada celah tunggal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perhatikan Gambar 5.36. Ketika sebuah sumber gelombang melewati celah sempit, gelombang akan menyebar dan membentuk suatu pola apabila tertangkap oleh layar.

Pola menunjukkan daerah dengan intensitas tinggi dan intensitas rendah. Adapun penentuan pola intensitas terendah pada difraksi celah tunggal dengan lebar celah (d) dan panjang gelombang (λ) akan mengikuti persamaan (5.16), dengan nilai $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

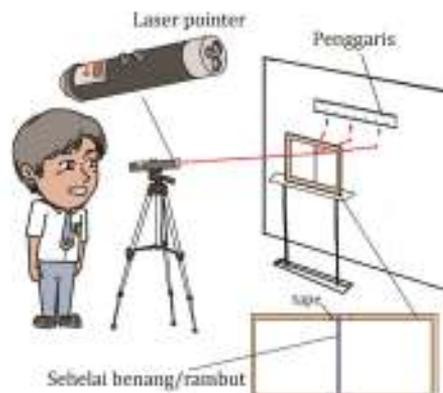


Aktivitas 5.8

Ayo, Berkolaborasi!

Prosedur

1. Siapkan sebuah *laser pointer*, meteran dan penggaris. Lakukan percobaan di ruang gelap untuk mendapatkan pengamatan yang lebih baik.
2. Buatlah sebuah celah yang sangat kecil, menggunakan kertas atau plastik, kemudian rancanglah percobaan seperti pada Gambar 5.37.



Gambar 5.37. Rancangan percobaan difraksi cahaya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

3. Dari percobaan tentukan tebal rambut/benang (d) yang diperoleh menggunakan persamaan:

$$d \sin \theta \approx d \frac{y}{L} = n\lambda \quad (5.18)$$

- Dengan :
- L = jarak dari celah ke sumber sinar,
 - λ = panjang gelombang yang tertera di laser ataupun bisa di cek nilai kisarannya di internet,
 - n = orde terang ke- n ,
 - y = simpangan panjang gelombang dari terang pusat.

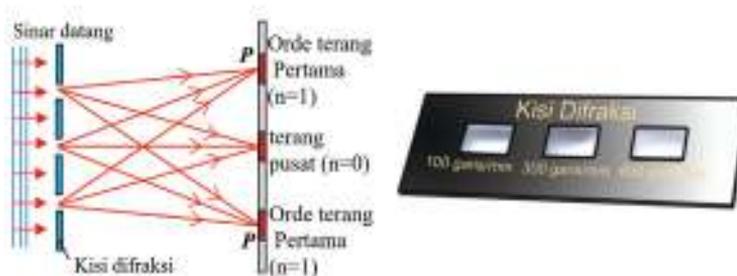
4. Dari hasil percobaan gambarkan juga pola difraksi yang terbentuk.

b. Difraksi Kisi

Kisi adalah banyak celah sangat sempit dengan jarak antara celahnya dibuat sama untuk mendapatkan pola yang sama. Salah satu contoh aplikasi difraksi pada kisi adalah penentuan struktur kristal karena kristal memiliki pola yang berulang. Jumlah kisi per satuan panjang disebut dengan konstanta kisi. Hubungan antara konstanta kisi dan lebar kisi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$d = \frac{1}{N} \quad (5.19)$$

Contoh 200 garis/1 cm berarti dalam 1 cm terdapat 200 kisi.

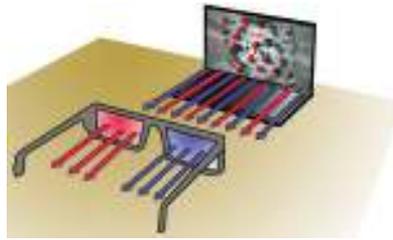


Gambar 5.38. Pola difraksi pada kisi dan kisi difraksi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Salah satu aplikasi difraksi kisi adalah penentuan struktur kristal pada suatu bahan. Pola difraksi yang terbentuk dapat ditunjukkan dalam Gambar 5.38. Untuk penentuan pola terang pada difraksi kisi, dapat digunakan persamaan (5.16).

3. Polarisasi

Apakah kalian pernah menonton bioskop dengan fitur 3D? Kita menggunakan kacamata khusus yaitu kacamata 3D. Kacamata ini menggunakan salah satu sifat gelombang yang disebut dengan polarisasi.



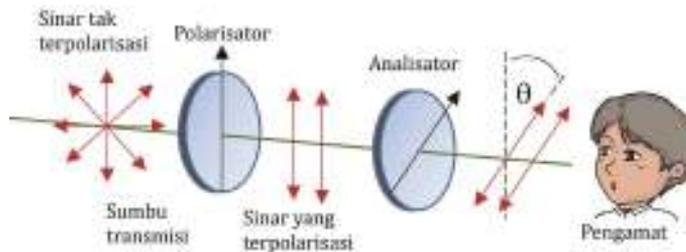
Gambar 5.39. Prinsip kerja kacamata 3D
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Polarisasi adalah peristiwa penyerapan arah bidang getar dari suatu gelombang. Polarisasi hanya berlaku pada gelombang transversal saja karena arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya. Untuk memahami cara kerja dari polarisasi, perhatikan Gambar 5.40.



Gambar 5.40. Prinsip kerja polarisasi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Cahaya adalah gelombang transversal sehingga cahaya dapat dipolarisasikan, sedangkan bunyi tidak dapat mengalami polarisasi. Cahaya yang dihasilkan oleh sinar matahari merupakan gelombang yang tidak terpolarisasi karena gelombang cahaya mempunyai banyak kemungkinan arah getar. Adapun alat untuk menyerap arah getar gelombang cahaya disebut dengan polarisator yang dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5.41. Proses polarisator menyerap arah getar gelombang cahaya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Intensitas cahaya yang diamati pengamat akan tereduksi yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan

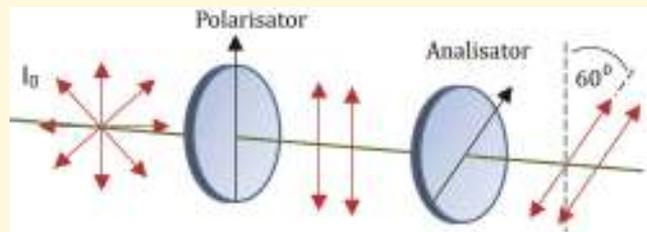
$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (5.20)$$

Dengan : I_0 = intensitas mula-mula (Watt/m^2),
 I = intensitas setelah melewati polarisator (Watt/m^2),
 θ = sudut antara sumbu polarisator dan sumbu analisator (derajat).



Ayo, Cek Pemahaman!

Suatu berkas cahaya dengan intensitas I_0 melewati polarisator dan analisator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.42!

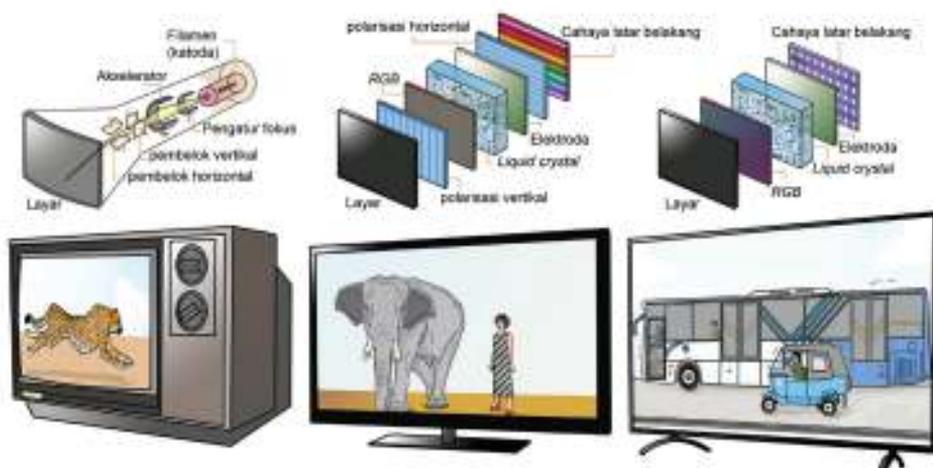


Gambar 5.42. Cahaya yang melewati polarisator
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Apabila setelah melewati polarisator intensitas turun menjadi setengah intensitas awal, tentukan persentase intensitas cahaya setelah melewati analisator.

4. Aplikasi Gelombang Cahaya

Televisi merupakan salah satu teknologi yang sangat mengubah muka dunia ini. Dahulu televisi berukuran besar dan sangat boros energi tetapi sekarang ukurannya lebih ramping dan lebih hemat energi.



Gambar 5.43. TV tabung, TV LCD dan TV LED dan cara kerjanya
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Teknologi yang mendukung efisiensi dan ukuran TV kini didominasi oleh LCD dan LED.

Liquid crystal device (LCD) merupakan suatu teknologi dimana cairan kristal dapat diatur posisinya sehingga bisa menyaring beberapa sumber arah getar dan menampilkan arah getar yang diharapkan dengan menggunakan prinsip polarisasi. Layar LCD memanfaatkan sifat-sifat cahaya seperti refleksi, refraksi, difraksi dan polarisasi untuk menampilkan gambar yang diharapkan.

Berbeda dengan LCD, layar *light emitting diode* (LED) memanfaatkan banyak led sebagai sumber cahaya yang kecerahannya dapat diatur secara elektronik. Sumber ini kemudian dilewatkan pada beberapa lapisan dan akan melewati layar RGB. Layar RGB terdiri atas jutaan elemen dengan warna merah, hijau dan biru. Ketiga warna ini dikombinasikan secara elektronik untuk menampilkan gambar dengan kecerahan dan warna yang diharapkan.



Intisari

Gelombang merupakan fenomena dalam fisika yang memiliki aplikasi luas pada teknologi masa kini. Gelombang merupakan energi yang merambat. Sifat gelombang adalah refleksi, refraksi, difraksi, interferensi dan pada gelombang transversal terdapat tambahan sifat polarisasi. Adapun sifat-sifat gelombang dapat dijelaskan dengan prinsip-prinsip gelombang seperti prinsip Huygens-Fresnel, superposisi dan intensitas gelombang.

Difraksi cahaya merupakan pembelokan arah muka gelombang karena melalui suatu celah atau penghalang. Interferensi konstruktif merupakan gabungan dua gelombang koheren dengan beda fase n sedangkan interferensi destruktif gabungan dua gelombang dengan beda fase $n/2$.

Efek Doppler adalah efek dimana pengamat mendengar frekuensi yang berbeda dari sumber karena adanya perubahan panjang gelombang relatif antara pengamat dan sumber bunyi, Sumber bunyi sendiri dapat berupa dawai, pipa organa, kulit dan logam.



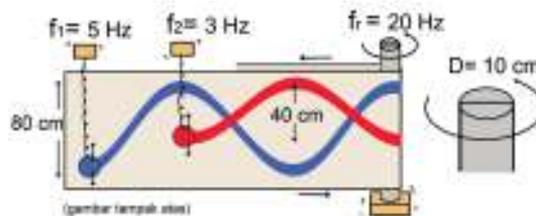
Refleksi

1. Bagaimanakah pandangan kalian akan prinsip gelombang dalam kemajuan teknologi?
2. Bagaimana kalian bisa memanfaatkan prinsip-prinsip gelombang untuk menjelaskan beberapa fenomena yang berhubungan dengan bunyi dan cahaya?



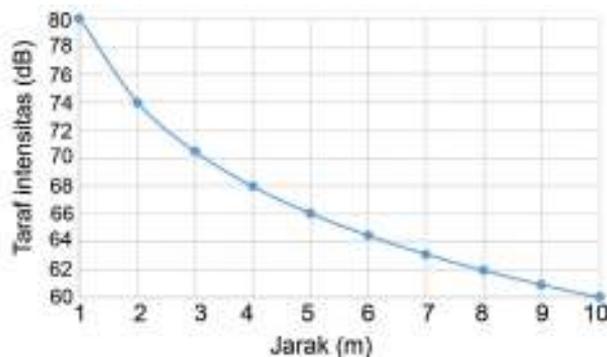
Asesmen

1. Sebuah layar yang dihubungkan dengan *roller* berdiameter 10 cm digunakan untuk mendemonstrasikan pergerakan gelombang menggunakan dua sistem pegas yang identik yang dihubungkan dengan kuas berwarna beserta sumber getaran seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah.



- Anggap kuas berkilasi tanpa gesekan terhadap permukaan dan *roller* berputar tanpa slip. Saat kedua pegas ditarik bersamaan sejauh 40 cm (pegas1) dan 20 cm (pegas 2), tentukan:
- a. panjang gelombang yang dihasilkan masing-masing sistem pegas,
 - b. beda simpangan antara dua beban pada detik ke-1,
 - c. perbandingan energi potensial pegas 1 dan 2.
2. Joko dan Susan memainkan sumber bunyi yang berbeda, Joko memetik dawai sepanjang L cm sedangkan Susan meniup pipa organa dengan ujung tertutup sepanjang D cm di mana $D : L = 3 : 4$. Menggunakan *tuner* mereka mengambil kesimpulan bahwa nada dasar dawai akan sama dengan nada atas pertama dari pipa organa ujung tertutup, dan frekuensi nada dasar dari pipa organa adalah 250 Hz. Jika cepat rambat bunyi pada dawai adalah 650 m/s, tentukan cepat rambat bunyi di dalam pipa organa!

3. Siti bersepeda dengan kecepatan 10 m/s kemudian dari arah berlawanan sebuah ambulans mendekat dan kemudian melewati Siti dengan kecepatan 72 km/jam sambil membunyikan sirene dengan frekuensi 900 Hz. Jika cepat rambat bunyi udara adalah 330 m/s dan di depan ambulans terdapat tembok yang dapat memantulkan suara (anggap kecepatan suara tidak berubah), tentukan:
 - a. perbandingan frekuensi sirene yang terdengar oleh Siti saat ambulans mendekati dan menjauhi dirinya,
 - b. layangan bunyi yang didengar karena pantulan suara setelah ambulans melewati Siti.
4. Seorang peneliti melakukan pengukuran hubungan taraf intensitas bunyi suatu mesin di sebuah pabrik terhadap jarak pengamat. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh grafik sebagai berikut.



Dari data tersebut.

- a. bagaimanakah hubungan jarak dan taraf intensitas bunyi
 - b. tentukan nilai intensitas mesin pada jarak 2 meter
 - c. tentukan taraf intensitas pada jarak 5 meter hingga ketelitian 0,01 dB
5. Pada percobaan celah ganda, digunakan sebuah laser dengan panjang gelombang 700 nm dan lebar antar celah 2 mm. Di seberang celah terdapat layar dengan jarak 2 meter. Dari percobaan tersebut, tentukan:
 - a. jarak pola terang kedua dari terang pusat,
 - b. jumlah orde terang maksimum yang masih dapat teramati di layar,
 - c. jarak pola terang kedua dari terang pusat, jika celah ganda diganti dengan kisi difraksi dengan ukuran 200 kisi/cm.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 6

Kalor

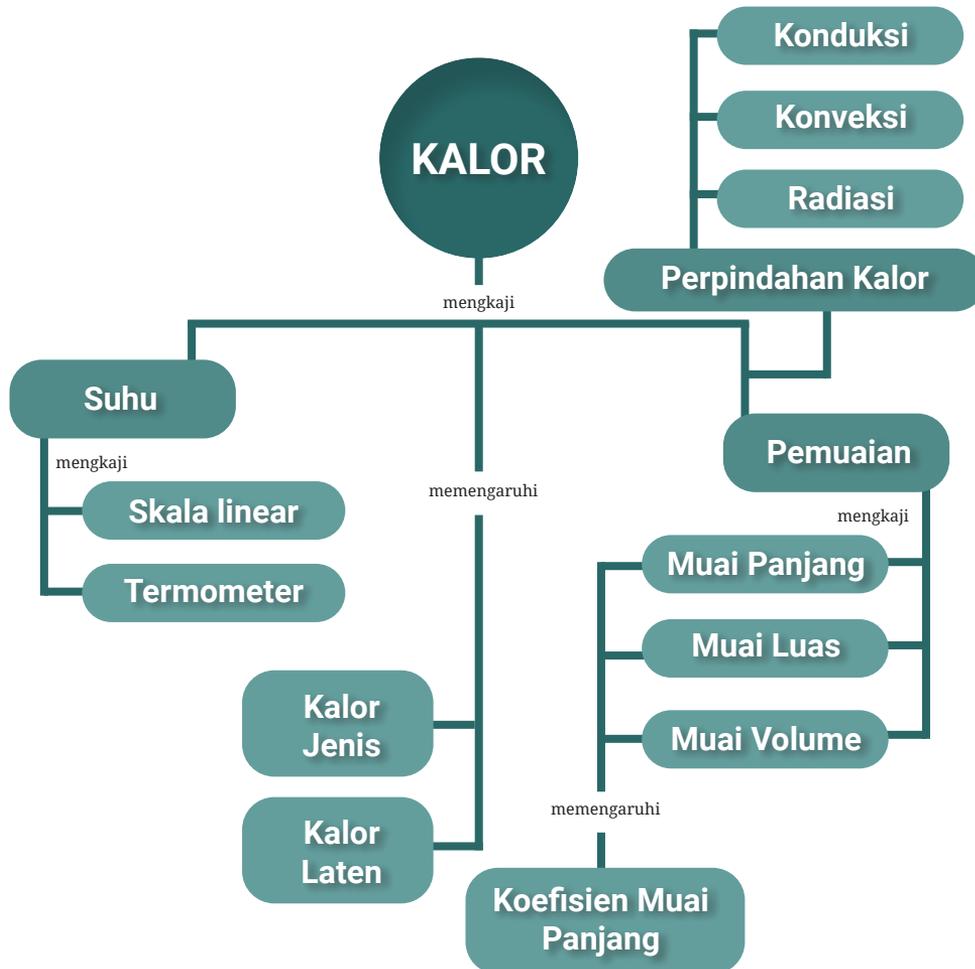
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menguraikan besaran suhu dan konversi satuannya, menjelaskan asas Black serta penerapannya dalam perubahan suhu dan wujud zat, menguraikan pemuaian panjang, luas, dan volume dari suatu materi, serta membedakan tiga jenis perpindahan kalor dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Kata-kata kunci:

- Kalor
- Asas Black
- Suhu
- Termometer
- Pemuaian
- Kalor jenis
- Kalor Laten
- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi

Peta Konsep



Pada siang hari yang panas dan malam hari yang dingin, tubuh kalian perlu dijaga agar berada pada suhu yang hampir konstan. Pada hari yang panas, kalian memakai pakaian yang lebih tipis, mengonsumsi minuman yang dingin, serta duduk di dekat kipas angin atau masuk ke dalam ruangan yang mempunyai pendingin untuk meningkatkan perpindahan panas dari tubuh ke udara. Pada hari yang dingin, kalian memakai pakaian yang lebih tebal, mengonsumsi minuman hangat atau tetap berada di ruangan yang hangat. Kegiatan tersebut kalian lakukan agar suhu tubuh tetap terjaga. Peristiwa di atas berkaitan dengan konsep suhu dan kalor. Pada bab ini kalian akan mempelajari keterkaitan antara suhu dengan kalor serta pengaruhnya terhadap perubahan suhu dan wujud benda. Selain itu dipelajari juga pengaruh kalor terhadap ukuran benda serta cara perpindahan kalor.

A. Suhu

1. Pengertian Suhu dan Alat Ukurnya

Istilah suhu sudah sering kalian gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Konsep suhu berakar dari pengamatan terhadap keadaan panas atau dingin suatu benda berdasarkan indera sentuhan. Tangan atau kulit kalian sebenarnya tidak dapat merasakan perbedaan suhu dari dua benda dalam waktu bersamaan. Kalian hanya dapat membedakan bahwa suatu benda lebih panas atau lebih dingin dari benda lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran suhu menggunakan tangan atau kulit kurang akurat.

Untuk menunjukkan keterbatasan tangan mengukur suhu, lakukan **Aktivitas 6.1** berikut ini.



Gambar 6.1 Tiga wadah dengan suhu air yang berbeda
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Aktivitas 6.1

1. Sediakan tiga buah wadah atau tempat air lainnya.
2. Isilah wadah pertama dengan air dingin, wadah kedua dengan air hangat, dan wadah ketiga dengan air biasa. Letakkan wadah ketiga di antara wadah pertama dan kedua.
3. Masukkan tangan kanan kalian pada wadah pertama dan tangan kiri pada wadah kedua.
4. Angkat kedua tangan dan segera masukkan ke wadah ketiga secara bersamaan

Apa kesimpulan yang kalian dapatkan dari sensasi yang dirasakan tangan kalian? Apakah tangan kalian dapat menjadi alat ukur yang baik dalam pengukuran suhu?

Hasil pengamatan dari Aktivitas 6.1 menunjukkan bahwa tangan bukan alat pengukur suhu yang baik. Kedua tangan kalian merasakan hal yang berbeda saat berada di wadah ketiga padahal suhu air pada wadah ketiga tetap tidak berubah. Hanya karena keadaan awal kedua tangan kalian yang berbeda, kalian merasakan adanya perbedaan suhu pada wadah ketiga. Untuk itulah diperlukan suatu alat pengukur suhu yang dinamakan termometer. Untuk mengukur suhu sebuah benda, sentuhkan termometer dengan benda tersebut. Cermati kegiatan di bawah ini untuk semakin memahami panas atau dingin karena sifat bahan yang berbeda.



Ayo, Cermati!

Injak salah satu kaki kalian pada keset kaki dan satunya lagi pada logam, misalnya kaki kursi. Apakah ada perbedaan yang kalian rasakan dan apakah ada hubungannya dengan suhu?



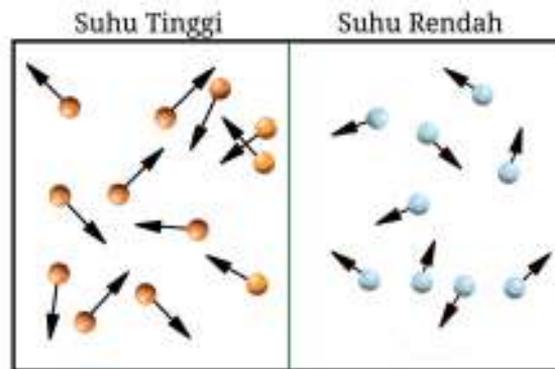
Gambar 6.2 Satu kaki pada keset kaki dan logam
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Pada umumnya orang akan menjawab bahwa logam lebih rendah suhunya daripada keset kaki. Keset kaki dan logam sesungguhnya berada dalam kesetimbangan termal. Apa itu kesetimbangan termal? Perhatikan Gambar 6.3. Air yang berbeda suhunya akan mencapai suhu yang sama ketika tidak lagi terjadi perpindahan panas dari air panas ke air dingin. Ketika suhu keduanya sama dikatakan terjadi kesetimbangan termal. Keset dan logam memberikan sensasi berbeda karena mempunyai sifat menghantarkan panas yang berbeda.



Gambar 6.3 Kesetimbangan termal
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Apa sebenarnya suhu itu? Suhu adalah besaran fisis yang dimiliki bersama oleh suatu sistem dengan sistem lainnya dalam keadaan setimbang termal. Suhu juga menunjukkan energi kinetik rata-rata yang dimiliki oleh partikel-partikel materi yang bergetar atau bergerak secara translasi atau lurus. Partikel-partikel juga dapat berotasi. Jika suatu materi menjadi lebih panas maka energi kinetik dari atom-atom atau molekul-molekul akan meningkat. Perhatikan Gambar 6.4 yang menunjukkan gerak partikel-partikel dengan kecepatan tertentu. Anak panah menunjukkan kecepatan partikel.



Gambar 6.4 Suhu sebagai energi kinetik rata-rata partikel
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Suhu merupakan besaran yang menunjukkan seberapa panas atau dingin suatu benda terhadap standar tertentu. Standar yang digunakan sebagai acuan pada alat ukur suhu adalah skala suhu. Cara kerja termometer memanfaatkan perubahan fisis yang bergantung pada perubahan suhu, yaitu sifat termometrik. Perubahan fisis ini dapat diamati melalui perubahan volume, perubahan hambatan listrik, perubahan sifat kemagnetan, dan perubahan sifat optik. Suhu zat yang diukur sama besarnya dengan skala yang ditunjukkan oleh termometer saat terjadi kesetimbangan termal antara zat dengan termometer. Dengan kata lain, suhu yang ditunjukkan oleh termometer sama dengan suhu zat yang diukur.

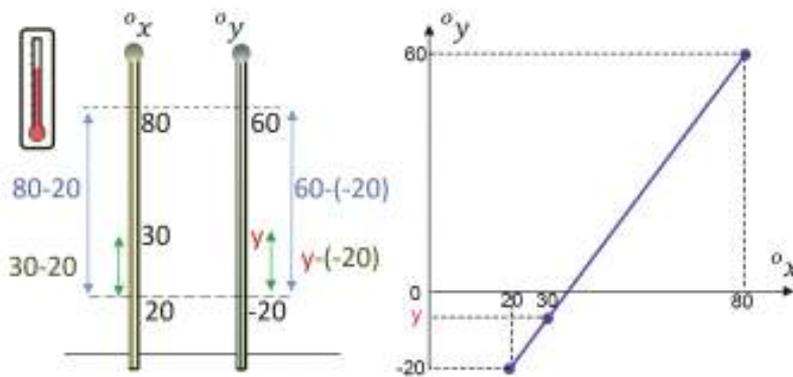


Ayo, Cermati!

Carilah informasi tentang dua termometer dengan sifat termometrik yang berbeda! Pahami cara kerjanya dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari.

2. Skala Suhu

Pembuatan termometer memerlukan penentuan suhu acuan. Suhu acuan yang sering digunakan adalah titik didih dan titik beku air murni pada tekanan udara 1 atm. Beberapa skala termometer yang dikenal saat ini adalah skala Celsius, skala Reamur, skala Fahrenheit, dan skala Kelvin. Konversi pembacaan skala dari satu termometer ke termometer lainnya menggunakan prinsip skala linier, yang artinya perbandingan panjang skala antar termometer bersifat linier. Perhatikan Gambar 6.5. Termometer x memiliki titik beku air $20^{\circ}x$ dan titik didih air $80^{\circ}x$. Suhu suatu cairan yang diukur dengan termometer x adalah $30^{\circ}x$, berapa suhu tersebut jika diukur dengan termometer Y ? Karena berlaku sifat linier maka kalian dapat menggunakan perbandingan panjang skala yang terbaca.



Gambar 6.5 Prinsip konversi pada termometer
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Dapat dituliskan,

$$\frac{30-20}{80-20} = \frac{y-(-20)}{60-(-20)}$$

$$y = -\frac{40}{6} = -\frac{20}{3}x$$



Ayo, Cek Pemahaman!

Buatlah soal tentang dua termometer dengan skala dan titik acuan berbeda serta namai kedua termometer tersebut! Tentukan hubungan antara kedua skala tersebut.

B. Kalor

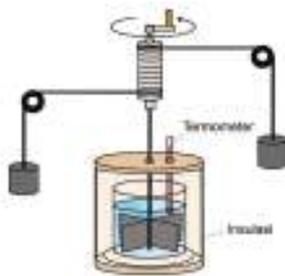
1. Pengertian Kalor

Saat sendok dingin dimasukkan ke dalam secangkir air teh panas, sendok dan air teh menjadi hangat ketika mencapai kesetimbangan termal. Interaksi yang menyebabkan perubahan suhu ini pada dasarnya adalah perpindahan energi dari satu bahan ke bahan lainnya. Energi yang ditransfer dari suatu benda ke benda yang lain karena perbedaan suhu disebut kalor.



Ayo, Berdiskusi!

Gesekkan terus-menerus kedua telapak tangan kalian dengan cukup kuat dan cepat. Apa yang terjadi dengan suhu tangan kalian? Apa yang berpindah dalam peristiwa ini? Bagaimana peristiwa ini dapat terjadi?



Gambar 6.6 Percobaan penentuan kalor oleh Joule
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Untuk membuktikan bahwa kalor adalah salah satu bentuk energi maka James Prescott Joule (1818-1889) melakukan percobaan dengan alat yang sederhana seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.6. Ada beban yang digantung dan batangan logam untuk mengaduk air dalam wadah.

Ketika beban jatuh ke bawah maka energi potensial berubah menjadi energi kinetik bagi batangan logam yang ada di dalam air. Batangan logam berputar dan mengaduk air. Gesekan antara batangan logam dengan air menaikkan suhu air. Jadi, ada perubahan energi kinetik menjadi kalor yang digunakan untuk menaikkan suhu air. Kesimpulan yang didapatkan adalah untuk menaikkan suhu 1 gram air sebanyak 1 °C dibutuhkan energi sebesar 4,2 joule. Besar energi tersebut dihitung dari perubahan energi potensial beban yang turun. Energi sebesar 4,2 joule (J) ini dikatakan sebagai 1 kalori (kal) atau $1 \text{ J} = 0,24 \text{ kal}$.



Ayo, Berpikir Kritis!

Berdasarkan eksperimen Joule, apakah proses pemanasan merupakan satu-satunya cara untuk menaikkan suhu benda? Jelaskan jawaban kalian.

2. Pengaruh Kalor terhadap Perubahan Suhu

Apakah setiap materi akan mengalami perubahan suhu yang sama ketika diberikan kalor yang sama? Jawabannya adalah tidak! Begitu juga sebaliknya, setiap materi akan menyerap kalor dengan besar yang berbeda meskipun kenaikan suhu materi tersebut sama besar. Dengan demikian, ada faktor lain yang memengaruhi hubungan antara kalor yang keluar-masuk materi dengan perubahan suhu materi tersebut. Faktor-faktor ini akan kalian pelajari pada aktivitas selanjutnya.

Aktivitas 6.2

Untuk menyelidiki pengaruh kalor terhadap perubahan suhu yang berbeda, lakukanlah percobaan berikut secara berkelompok. Kalian perlu menyiapkan sebuah gelas *beaker*, pemanas spiritus, termometer, *stopwatch* atau arloji, kaki tiga, neraca, statif, dan air.

Lakukanlah langkah-langkah berikut:

1. Ukur massa gelas *beaker* kosong, kemudian masukkan air ke dalam gelas beaker dan timbang massanya menggunakan neraca. Massa air sama dengan massa gelas *beaker* berisi air dikurangi massa gelas beaker kosong.
2. Masukkan termometer ke dalam air menggunakan statif. Ukur suhu awal air.
3. Panaskan air pada gelas *beaker* menggunakan pembakar spriritus hingga mendidih. Hati-hati saat memanaskan air jangan sampai kalian terkena api atau air panas.
4. Ukur suhu air yang dipanaskan setiap tiga menit. Gunakan *stopwatch* atau arloji untuk mengukur waktu.
5. Ulangi langkah 1 sampai 6 dengan massa air yang berbeda. Catat semua data ke dalam tabel data hasil pengamatan.

Tugas dan pertanyaan

1. Buatlah grafik hubungan antara waktu dengan suhu air untuk setiap massa air dan hubungan perubahan suhu dengan massa air.
2. Faktor-faktor apa yang memengaruhi banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air?
3. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari grafik tersebut.

Kalor jenis menunjukkan kemampuan materi menyerap kalor sehingga suhunya naik. Kalor jenis c menyatakan besar kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg suatu benda sebesar 1°C . Semakin besar kalor jenis benda makin kecil kenaikan suhunya. Mana yang lebih mudah antara memanaskan 2 kg logam besi dengan 1 kg logam besi sebesar 1°C ? Semakin besar massanya maka energi kalor yang dibutuhkan semakin besar untuk perubahan suhu tertentu.

Kalor jenis c menunjukkan besaran karakteristik dari zat.

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Besar kalor Q yang dibutuhkan untuk mengubah suhu benda tertentu sebanding dengan massa m dan perubahan suhu ΔT .

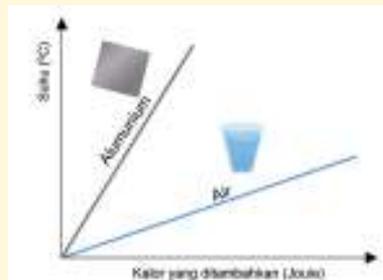
$$Q = m c \Delta T \quad (6.1)$$

Dengan : c = kalor jenis ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$),
 Q = kalor (J),
 m = massa benda (kg) dan
 ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)



Ayo, Berpikir Kritis!

Perhatikan grafik dalam Gambar 6.7 yang menunjukkan kenaikan suhu dengan kalor yang diserap untuk aluminium dan air yang bermassa sama.



Gambar 6.7 Kenaikan suhu terhadap kalor
 sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Apakah air atau aluminium yang membutuhkan kalor lebih banyak untuk kenaikan suhu yang sama? Jelaskan!



Ayo, Cek Pemahaman!

1. Sebatang logam besi bermassa 0,5 kg diberikan kalor sebanyak 900 joule. Jika suhu mula-mula besi tersebut adalah 25°C , tentukan suhu akhir logam besi tersebut! $c_{\text{besi}} = 450 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
2. Jelaskan pengaruh massa dan perubahan suhu pada kalor yang diperlukan berdasarkan pemahaman konsep suhu sebagai ukuran EK rata-rata partikel!

Kalor jenis untuk berbagai materi diberikan dalam Tabel 6.1

Tabel 6.1 Kalor Jenis Berbagai Materi

Materi	Kalor Jenis ($\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$)
Aluminium	900
Tembaga	390
Kaca	840
<i>Stainless steel</i>	420
Besi	450
Bata	840
Perak	230
Kayu	1760
Alkohol	2400
Air	4180
Es (sekitar -5°C)	2100
Udara	1000

sumber: Yonanes Surya, Suhu dan termodinamika (Tangerang, PT Kandel, 2009)

a. Kapasitas kalor

Kaitan antara massa m dan kalor jenis c dapat dihubungkan dengan suatu besaran yang disebut dengan kapasitas kalor.

Untuk suatu benda, faktor $m c$ dapat dipandang sebagai satu kesatuan. Kapasitas kalor merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu zat sebesar 1°C atau 1 K .

$$C = c m \quad (6.2)$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (6.3)$$

Dengan : C = satuan J/K,
 Q = kalor (J), dan
 ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$).



Ayo, Berpikir Kritis!

Pada siang hari suhu di gurun pasir dapat mencapai 38°C dan pada malam hari suhu dapat mencapai $-3,9^\circ\text{C}$. Jelaskan mengapa demikian.

b. Asas Black

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Energi hanya dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk energi yang lain. Asas Black berlaku apabila dua zat yang memiliki suhu yang berbeda dicampurkan, maka zat yang memiliki suhu tinggi akan melepaskan kalor dan memberikannya pada zat yang memiliki suhu rendah sehingga suhu campuran dari kedua zat tersebut menjadi sama.



Gambar 6.8 Perpindahan panas
Sumber: Uriel Mont/Pexels.com (2020) dan Ron Lach/Pexel.com (2021)

Jika dua benda yang memiliki suhu berbeda saling berinteraksi akan terjadi perpindahan kalor. Kalor yang dilepaskan oleh suatu benda harus sama dengan kalor yang diterima oleh benda lain.

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}}$$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2 \quad (6.4)$$



Ayo, Cek Pemahaman!

1. Air sebanyak 2 liter dengan suhu mula-mula 20°C dicampurkan ke dalam air sebanyak 3 liter dengan suhu mula-mula 80°C. Tentukan suhu akhir campuran tersebut!
2. Suatu wadah berisikan air sebanyak 100 gram dengan suhu 40 °C. Kemudian besi panas bermassa 400 gr dan bersuhu 70°C dimasukkan ke dalam air tersebut. Tentukan suhu campuran jika wadah diabaikan dalam penyerapan kalornya!

3. Pengaruh Kalor pada Perubahan Wujud

Dalam kehidupan sehari-hari kalian menemukan air yang dipanaskan terus menerus akan menjadi uap, es batu yang disimpan di atas wadah akan mencair, dan kapur barus yang disimpan di tempat terbuka akan habis tak tersisa. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa air, es, dan kapur barus mengalami perubahan wujud ketika berinteraksi dengan kalor dari lingkungan. Wujud zat ada tiga macam, yaitu padat, cair, dan gas. Apabila suatu zat menerima atau melepas kalor, maka zat tersebut akan mengalami perubahan wujud. Ketika zat mengalami berbagai proses perubahan wujud, seperti melebur, membeku, menguap, mengembun, dan menyublim maka proses tersebut tidak mengalami perubahan suhu walaupun terdapat pelepasan atau penyerapan kalor.

Kalor yang diperlukan atau dilepaskan tiap satuan massa zat saat terjadi perubahan wujud dinamakan kalor laten. Kalor laten memenuhi persamaan:

$$L = Q/m$$

$$Q = m L \quad (6.5)$$

Dengan : Q = kalor yang diserap atau dilepas (J),
 L = kalor laten ((J/kg),
 m = massa zat (kg).

Berdasarkan perubahan wujud yang terjadi, kalor laten mempunyai beberapa jenis. Zat yang mengalami perubahan wujud dari padat menjadi cair (melebur), kalor latennya dinamakan kalor lebur, sedangkan ketika membeku dinamakan kalor beku. Besarnya kalor lebur sama dengan kalor beku. Apabila zat mengalami perubahan wujud dari cair ke uap (menguap), kalor latennya dinamakan kalor uap, sedangkan ketika mengembun dinamakan kalor embun. Besarnya kalor uap sama dengan kalor embun. Kalor lebur dan kalor uap untuk berbagai zat ditunjukkan pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Kalor Lebur dan Kalor Uap Berbagai Zat

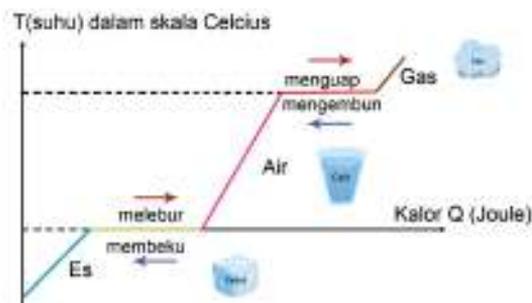
Zat	Kalor Lebur(J/Kg)	Kalor Uap (J/Kg)
Helium	5230	209000
Raksa	11800	272000
Alkohol	104200	853000
Air	334000	2256000
Perak	88300	2336000
Emas	64500	1578000



Ayo, Berpikir Kritis!

Apakah ada perbedaan titik didih jika air dimasak di lokasi sekitar permukaan air laut dengan air yang dimasak di lokasi sekitar puncak gunung? Berikan penjelasan fisisnya!

Kalor diperlukan oleh suatu zat untuk mengalami perubahan wujud serta kenaikan suhu. Perhatikan ilustrasi di bawah ini.



Gambar 6.9 Perubahan suhu terhadap perubahan wujud
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 6.9 merupakan grafik suhu terhadap kalor untuk spesimen air dengan wujud awal padat (es). Perhatikan ketika es melebur menjadi air, hal itu terjadi pada suhu 0°C dan ketika air menjadi uap, hal itu terjadi pada suhu 100°C dengan tekanan udara sekitar bernilai 1 atm.

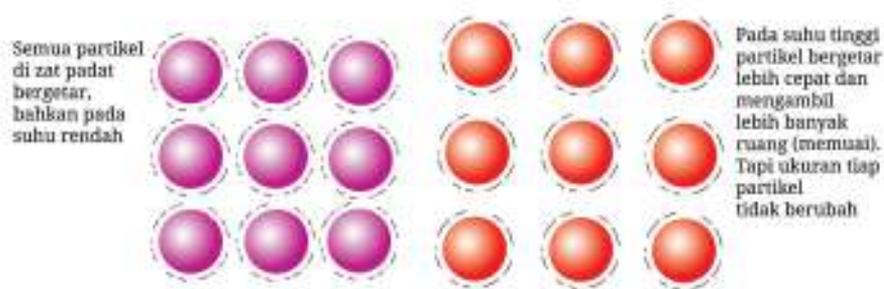


Ayo, Cek Pemahaman!

1. Berapa kalor yang dibutuhkan agar es bermassa 500 gram bersuhu -4°C menjadi uap bersuhu 100°C ? Data kalor jenis, kalor lebur dan kalor uap laten dapat dilihat pada Tabel 6.1 dan 6.2.
2. Sejumlah air dengan suhu 30°C diberikan pada es bermassa 100 gram dengan suhu -5°C . Jika hanya 50% es yang mencair berapa massa air yang dicampurkan?

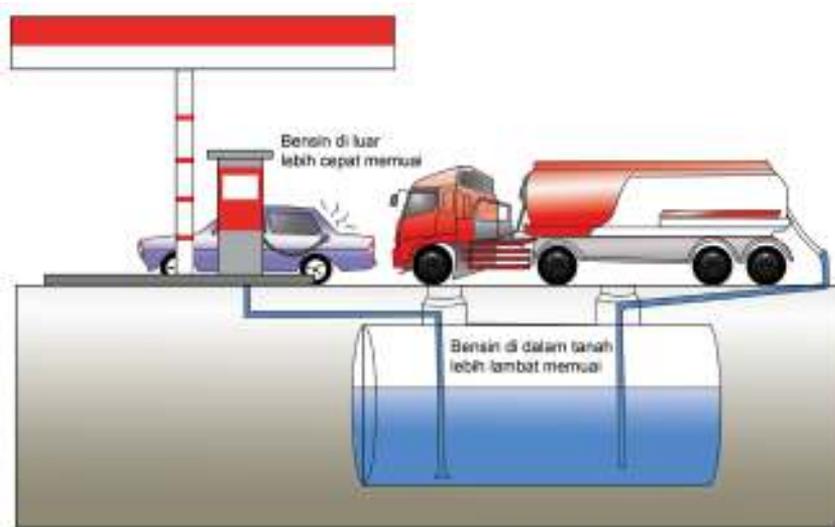
4. Pengaruh Kalor pada Pemuaiian

Secara umum, materi yang dipanaskan memuai dan menyusut jika didinginkan. Pertambahan ukuran disebabkan oleh makin cepatnya gerak atau getaran partikel-partikel sehingga jarak antar partikel makin besar. Lihat Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Pertambahan jarak antara partikel
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Contoh pemuaiian termal adalah pemuaiian bensin. Perhatikan Gambar 6.11 yang menunjukkan tangki bawah tanah dari suatu pompa bensin. Pada siang hari bensin yang terdapat dalam tangki bawah tanah lebih rendah suhunya dibandingkan jika bensin sudah berada dalam tangki mobil. Saat bensin memenuhi tangki mobil, cairan bahan bakar ini memuai lebih cepat sehingga bensin dapat menetes keluar dari mobil.



Gambar 6.11 Tangki bawah tanah pada pompa bensin dan bensin menetes
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Perubahan suhu dan jenis materi jelas memengaruhi pemuaiian. Ketika dipanaskan, setiap materi tidak memuai dengan ukuran yang sama. Kemampuan materi untuk bertambah panjang akibat pemanasan dinyatakan dengan koefisien muai panjang.

Ayo, Berpikir Kritis!

Gambar 6.12 menunjukkan susunan partikel di dalam sebuah materi sebelum dan sesudah dipanaskan.



Gambar 6.12 Pengaruh ukuran mula-mula pada pemuaiian
sumber : Marcha Roselini Y/Kemendikbudristek (2022)

Bandungkan kedua susunan tersebut. Jelaskan faktor apa yang berpengaruh pada pemuaiian!

Pemuaian terjadi pada panjang, luas, dan volume benda. Pemuaian panjang dapat didekati dengan pengamatan logam berbentuk kabel tipis (luas penampang kecil) sehingga dapat menggunakan model satu dimensi. Nilai koefisien muai panjang α didefinisikan oleh persamaan:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L_o \Delta T)} \quad (6.6)$$

Dengan : α = koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}$),
 ΔL = perubahan panjang (m),
 L_o = panjang mula-mula (m) dan
 ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Di bawah ini adalah tabel koefisien muai panjang untuk beberapa jenis zat

Tabel 6.3. Tabel koefisien muai panjang beberapa zat

Zat	Koefisien muai panjang	Zat	Koefisien muai panjang
Aluminium	24×10^{-6}	Udara	$3,67 \times 10^{-4}$
Kuningan	19×10^{-6}	Alkohol	$1,12 \times 10^{-4}$
Tembaga	17×10^{-6}	Benzena	$1,24 \times 10^{-4}$
Kaca (biasa)	9×10^{-6}	Aseton	$1,5 \times 10^{-4}$
Timbal	29×10^{-6}	Raksa	$1,82 \times 10^{-4}$
Invar	$0,9 \times 10^{-6}$	Bensin	$9,6 \times 10^{-4}$

Sumber: Yonanes Surya, Suhu dan termodinamika (Tangerang, PT Kandel, 2009)



Ayo, Cermati!

Sebatang logam timbal dengan panjang mula-mula 1,5 meter dinaikan suhunya dari 10°C menjadi 30°C . Koefisien muai panjang timbal adalah $29 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$. Tentukan panjang timbal itu sekarang!

Untuk benda yang luasnya tidak dapat diabaikan, seperti pelat persegi tipis atau pelat berbentuk cakram, maka pemuaian luas ini harus diperhitungkan. Mudah atau sulitnya pemuaian luas ini dinyatakan oleh koefisien muai luas:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T} \quad (6.7)$$

Dengan : β = koefisien muai luas ($^{\circ}\text{C}$),
 ΔA = perubahan luas (m^2),
 A_0 = luas mula-mula (m^2) dan
 ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Apa hubungan antara koefisien muai panjang (α) dengan koefisien muai luas (β)? Untuk jenis materi yang sama, nilai $\beta = 2\alpha$.



Ayo, Berdiskusi!

Analisis pemuaian pelat persegi dengan panjang sisi mula-mula L_0 . Setelah dipanaskan dengan perubahan suhu ΔT panjang sisi persegi menjadi L . Jika koefisien muai panjang α , cobalah kalian buat penurunan matematisnya untuk mendapatkan nilai koefisien muai luas $\beta = 2\alpha$.

Pemuaian volume dinyatakan dengan koefisien muai volume, yaitu

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \quad (6.8)$$

Dengan : γ = Koefisien muai volume ($^{\circ}\text{C}$),
 ΔV = Perubahan volume (m^3),
 V_0 = Volume mula-mula (m^3) dan
 ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$).

nilai $\gamma = 3\alpha$ jika α diketahui.



Ayo, Berpikir Kritis!



Jika suatu cincin logam dipanaskan, apakah ukuran lubang cincin berkurang, tetap atau bertambah?

Gambar 6.13 Cincin logam yang dipanaskan
 sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

C. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi atau radiasi.

1. Konduksi

Perpindahan kalor yang tidak diikuti perpindahan partikel zat disebut konduksi. Ketika materi dipanaskan, atom-atomnya bergetar lebih cepat karena mendapatkan energi. Getaran ini menyebabkan atom - atom ini menumbuk atom tetangganya sehingga energi berpindah.

Khusus pemanasan logam, elektron-elektron bebas pada atom logam juga mendapatkan energi sehingga bergerak lebih cepat dan menumbuk elektron-elektron yang lebih jauh. Perpindahan kalor oleh elektron lebih cepat daripada perpindahan kalor yang diakibatkan getaran antar atom. Zat yang mudah menghantarkan kalor disebut konduktor, misalnya logam. Zat yang sukar menghantarkan kalor disebut isolator, misalnya plastik dan kayu. Laju perpindahan kalor secara konduksi (laju kalor konduksi) sebanding dengan luas penampang dan perbedaan suhu antara titik yang lebih panas dan lebih dingin.



Gambar 6.14 Proses Konduksi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Persamaan yang menghubungkan beberapa besaran yang mempengaruhi laju kalor konduksi ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A\Delta T}{\Delta x} = k \frac{A(T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}})}{\Delta x} \quad (6.9)$$

Dengan :

- $H = Q/t =$ laju kalor konduksi (W) atau (J/s),
- $A =$ luas permukaan (m^2),
- $\Delta x =$ tebal bahan (m),
- $k =$ konduktivitas termal bahan ($\text{Jm}^{-1}\text{K}^{-1}$), dan
- $T =$ suhu ($^{\circ}\text{C}$ atau K).

Beberapa nilai konduktivitas termal bahan (k) disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 6.4. Tabel konduktivitas termal beberapa zat

Zat	k (W/m.K)	Zat	k (W/m.K)
Perak	406	Gabus	0,04
Alumunium	205	Bulu halus	0,02
Perunggu	109	Kapuk	0,03
Besi	50	Es	1,6
Air	0,6	Kaca	0,8
Kayu	0,13	Bensin	$9,6 \times 10^{-4}$

Sumber : Yonanes Surya, Suhu dan termodinamika (Tangerang, PT Kandel, 2009), p.20

Salah satu aplikasi dari konduksi adalah solder listrik. Panas dari solder listrik akan dialirkan melalui timah. Konsep pemuaian dan perubahan wujud benda juga terjadi pada proses tersebut.



Gambar 6.15. Solderan
Sumber : Blaz Erzetic/Pexels.com (2019)

2. Konveksi



Gambar 6.16 Proses konveksi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Tangan akan terasa panas apabila didekatkan di atas api karena pemanasan udara di sekitar api. Proses perpindahan energi panas disertai perpindahan partikel disebut konveksi. Energi panas ini umumnya dibawa oleh fluida (sesuatu yang mengalir).

Terdapat dua jenis konveksi, yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi ini terjadi karena adanya perbedaan massa jenis pada bagian-bagian fluida tersebut. Ketika dipanaskan, bagian fluida yang berdekatan dengan sumber panas akan memuai sehingga massa jenisnya berkurang (terjadi pemuaian volume). Akibatnya bagian fluida yang massa jenisnya lebih rendah ini akan berpindah ke atas. Sedangkan konveksi paksa adalah konveksi yang dibantu oleh benda eksternal seperti kipas, pompa dan pengaduk.

Persamaan yang menghubungkan beberapa besaran yang memengaruhi laju kalor konveksi ditunjukkan dengan persamaan di bawah:

$$H = \frac{Q}{t} = hA\Delta T \quad (6.10)$$

Dengan : $H = Q/t$ = laju kalor konveksi (W) atau (J/s),
 A = luas permukaan yang bersentuhan dengan fluida (m^2),
 ΔT = beda suhu antara benda dan fluida ($^{\circ}C$ atau K) dan
 h = koefisien konveksi ($Wm^{-2}K^{-1}$).

Cuaca merupakan salah satu aplikasi dari konveksi. Perbedaan suhu dan kelembaban mempengaruhi pergerakan awan dan akan berakibat pada cuaca di suatu daerah.

3. Radiasi

Mengapa tangan kita tetap merasa panas walau tidak berada di atas api? Tangan kita akan tetap merasa panas karena perpindahan kalor melalui proses radiasi.



Gambar 6.17. Proses radiasi
 sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Setiap benda memancarkan ataupun menyerap radiasi menurut persamaan **Stefan-Boltzmann**. Persamaan yang menghubungkan beberapa besaran yang memengaruhi laju kalor radiasi ditunjukkan oleh persamaan berikut ini.

$$H = \frac{Q}{t} = eA\sigma T^4$$

Dengan : $H = Q/t$ = laju kalor radiasi (W) atau (J/s),
 A = luas permukaan benda (m^2),
 T = suhu mutlak (K),
 e = emisivitas benda ($0 \leq e \leq 1$), dan
 σ = konstanta Boltzmann yang besarnya
 $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. (6.11)

Emisivitas merupakan karakteristik suatu benda yang bergantung pada jenis zat dan permukaannya. Permukaan yang hitam kusam, seperti arang mempunyai emisivitas mendekati 1, yang berarti dapat memancarkan dan menyerap radiasi sangat baik.

Sementara permukaan yang putih mengkilat mempunyai emisivitas mendekati 0 yang menunjukkan benda kurang baik dalam memancarkan dan menyerap radiasi. Fenomena radiasi sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, salah satu pemanfaatan dari fenomena radiasi adalah *oven microwave* yang digunakan untuk memasak.



Gambar 6.20. *Oven Microwave*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

4. Aplikasi Perpindahan Kalor

Perhatikan bagian-bagian termos di bawah ini.



Gambar 6.21. *Bagian-bagian termos*
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Mengapa penutup terbuat dari plastik?
Mengapa ada permukaan mengkilat?
Mengapa ada ruang vakum?

Termos didesain dengan pemahaman bahwa perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi atau radiasi.

Aktivitas 6.4

Desain suatu penyelidikan untuk mengetahui kemampuan pembungkus wadah menghantarkan panas. Sediakan 3 botol selei atau gelas dengan penutup, ketiganya harus identik. Tiga jenis pembungkus adalah *bubble wrap* atau plastik, kertas jenis apa saja dan potongan kain.

1. Alternatif pertama: jika tidak ada termometer, masukkan potongan coklat dalam setiap wadah
2. Alternatif kedua: jika ada termometer, masukkan air panas dalam setiap wadah

Pikirkan variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol dalam kegiatan ini. Tunjukkan alat dan bahan, prosedur kerja, pengambilan dan pengolahan data serta kesimpulan.

Pertanyaan

1. Carilah nilai konduktivitas termal dari setiap material.
2. Tentukan laju perpindahan kalor secara konduksi, jika mempunyai data suhu.



Intisari

Kalor adalah energi yang mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Ketika kalor berpindah pada suatu materi, maka terjadi perubahan fisis pada materi. Kalor dapat mengubah wujud dan suhu benda. Besar kalor yang dibutuhkan untuk perubahan wujud benda berkaitan dengan kalor laten, sedangkan besar kalor yang dibutuhkan untuk perubahan suhu berkaitan dengan kalor jenis benda tersebut.

Perubahan fisis akibat penyerapan atau pelepasan kalor oleh suatu materi juga adalah perubahan ukuran dari materi tersebut. Materi akan mengalami pemuaian ketika dipanaskan. Perubahan ukuran suatu materi baik pemuaian panjang, pemuaian luas, maupun pemuaian volume, terkait erat dengan nilai koefisien muai materi tersebut.

Ketika dua benda bersentuhan, maka secara spontan akan terjadi perpindahan energi panas tersebut. Perpindahan kalor akan berhenti ketika kondisi benda sudah berada dalam kesetimbangan termal. Perpindahan kalor itu sendiri dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.



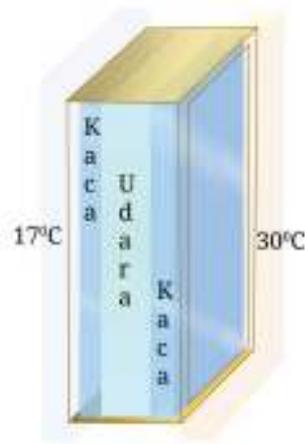
Refleksi

Setelah kalian melakukan berbagai aktivitas pembelajaran dalam bab ini, coba refleksikan bagaimana kalian memahami konsep kalor beserta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.



Assesmen

1. Sebuah jendela kaca di desain dengan bentuk seperti gambar di samping. Apabila konduktivitas termal kaca dan udara masing-masing adalah $0,7 \text{ w/mK}$ dan $0,03 \text{ w/mK}$. Apabila suhu di dalam adalah 17° dan di luar adalah 30°C . Tentukan suhu kaca yang bersentuhan dengan udara di dalam jendela (abaikan perpindahan kalor karena konveksi dan anggaplah ketebalan kaca kiri sama dengan ketebalan kaca kanan serta ketebalan udara adalah dua kali ketebalan salah satu kaca).



2. Sebuah sistem pendingin di dalam sebuah mobil terdiri atas sistem tertutup yang menyerap panas dari motor dan sebuah radiator kemudian memindahkan panas tersebut ke lingkungan. Berikut tabel untuk menguji keefektifan dari tiga sistem pendingin.

Pendingin	Titik Lebur	Titik Didih	Kalor jenis ($\text{Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$)
A	-40°C	95°C	4800
B	-25°C	25°C	5200
C	0°C	100°C	3900

Dari data di atas, pendingin manakah yang lebih efektif? Berikan alasan kenapa dua pendingin lain tidak cocok untuk dijadikan sebagai pendingin.

3. Wadah kosong yang terbuat dari logam tembaga pada suhu 25°C dengan volume 60 liter diisi bensin sampai penuh. Pada suhu 55°C , Apakah cairan bensin akan tumpah keluar dari wadah tersebut? Jika cairan bensin tumpah, berapa volume bensin yang akan tumpah tersebut? Data koefisien muai untuk logam tembaga dan cairan bensin dapat dilihat pada Tabel 6.3.

4. Tiga buah cairan A, B, dan C dengan tiga proses pencampuran berbeda, yaitu cairan A dengan cairan B, cairan A dengan cairan C, dan cairan B dengan cairan C. Berikut tabel data dari proses pencampuran tersebut.

Sebelum pencampuran			Setelah pencampuran		
Cairan A	Cairan B	Cairan C	Cairan A & B	Cairan A & C	Cairan B & C
2 Kg, 20°C	1 Kg, 60°C	4 kg, 40°C	40°C	30°C	?

Menurut kalian, berapakah suhu akhir campuran cairan B dengan cairan C? Berikan argumentasi kalian dalam bentuk perhitungan yang sistematis!

5. Dua buah logam berbentuk balok dengan ukuran dan suhu yang sama yaitu $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$. Logam yang pertama terbuat dari perak dan logam yang kedua terbuat dari besi dengan beberapa data sebagai berikut.

Zat	Konduktivitas (W/m.K)	Kalor Jenis (J/Kg.K)	Massa jenis (kg/m^3)
Perak	406	230	1050
Besi	205	450	7874

Jika masing-masing logam tersebut diletakkan sepotong es batu yang memiliki massa dan suhu yang sama di atas luasan $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$, jelaskan es batu pada logam mana yang akan lebih cepat mencair! Berikan argumentasimu melalui analisis data pada tabel yang diberikan!

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Fisika untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Marianna Magdalena Radjawane, Alvius Tinambunan, Lim Suntar Jono
ISBN : 978-623-472-721-0 (jil.1)

BAB 7

Termodinamika

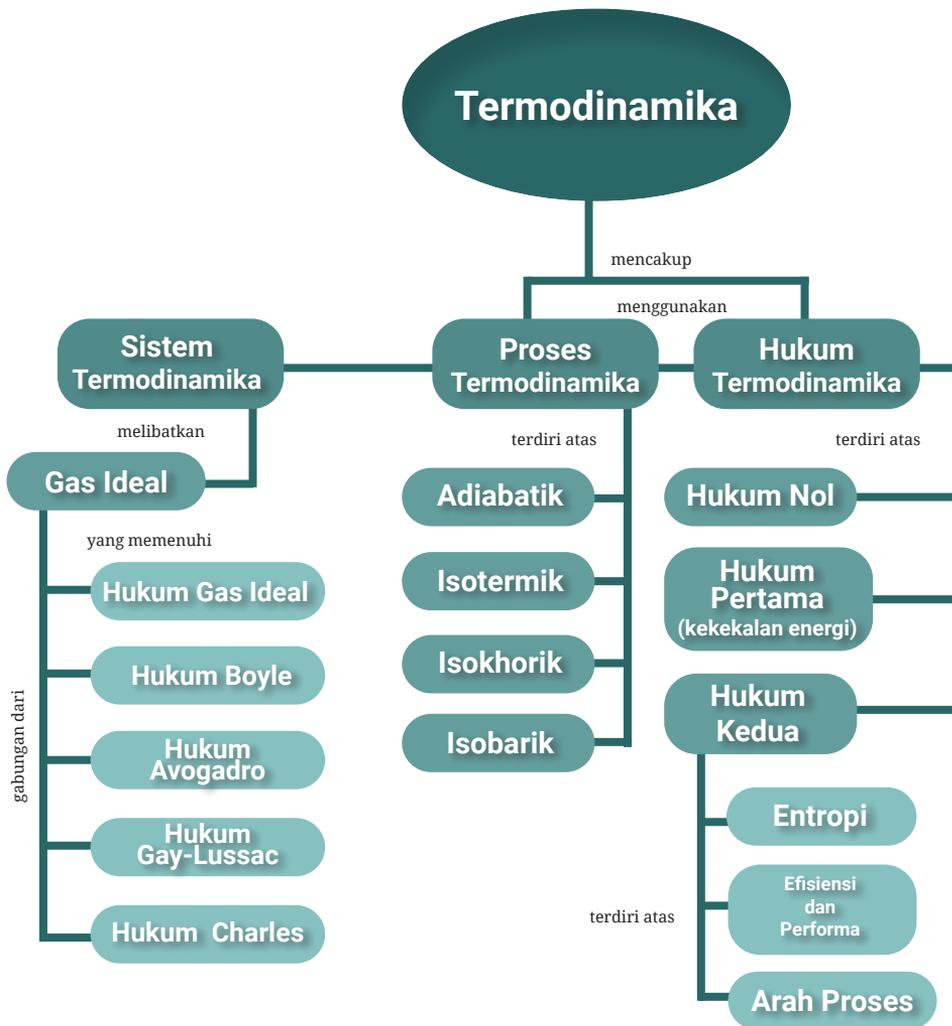
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menerapkan teori kinetik gas untuk menganalisis sifat-sifat gas, menganalisis berbagai hukum gas yang membentuk persamaan gas ideal, menganalisis proses-proses termodinamika, menerapkan hukum I Termodinamika dalam penyelesaian masalah sehari-hari, membedakan tiga pernyataan tentang Hukum II Termodinamika dan menjelaskan cara kerja dan efisiensi mesin kalor dan pompa kalor.

Kata-kata kunci:

- Termodinamika
- Sistem
- Lingkungan
- Gas ideal
- Energi dalam
- Kalor
- Usaha
- Entropi
- Proses termodinamika
- Siklus termodinamika
- Variabel keadaan
- Persamaan keadaan
- Diagram p-V

Peta Konsep



Perhatikan Gambar 7.1 tentang perubahan bentuk energi dalam tubuh manusia. Lemak disimpan dalam tubuh manusia dan dapat diubah menjadi usaha dan kalor.

Mengapa metabolisme dalam tubuh makhluk hidup memerlukan hukum-hukum termodinamika? Apa yang disampaikan oleh hukum termodinamika?



Gambar 7.1 Perubahan bentuk energi dalam tubuh manusia

sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Apakah mesin mobil dapat 100% efisien? Apakah panas yang terbuang oleh mobil dapat digunakan lagi untuk menggerakkan mobil? Dapatkah kalian menyebutkan beberapa transformasi energi yang terjadi dalam pembangkit listrik sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 7.2?



Gambar 7.2 Pembangkit tenaga listrik batu bara
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Mengapa hasil pembakaran kayu mempunyai entropi lebih besar daripada kayu sebelum terbakar? Apa yang dimaksud dengan entropi? Apa hubungannya dengan energi?



Gambar 7.3 Kayu yang terbakar
Sumber: Jens Mähne/pexels (2017)

Perhatikan Gambar 7.4 yang menunjukkan wadah terinsulasi dengan dua ruang terpisah. Satu ruang berisi gas dan satu ruang lainnya merupakan vakum. Jika dinding pemisah dipindahkan maka wadah akan terisi penuh dengan gas. Dapatkah gas yang sudah terisi penuh kembali ke keadaan semula, yang ditunjukkan oleh Gambar 7.4a?



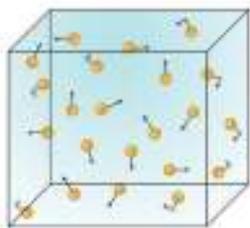
Gambar 7.4 (a) Sebelum ekspansi gas dan (b) Sesudah ekspansi gas
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Contoh penerapan hukum termodinamika didapati dalam metabolisme tubuh manusia, lemari es, mesin kendaraan bermotor, pendingin ruangan (AC) dan pembangkit listrik.

Termodinamika mempelajari tentang pengaruh usaha, kalor dan energi pada suatu sistem serta kualitas dan kuantitas energi sebelum dan sesudah digunakan.

A. Gas Ideal

1. Pengertian Gas



Gambar 7.5 Struktur molekul gas
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Susunan molekul gas diberikan dalam Gambar 7.5.

Perhatikan Tabel 7.1 yang berisikan koefisien muai volume dari beberapa materi.

Tabel 7.1 Koefisien Muai Volume Beberapa Materi

Materi	Wujud	Koefisien Muai Volume ($^{\circ}\text{C}$)
Besi	Padat	35×10^{-6}
Air	Cair	210×10^{-6}
Udara	Gas	3400×10^{-6}

Berdasarkan kedua informasi ini, apa yang menjadi keistimewaan gas?

Gas menempati ruang dengan cepat dan juga memuai dengan cepat. Kedua pengamatan ini dan informasi lainnya menjadi dasar pemahaman teori kinetik gas. Asumsi-asumsi yang dibangun oleh teori kinetik gas adalah sebagai berikut.

1. Molekul-molekul gas bergerak secara acak.
2. Gaya tarik menarik antara molekul-molekul gas diabaikan.
3. Jumlah molekul gas sangat besar dengan jarak antara molekul lebih besar dibandingkan dengan ukuran molekul gas sehingga volume total semua molekul dapat diabaikan terhadap volume wadah.
4. Tumbukan bersifat elastis antara molekul dengan molekul dan molekul dengan dinding wadah sehingga tidak ada energi yang hilang.

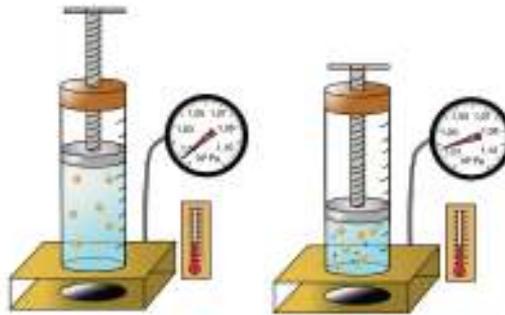
Berdasarkan teori kinetik gas, tekanan gas disebabkan oleh tumbukan antara molekul-molekul gas dengan dinding wadah dan suhu gas merupakan ukuran energi kinetik rata-rata dari molekul-molekul gas.

2. Hukum-Hukum tentang Gas

Perilaku gas dalam kondisi tertentu dinyatakan dalam hukum-hukum tentang gas.

a. Hukum Boyle

Robert Boyle (1627–1691), seorang fisikawan Irlandia, mempelajari hubungan antara tekanan (p) dan volume (V) dari gas yang dibatasi pada keadaan tertentu. Gambar 7.6 memperlihatkan skema percobaan dari Boyle. Perhatikan suhu, volum, tekanan dan jumlah partikel (jumlah mol). Apa yang dapat kalian simpulkan tentang hubungan antara tekanan (p), volume (V), suhu (T), dan jumlah mol (n)?



Gambar 7.6 Eksperimen Hukum Boyle
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Hukum Boyle menyatakan bahwa hasil kali antara tekanan dan volume adalah suatu bilangan konstan pada suhu dan jumlah mol tetap atau bisa dituliskan sebagai berikut.

$$pV = \text{konstan} \quad (7.1)$$

pada suhu dan jumlah mol tetap

Jadi untuk dua keadaan gas yang berbeda, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.6, maka berlaku persamaan seperti di bawah ini.

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

Dengan p_1 = tekanan gas mula-mula (atm, cmHg, N/m², Pa),

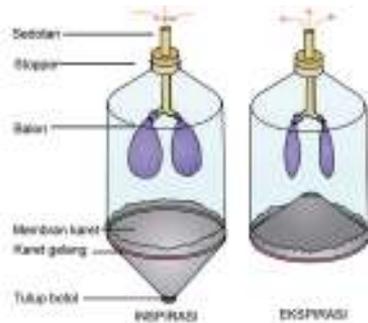
p_2 = tekanan gas akhir (atm, cm Hg, N/m², Pa),

V_1 = volume gas mula-mula (m³, cm³),

V_2 = volume gas akhir (m³, cm³).

Lakukan Aktivitas 7.1 untuk menunjukkan penerapan dalam pemahaman Hukum Boyle.

Aktivitas 7.1



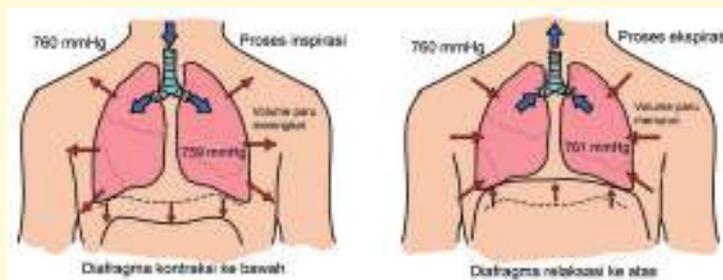
Gambar 7.7 Paru-paru buatan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Buatlah paru-paru dengan merujuk pada Gambar 7.7. Pikirkan alat dan bahan yang digunakan serta cara membuatnya. Jelaskan cara kerja paru-paru ketika bernapas dengan menggunakan hukum Boyle.



Tahukah Kalian

Pada saat inspirasi tekanan dalam alveoli lebih kecil daripada tekanan atmosfer sedangkan pada saat ekspirasi tekanan dalam alveoli lebih besar daripada tekanan atmosfer. Besarnya tekanan dalam alveoli dapat bervariasi.

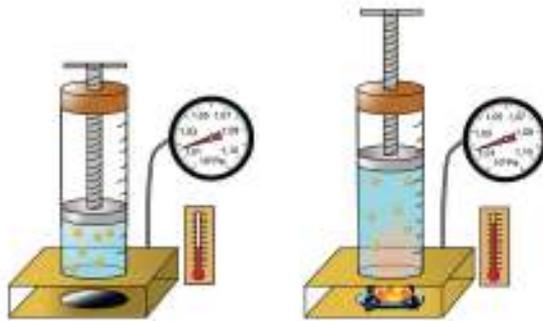


Gambar 7.8 Tekanan udara pada saat inspirasi dan ekspirasi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

b. Hukum Charles

Jacques Alexandre César Charles (1746 – 1823), seorang ilmuwan asal Prancis, mempelajari tentang hubungan volume gas (V) dan suhu (T) pada keadaan tertentu.

Gambar 7.9. memperlihatkan skema percobaan hukum Charles. Apa yang dapat kalian simpulkan tentang hubungan antara volume V , suhu T , tekanan p dan jumlah mol n ?



Gambar 7.9 Eksperimen Hukum Charles
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Charles menemukan bahwa pada tekanan dan jumlah mol konstan, volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlak. Secara matematis hukum Charles dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{V}{T} = \text{konstan} \quad (7.2)$$

Untuk dua keadaan gas yang berbeda, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.9, maka berlaku persamaan seperti berikut ini.

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



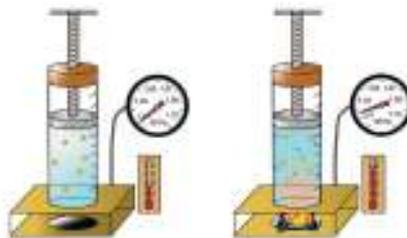
Ayo, Amati!

Berikan contoh fenomena sehari-hari yang berkaitan dengan Hukum Charles.

c. Hukum Gay-Lussac

Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1850), seorang fisikawan Prancis, mempelajari hubungan antara tekanan (p) dan suhu (T) dari gas pada keadaan tertentu.

Gambar 7.10. memperlihatkan eksperimen dari Gay-Lussac, Apa yang dapat kalian simpulkan tentang hubungan antara volume (V), tekanan (p), suhu (T) dan jumlah mol (n)?



Gambar 7.10 Eksperimen Hukum Gay Lussac
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gay-Lussac menyatakan bahwa jika volume dari suatu gas dengan massa tertentu dibuat konstan, maka tekanan gas akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Secara matematis hukum Gay-Lussac dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{p}{T} = \text{konstan} \quad (7.3)$$

Untuk dua keadaan gas yang berbeda, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.10, maka berlaku persamaan seperti berikut ini.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



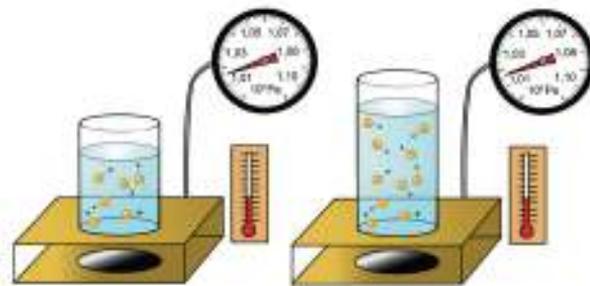
Ayo, Amati!

Berikan contoh fenomena sehari-hari yang berkaitan dengan Hukum Gay-Lussac.

d. Hukum Avogadro

Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856), seorang ilmuwan Italia, melakukan eksperimen yang mengaitkan volume gas (V) dengan jumlah mol (n) zat gas tersebut pada keadaan tertentu.

Gambar 7.11 memperlihatkan eksperimen Avogadro. Apa yang dapat kalian simpulkan tentang hubungan antara volume (V), jumlah mol gas (n), tekanan (p) dan suhu (T)?



Gambar 7.11 Eksperimen Hukum Avogadro
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Hukum Avogadro menyatakan bahwa pada suhu dan tekanan yang sama maka gas dengan volume yang sama mempunyai jumlah molekul yang sama.

Secara matematis hukum Avogadro diberikan oleh persamaan

$$\frac{V}{n} = \text{konstan, atau } \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad (7.4)$$



Ayo, Amati!

Berikan contoh fenomena sehari-hari yang berkaitan dengan Hukum Avogadro.

3. Gas Nyata dan Hukum Gas Ideal

Model gas ideal dikembangkan karena sangat berguna dalam mempelajari kelakuan gas sehingga memudahkan para insinyur untuk mengembangkan dan meramalkan sifat-sifat gas sebagai suatu sistem dalam kondisi tertentu. Gas yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari disebut gas nyata sedangkan gas ideal merupakan gas yang bersifat teoritis.

Perhatikan hubungan antara p , V , T dan n dalam Persamaan 7.5 pada setiap waktu untuk gas nyata.

$$\left[\frac{p}{p} + \frac{an^2}{V^2} \right] (V - nb) = nRT \quad (7.5)$$

dimana a dan b berbeda untuk gas yang berbeda.

Faktor a menunjukkan pengaruh rata-rata gaya tarik-menarik di antara molekul gas dan faktor b menunjukkan pengaruh volume molekul gas pada keadaan gas.

Hukum gas ideal atau persamaan gas ideal diperoleh dengan menggabungkan hukum-hukum gas yang telah kalian pelajari (Hukum Boyle, Hukum Charles, Hukum Gay-Lussac, dan Hukum Avogadro). Persamaan gas ideal diberikan oleh

$$pV = nRT \quad (7.6)$$

Dengan : p = tekanan mutlak pada gas (Pa)
 V = volume (m^3)
 n = jumlah partikel pada gas (mol),
 T = suhu (K)
 R = $8.314472 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ (konstanta gas ideal)

Gas nyata berlaku seperti gas ideal pada tekanan rendah dan suhu tinggi. Coba kalian bandingkan persamaan gas nyata dengan persamaan gas ideal. Apa perbedaannya?

Persamaan (7.6) dapat dituliskan dalam bentuk yang lain

$$pV=NkT \quad (7.7)$$

Dengan : N = jumlah partikel
 N_A = bilangan Avogadro ($6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
 k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$) = R/N_A



Ayo, Berdiskusi!

1. Setujukah kalian jika dikatakan bahwa “Persamaan gas ideal berlaku untuk semua gas tanpa membedakan karakteristik gas”. Jelaskan alasan kalian. Asumsi apa yang dibangun dalam model gas ideal?
2. Jelaskan dengan pendekatan mikroskopis mengapa gas ideal memerlukan tekanan rendah dan suhu tinggi? Mengapa gas yang berat tidak memenuhi persamaan gas ideal?



Tahukah Kalian

Pada keadaan suhu kamar dan tekanan atmosfer beberapa gas berlaku seperti gas ideal, misalnya, gas nitrogen, gas oksigen, gas karbondioksida dan gas mulia.



Ayo, Cek Pemahaman!

Suatu *pressurizer* mempunyai gas nitrogen sebanyak $10,0 \text{ m}^3$ pada suhu 27°C dan tekanan 15 atm . Suhu sistem dinaikkan hingga menjadi 37°C dan volume dikurangi menjadi $8,0 \text{ m}^3$. Berapa tekanan akhir gas jika diasumsikan gas nitrogen berkelakuan sebagai gas ideal?

B. Konsep Dasar Termodinamika

1. Sistem dan Lingkungan

Perhatikan Gambar 7.12 dan 7.13. Apa perbedaan yang nampak dari kedua gambar?



Gambar 7.12 Panci dan sop Gambar 7.13 Panci tekan
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Panci berisi sop merupakan sistem terbuka dan *pressure cooker* mendekati sistem tertutup. Sistem termodinamika merupakan suatu ruang terbatas atau sejumlah materi berupa gas yang di dalamnya terjadi proses-proses termodinamika. Batas yang memisahkan sistem dari luar sistem disebut sebagai lingkungan.

- a. Sistem terbuka mempertukarkan materi dan energi dengan lingkungan.
- b. Sistem tertutup mempertukarkan energi dengan lingkungan.
- c. Sistem terisolir tidak mempertukarkan materi dan energi dengan lingkungan.

Sistem termodinamika dapat berubah ukurannya, artinya dapat mempunyai batas yang diam atau bergerak.

Aktivitas 7.2

Menurut kalian apakah contoh-contoh berikut ini merupakan sistem terbuka atau sistem tertutup atau sistem terisolir. Mengapa? Diskusikan.

1. tubuh manusia
2. mangkok berisi bubur
3. kayu yang terbakar
4. termos
5. mesin mobil
6. kompresor AC
7. ban sepeda yang dipompa

Manakah di antara sistem tersebut yang berupa gas?



Ayo berpikir Kritis

Menurut kalian apakah contoh-contoh sistem berikut ini mempunyai ukuran tetap atau dapat berubah

1. gas dalam ruang yang dihubungkan dengan piston
2. air mendidih
3. mengisi udara dalam ban sepeda

2. Sifat-sifat Sistem Termodinamika

Sistem termodinamika memiliki sifat-sifat termodinamika yang bersifat makro, yang dapat dijelaskan secara mikroskopis. Perhatikan Gambar 7.14 yang menunjukkan gas sebagai sistem. Suhu, tekanan, dan volume gas menunjukkan sifat gas. Sifat ini mempunyai nilai tertentu atau variabel keadaan pada keadaan tertentu sehingga tekanan (p), suhu (T), dan volume (V) merupakan variabel-variabel keadaan.



Gambar 7.14 Gas sebagai sistem
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Sifat-sifat sistem dapat diukur baik langsung maupun tidak langsung pada saat sistem mengalami kesetimbangan dengan lingkungan. Dalam keadaan setimbang sifat harus serbasama dalam keseluruhan sistem, misalnya hanya ada satu nilai suhu saja.

Sifat sistem sebagai materi ada dua, yaitu :

- Intrinsik, tidak bergantung pada massa. Contoh: suhu, tekanan udara, dan massa jenis,
- Ekstrinsik, bergantung pada massa. Contoh: berat dan volume, energi dalam, dan entropi.

Kalian perlu memperhatikan bahwa variabel keadaan menggambarkan keadaan sistem, bukan cara mencapai sistem tersebut. Gas dimanfaatkan sebagai sistem dalam berbagai mesin. Contohnya, mesin uap menggunakan uap air demikian juga turbin dalam pembangkit tenaga listrik.

C. Proses-proses Termodinamika

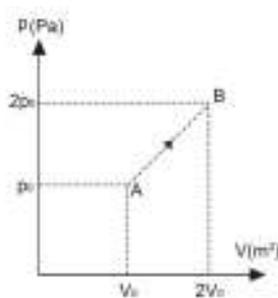
Proses termodinamika adalah perubahan yang dialami oleh sistem dari suatu keadaan kesetimbangan ke keadaan kesetimbangan lainnya karena transfer dan transformasi energi atau materi. Perubahan nilai sifat gas ditentukan oleh keadaan awal dan keadaan akhir.

1. Diagram p - V

Diagram p - V menunjukkan proses yang terjadi dalam suatu sistem. Setiap titik dalam diagram p - V menyatakan suatu keadaan gas berupa informasi tentang suhu, tekanan dan volume. Contoh diberikan dalam Gambar 7.15.

Tabel 7.2 Keadaan Awal dan Keadaan Akhir Suatu Gas

Variabel Keadaan	Keadaan Awal	Keadaan Akhir
Tekanan	p_0	$2p_0$
Volume	V_0	$2V_0$



Gambar 7.15 Proses termodinamika dalam Diagram p - V
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Diagram p - V dapat juga menunjukkan suatu siklus proses yaitu serangkaian perubahan keadaan yang dialami oleh gas sehingga keadaan akhirnya tepat seperti keadaan awalnya.

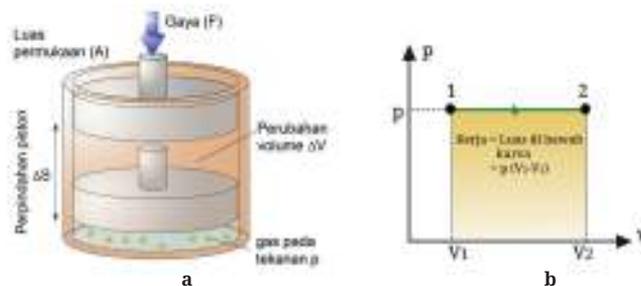
Melalui hukum I Termodinamika maka usaha W , kalor Q dan perubahan energi dalam ΔU dapat diketahui dari diagram p - V .

2. Usaha dan Gas Ideal

Perhatikan Gambar 7.16(a). Pada tekanan tetap piston ditarik ke kanan sehingga piston mengalami perpindahan sejauh Δs . Usaha yang dilakukan oleh gas adalah

$$W = F \Delta s = p A \Delta s = p \Delta V \quad (7.8)$$

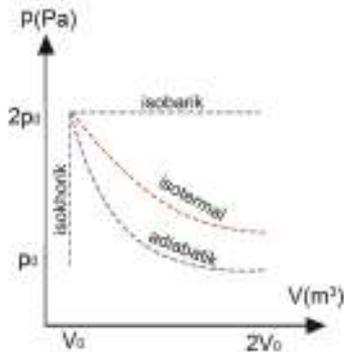
Dengan : p = tekanan (Pa),
 A = luas permukaan (m^2),
 Δs = perpindahan (m),
 ΔV = perubahan volume (m^3).



Gambar 7.16 (a) Usaha yang dilakukan oleh gas dan (b) Usaha yang dilakukan oleh gas dalam diagram p - V
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 7.16 (b) menunjukkan diagram p - V dari usaha yang dilakukan oleh gas. Usaha yang dilakukan oleh gas atau pada gas sama dengan luas daerah dalam diagram p - V .

3. Empat Proses Termodinamika



Gambar 7.17 Empat proses termodinamika
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Gambar 7.17 menunjukkan empat proses termodinamika dalam diagram p - V .

Keempat proses termodinamika tersebut adalah proses adiabatik, proses isobarik, proses isotermal, proses isokhorik dan proses isobarik.

Keempat proses termodinamika tersebut adalah proses adiabatik, proses isobarik, proses isotermal, dan proses isokhorik.

a. Proses Adiabatik

Pada proses adiabatik tidak terjadi perpindahan kalor antara sistem dengan lingkungan. Sistem adiabatik merupakan suatu pendekatan karena tidak mungkin ada keadaan tanpa perpindahan kalor sama sekali. Keadaan ini dapat terjadi jika proses termodinamika berlangsung sangat cepat sehingga tidak terjadi perpindahan kalor pada bidang batas. Kompresi dan ekspansi dari mesin pembakaran turbin dapat terjadi dalam waktu yang sangat singkat karena putaran yang cepat sehingga merupakan peristiwa adiabatik.

b. Proses Isobarik

Gambar 7.18 menunjukkan air yang mendidih dalam panci terbuka. Tekanan yang dialami air adalah tekanan atmosfer. Kalor menaikkan suhu air sehingga air berubah menjadi uap air. Uap air mempunyai suhu yang lebih tinggi dan menempati volume yang lebih besar pada tekanan tetap. Proses isobarik adalah proses yang terjadi pada tekanan tetap.



Gambar 7.18 Air mendidih dalam panci terbuka
sumber : Rodnae/Pexels (2021)

c. Proses Isotermal

Proses isotermal adalah proses yang terjadi pada suhu tetap. Ada dua jenis proses isotermal, yaitu proses isotermal ekspansi dan proses isotermal kompresi.

d. Proses Isokhorik

Pressure cooker yang sedang beroperasi merupakan contoh alat yang mengalami proses isokhorik walau tidak terjadi secara 100%. Proses isokhorik adalah proses yang terjadi pada volume tetap.



Ayo, Berpikir Kritis!

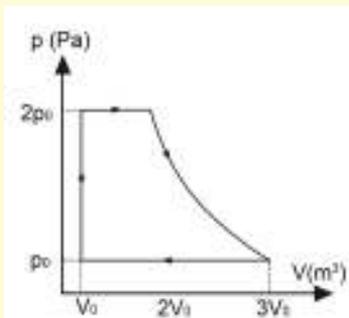
Mengapa proses yang dialami *pressure cooker* adalah isokhorik?

4. Proses Reversibel dan Proses Ireversibel

Proses reversibel merupakan proses yang keadaan akhir dapat dikembalikan ke keadaan awalnya. Jika proses reversibel digambarkan dalam diagram p - V maka lintasan yang dilalui sama. Proses ireversibel tidak berlaku seperti itu. Semua proses alami merupakan proses ireversibel. Ketika membahas hukum II Termodinamika maka proses ireversibel berkaitan dengan proses spontan.



Ayo, Cek Pemahaman!



Tentukan empat proses termodinamika yang terjadi dalam siklus berikut ini.

Gambar 7.19 Siklus Proses Termodinamika
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

D. Hukum-hukum Termodinamika

1. Hukum ke Nol Termodinamika

Hukum ke Nol Termodinamika berbunyi, “jika benda pertama, secara terpisah, berada dalam kesetimbangan termal dengan benda kedua dan ketiga, maka benda kedua dan ketiga juga berada dalam kesetimbangan termal”.



Ayo, Berpikir Kritis!

Bagaimana hubungan antara cara kerja termometer dengan hukum ke nol termodinamika?

2. Hukum 1 Termodinamika (Hukum Kekekalan Energi)

a. Usaha dan Kalor

Kalian sudah belajar bahwa **James Prescott Joule (1818 – 1889)** melakukan eksperimen untuk menunjukkan prinsip kekekalan energi dimana usaha dapat diubah menjadi kalor.

Sepeda dapat menjadi panas karena menerima kalor dari Matahari. Ban sepeda juga dapat menjadi panas karena menerima usaha yaitu dengan dipompa. Kalor dan usaha merupakan energi yang transit, yaitu energi yang tidak pernah disimpan dalam sistem.

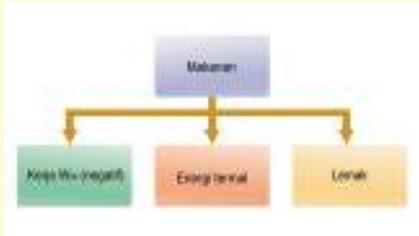
b. Energi Dalam

Apa itu energi dalam? Gosoklah kedua tanganmu dan keduanya menjadi panas. Energi kinetik menaikkan suhu kedua tangan sehingga energi dalam pada tangan juga bertambah. Energi dalam merupakan jumlah semua energi yang dimiliki oleh suatu sistem. Energi dalam juga merupakan suatu variabel keadaan.

Nilai energi dalam berkaitan dengan nilai tekanan, volume dan suhu pada keadaan tertentu; tidak bergantung pada cara memperolehnya. Untuk gas ideal, energi dalam hanya ditentukan oleh suhu. Secara mikroskopik energi dalam diasosiasikan dengan gerak molekul-molekul yang acak dan gaya antara molekul yang menimbulkan energi potensial.



Ayo, Berdiskusi!



Gambar 7.20 Kekekalan energi dalam tubuh manusia

sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Kekekalan energi berlaku juga dalam tubuh manusia. Makanan sebagai sumber energi digunakan untuk energi termal, melakukan usaha dan menyimpan lemak. Carilah informasi kebutuhan energi yang diperlukan oleh remaja seumur kalian dan banyak energi yang disimpan oleh 100 gram lemak.



Aktivitas 7.3

Lakukan Aktivitas 7.3 untuk lebih memahami kekekalan energi.



Gambar 7.21 Eksperimen kekekalan energi

sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

1. Sediakan balon, botol kaca, wadah dan air panas.
2. Pasang balon pada mulut botol.
3. Letakkan balon dan botol di dalam wadah berupa mangkok.
4. Tuang air panas ke dalam mangkok. Tunggu beberapa menit dan amati apa yang terjadi pada balon.

Pertanyaan

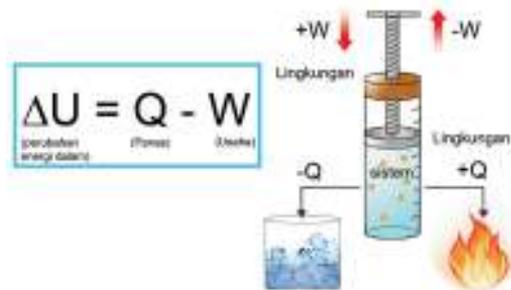
1. Apa yang terjadi pada balon setelah air panas dituang ke dalam mangkok? Mengapa demikian?
2. Jelaskan prinsip kekekalan energi yang terjadi.
3. Agar mendapatkan hasil eksperimen yang optimal pikirkan kriteria botol dan mangkok yang diperlukan dalam hubungannya dengan perpindahan kalor. Gunakan metode ilmiah untuk membuktikan penemuan kalian.

Hukum 1 Termodinamika merumuskan kekekalan energi yang melibatkan energi dalam, usaha dan kalor. Kalor yang masuk atau keluar dari sistem dan atau usaha yang diterima atau dilakukan oleh gas memengaruhi perubahan energi dalam. Perhatikan Gambar 7.22. *Hukum I Termodinamika menyatakan bahwa perubahan energi dalam dari suatu sistem merupakan selisih kalor yang masuk dalam sistem dan usaha yang dilakukan oleh sistem.*

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta U = Q - W \quad (7.9)$$

Dengan : ΔU = perubahan energi dalam sistem (kal atau J)
 Q = kalor (kal atau J)
 W = usaha (kal atau J)



Gambar 7.22 Bagan Hukum 1 Termodinamika
 sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Usaha dan kalor bertanda negatif jika usaha dilakukan oleh sistem dan kalor diambil dari sistem. Usaha dan kalor bertanda positif jika usaha dilakukan pada sistem dan kalor diberikan pada sistem.

 **Ayo, Cermati!**

Suatu sistem memperoleh kalor sebesar 30.000 J dan mendapatkan usaha sebesar 20.000 J. Berapa perubahan energi dalam?

3. Aplikasi Hukum I Termodinamika dalam Proses Termodinamika

a. Proses Adiabatis

Pembakaran dalam mesin mobil terjadi sangat cepat sehingga tidak ada waktu untuk terjadi pertukaran kalor dengan lingkungan. Karena tidak ada pertukaran kalor dengan lingkungan maka $Q = 0$, sehingga

$$\begin{aligned} \Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 0 - W \\ \Delta U = -W \end{aligned} \quad (7.10)$$

b. Proses Isobarik

Balon udara yang dapat naik ke atas merupakan contoh proses isobarik. Perubahan energi dalam

$$\Delta U = Q - W \quad (7.11)$$

Usaha dilakukan oleh balon udara yang mendapatkan kalor.

c. Proses Isotermal

Jika suhu tetap maka perubahan energi dalam adalah nol ($\Delta U = 0$) sehingga $W = Q$. Usaha dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (7.12)$$

d. Proses Isokhorik

Suatu gas dipanaskan dalam wadah yang kaku. Usaha yang dilakukan pada dan oleh gas adalah nol sehingga

$$\Delta U = Q \quad (7.13)$$

Semua kalor yang diterima oleh sistem untuk menaikkan suhu sistem.

4. Kapasitas Panas (Kapasitas Kalor)

Kapasitas panas adalah banyak kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat sebesar 1 K. Kapasitas panas gas dibedakan atas dua jenis, yaitu berdasarkan volume tetap dan tekanan tetap. Besar kapasitas panas pada volume tetap dan pada tekanan tetap diberikan oleh

$$C_V = \frac{3}{2} n R \quad (7.14)$$

$$C_p = C_V + nR = \frac{3}{2} n R + nR = \frac{5}{2} n R \quad (7.15)$$

Contoh gas monoatomik nyata yang mempunyai kalor jenis molar pada volume tetap mendekati gas ideal ($3/2 R = 12,5$) adalah gas Helium (12,5) dan gas Argon (12,6). Partikel gas monoatomik terbentuk dari satu atom saja. Contoh gas diatomik nyata yang mempunyai kalor jenis molar pada volume tetap mendekati gas ideal ($5/2 R = 20,8$) adalah gas Nitrogen (20,7) dan gas Oksigen (20,8). Partikel gas diatomik terbentuk dari dua atom. Panas kalor molar adalah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 mol gas sebesar 1 K.



Ayo, Berpikir Kritis!

Mengapa kalor jenis pada tekanan tetap lebih besar daripada kalor jenis pada volume tetap?



Tahukah Kalian

Teflon (PTFE) merupakan bahan yang digunakan untuk berbagai keperluan. Teflon tanpa sengaja ditemukan pada tahun 1938. Ahli kimia **Roy Plunkett** (1910 – 1994) menyimpan gas tetrafluoretilen dalam silinder-silinder kecil pada suhu yang sangat rendah untuk keperluan bahan pendingin yang tidak beracun. Ternyata, ketika silinder dibuka, tidak ada gas. Malah, yang ditemukan bubuk putih yang melapisi bagian dalam tabung. Suhu rendah menurunkan tekanan, sesuai dengan hukum Gay-Lussac. Coba kalian selidiki pada suhu berapa gas ini berubah menjadi padat.



Ayo, Cek Pemahaman!

Suatu gas dimampatkan pada tekanan tetap 1,0 atm dari 9 liter menjadi 2 liter. Dalam proses tersebut kalor sebesar 400 J meninggalkan gas. Berapa usaha yang dilakukan pada gas? Berapa perubahan energi dalam gas?

Hukum I Termodinamika mempunyai keterbatasan. Ketika mobil direm timbul panas akibat gesekan. Panas yang timbul oleh gaya gesek sama dengan usaha yang dilakukan oleh gaya gesek. Dapatkah kalor ini diubah kembali menjadi energi kinetik?

Hukum I Termodinamika menjelaskan kekekalan energi tetapi tidak dapat menjelaskan arah suatu proses sehingga diperlukan Hukum II Termodinamika.

5. Hukum II Termodinamika

Ada tiga cara menyatakan Hukum II Termodinamika yaitu pernyataan dari Clausius, Kelvin-Planck, dan tentang entropi. Pembahasan Hukum II Termodinamika dimulai dengan pemahaman tentang entropi, suatu besaran fisis yang baru bagi kalian.

a. Entropi

Ban akan kempes dengan sendirinya jika pentil dibuka. Apakah ban dapat mengisi kembali udara sendiri tanpa dilakukan apapun? Bola dapat menggelinding ke bawah dengan sendirinya jika diletakkan di atas bidang miring. Dapatkah bola tersebut mendaki bidang miring tanpa bantuan apapun? *Proses spontan akan terjadi dengan sendirinya tanpa masukan energi dari sekitarnya*, tetapi tidak demikian halnya dengan kebalikan dari proses tersebut. Bola yang sudah tiba di dasar bidang miring memerlukan energi untuk mencapai puncak bidang miring.

Proses spontan disebut juga proses ireversibel atau proses satu arah. Sedangkan proses reversibel adalah proses yang tidak spontan atau proses dua arah. Proses reversibel merupakan proses ideal.



Ayo, Berpikir Kritis!

Andaikan bola dapat mendaki bidang miring dengan spontan, apakah peristiwa ini bertentangan dengan Hukum I Termodinamika?

Proses spontan menunjukkan bahwa suatu peristiwa terjadi dalam arah tertentu dan berkaitan dengan suatu besaran fisika yang disebut sebagai entropi. Sebagaimana dengan energi dalam maka entropi juga merupakan fungsi keadaan. *Hukum II Termodinamika menyatakan bahwa pada proses spontan (proses ireversibel) entropi dalam sistem terisolir bertambah*. Perubahan entropi (ΔS) dalam suatu proses yang terjadi pada suhu (T) dinyatakan sebagai:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (7.16)$$

Dengan : Q = kalor yang diterima oleh sistem
(bertanda positif) dan kalor yang dilepaskan oleh sistem (bertanda negatif) (J),
 T = suhu (K).

Kalian dapat memahami perubahan entropi dengan jelas melalui peristiwa ini. Air bersuhu tinggi dicampur dengan air bersuhu rendah. Campuran ini pada akhirnya mengalami kesetimbangan termal. Jelas, perubahan entropi air panas lebih kecil daripada perubahan entropi air dingin sehingga penjumlahan entropi keduanya menghasilkan pertambahan entropi. Perpindahan kalor dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah merupakan proses spontan.

Pemahaman lain tentang entropi adalah **entropi merupakan ukuran ketidakteraturan suatu sistem**. Makin besar ketidakteraturan suatu sistem makin besar entropinya. Bandingkan telepon genggam yang retak dan mulus. Mana yang mempunyai entropi yang lebih besar? Mengapa?



Gambar 7.23 Telepon genggam mulus dan retak
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berdiskusi!

Manakah yang mempunyai entropi yang lebih besar, es atau gas? Jelaskan.

Mengapa pembakaran hutan menaikkan entropi? Setujukah kalian dengan pernyataan bahwa makin besar entropi maka makin besar kerusakan alam dan makin sulit untuk memperbaikinya.



Gambar 7.24 Air terjun menyimpan energi potensial
Sumber : urformat/pixabay (2016)

Jika hukum pertama tentang kuantitas energi maka hukum kedua berbicara tentang kualitas energi. Perhatikan Gambar 7.24 menunjukkan energi potensial yang dimiliki oleh air sebelum jatuh dan perubahan energi ketika air jatuh. Jatuhnya air terjun merupakan suatu proses spontan.

Air yang sudah jatuh tidak lagi mampu melakukan usaha untuk memutar turbin. Kualitas energi berkurang dengan terjadinya transfer dan transformasi energi. Entropi bertambah ketika energi ditransfer. Kehilangan sejumlah energi terhadap lingkungan menaikkan entropi karena entropi menggambarkan besar energi yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Makin besar entropi makin sedikit energi yang bisa digunakan untuk melakukan usaha.

Hukum II Termodinamika menyatakan bahwa entropi dari suatu sistem yang terisolir tidak pernah berkurang. Sistem terisolir dapat berupa jagad raya yang terdiri atas suatu sistem dan lingkungan. Perubahan entropi total dapat ditinjau dalam proses reversibel dan proses ireversibel seperti yang diberikan di bawah ini.

Pada proses reversibel (tidak spontan), perubahan entropi total, yaitu perubahan entropi sistem dan lingkungannya adalah nol, karena

$$\begin{aligned}\Delta S_{total} &= \Delta S_{lingkungan} + \Delta S_{sistem} \\ \Delta S_{total} &= 0\end{aligned}\quad (7.17)$$

Pada proses ireversibel (spontan), perubahan entropi total, yaitu perubahan entropi sistem dan lingkungannya lebih besar dari nol.

$$\Delta S_{total} > 0 \quad (7.18)$$



Ayo, Berdiskusi!

1. Tentukan apakah proses bersifat spontan atau tidak. Perpindahan panas terjadi secara lambat dari teh panas bersuhu 60° terhadap lingkungan bersuhu 28° . Kalor yang berperan adalah sebesar 10 J.
2. Tepatkah jika dikatakan bahwa untuk proses reversibel perubahan entropi adalah nol? Jelaskan.



Ayo, Berpikir Kritis!

Tepatkah jika dikatakan bahwa berdasarkan Hukum II Termodinamika maka tidak mungkin ada proses yang hasilnya perpindahan kalor dari benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi? Jelaskan.

Jika kalor berpindah dari benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi maka perubahan entropinya akan berkurang. Hal ini menyalahi Hukum II Termodinamika.



Kesadaran Lingkungan

Perhatikan Gambar 7.25a dan Gambar 7.25b.



Gambar 7.25 (a) Polusi udara
Sumber : (a) Pixabay (2016)



Gambar 7.25 (b) Polusi tanah
(b) Stijn Dijkstra/Pexels (2019)

Mana lebih mudah dilakukan mengembalikan kondisi udara sebelum polusi atau tanah sebelum polusi?. Mengapa? Hubungkan dengan Hukum II Termodinamika. Hubungkan juga dengan usaha manusia berupa dana, daya dan waktu. Apa yang harus dilakukan untuk mencegah polusi udara dan polusi tanah?



Ayo, Berdiskusi!

Clausius dan Kelvin-Planck mengusung reservoir termal dalam penjelasan Hukum II Termodinamika. Perhatikan Gambar 7.26 yang menunjukkan atmosfer dan laut. Apakah pemberian atau pengambilan sejumlah kalor dari atmosfer memengaruhi suhunya?



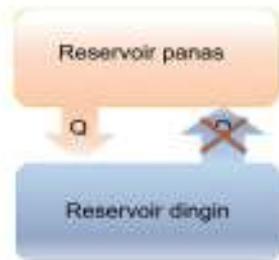
Gambar 7.26 Atmosfer dan Laut
Sumber : Marianna MR/Kemendikbudristek (2022)

Reservoir termal merupakan suatu sistem yang sangat besar yang mana pemberian atau pengambilan sejumlah kalor tidak memengaruhi suhunya. Setiap benda yang kapasitas energinya jauh lebih besar daripada kalor yang diterima atau dilepaskan disebut sebagai reservoir termal.

b. Pernyataan Clausius

Perpindahan panas dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah terjadi secara spontan. Menurut Clausius *Tidak mungkin membuat suatu mesin yang beroperasi dalam suatu siklus dan perpindahan panas terjadi dari benda bersuhu rendah (reservoir dingin) ke benda bersuhu tinggi.*

Gambar 7.27 menunjukkan pernyataan Clausius.



Gambar 7.27 Pernyataan Clausius
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

c. Pernyataan Kelvin-Planck

Menurut **Kelvin-Planck** sebuah *mesin yang beroperasi dalam suatu siklus, yang menerima kalor dari suatu resevoir termal, tidaklah mungkin mengubah semua kalor menjadi usaha.* Gambar 7.28 menunjukkan proses kerja mesin berdasarkan pernyataan Kelvin-Planck



Gambar 7.28 Kerja mesin berdasarkan Pernyataan Kelvin-Planck
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berdiskusi!

Mesin diesel mengubah bahan bakar menjadi kalor yang selanjutnya diubah menjadi usaha. Satu liter solar menghasilkan 9,24 kkal. Selidiki efisiensi mesin diesel dari beberapa mobil yang menggunakan solar. Berapa efisiensi maksimumnya?



Ayo, Berpikir Kritis!

Hukum II Termodinamika menyatakan bahwa tidak ada mesin dengan efisiensi 100%. Setujukah kalian dengan pendapat ini? Mengapa? Kemanakah perginya energi yang terbuang?



Ayo, Berpikir Kritis!

Apakah pernyataan Kelvin-Planck dan Clausius setara? Jelaskan jawaban kalian.



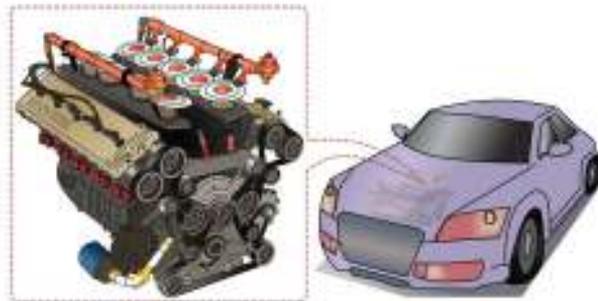
Kesadaran Lingkungan

Apakah dampak penerapan pernyataan Kelvin Planck dalam mesin kalor terhadap lingkungan?

E. Mesin Kalor dan Pompa Kalor

1. Mesin Kalor

Energi mekanik dapat dihasilkan langsung dari air dan angin. Tetapi, pada umumnya energi mekanik diperoleh secara tak langsung dari bahan bakar fosil yang diubah menjadi energi termal. Mesin kalor menggunakan kalor untuk melakukan usaha dan memerlukan siklus untuk berfungsi. Contoh jenis mesin yang bekerja dalam siklus adalah mesin piston dan turbin. Mesin mobil termasuk mesin kalor.



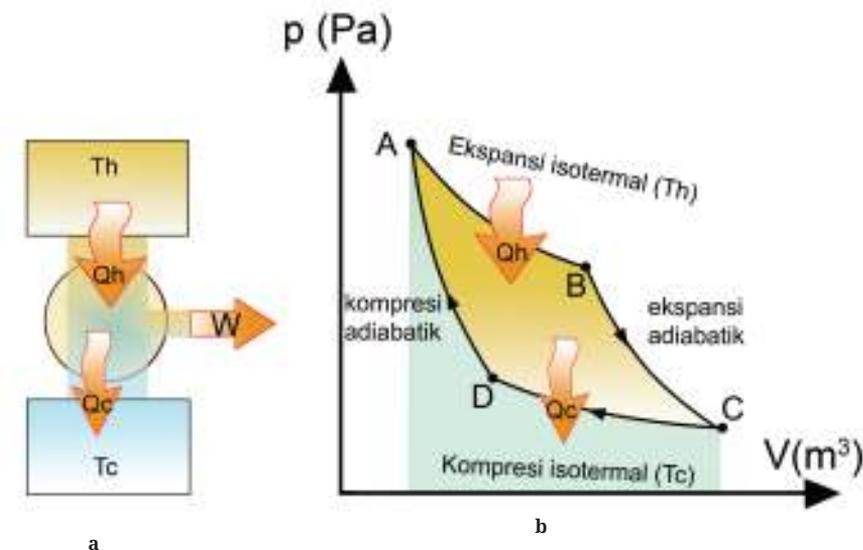
Gambar 7.29 Mesin mobil sebagai mesin kalor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Hukum I dan II Termodinamika membatasi kerja mesin kalor. Carnot mengajukan ide mesin kalor yang efisien.

a. Mesin Carnot

Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832), seorang fisikawan Prancis, pada tahun 1824 menggagas sebuah mesin kalor ideal (mesin teoritis) yang disebut mesin Carnot. Menurut Carnot “tidak mungkin ada mesin yang beroperasi di antara dua reservoir termal yang lebih efisien daripada sebuah mesin kalor yang beroperasi secara reversibel pada dua reservoir yang sama”. Jadi, mesin Carnot merupakan mesin yang paling efisien.

Mesin Carnot bekerja berdasarkan suatu proses termodinamika yang membentuk siklus Carnot. Siklus hanya menggunakan proses isothermal dan adiabatik. Proses dalam mesin Carnot bersifat reversibel. Gambar 7.30a memperlihatkan skema mesin Carnot yang beroperasi antara reservoir bersuhu tinggi T_h dan bersuhu rendah T_c . Gambar 7.30b memperlihatkan Diagram p - V untuk siklus Carnot. Perhatikan kalor yang masuk ke dalam sistem Q_h dan kalor yang keluar dari sistem Q_c .



Gambar 7.30 (a) Skema mesin Carnot (b) Siklus Carnot
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Proses-proses termodinamika yang terjadi pada mesin Carnot dan perumusan matematika yang bersesuaian dengannya diberikan dalam Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Proses Termodinamika Mesin Carnot

Proses Termodinamika	Persamaan
Isotermal ekspansi	$Q = W = nRT_H \ln V_a/V_b$ $\Delta U = 0$
Adiabatis ekspansi	$W = nC_v \Delta T$ $Q = 0$
Isotermal kompresi	$Q = W = nRT_H \ln V_a/V_b$ $\Delta U = 0$
Adiabatis kompresi	$W = nC_v \Delta T$ $Q = 0$

Usaha total yang dilakukan oleh gas adalah

$$Q_h = W + Q_c \rightarrow W = Q_h - Q_c \quad (7.19)$$

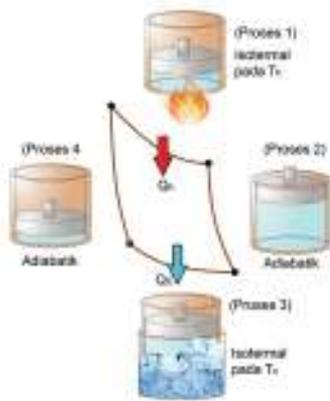
Efisiensi mesin Carnot adalah perbandingan usaha yang dilakukan terhadap kalor yang diserap

$$\eta = \frac{W}{Q_h} \times 100\% = \left(\frac{Q_h - Q_c}{Q_h} \right) 100\%$$

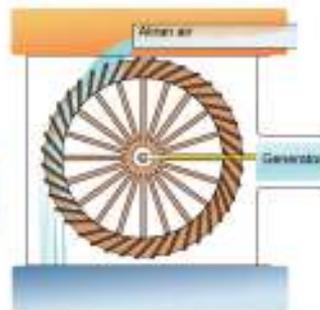
$$\eta = \left(1 - \frac{Q_c}{Q_h} \right) 100\% \quad (7.20)$$

Aktivitas 7.4

Perhatikan Gambar 7.31 yang menunjukkan proses-proses yang terjadi dalam mesin Carnot (Siklus Carnot) dan Gambar 7.32 yang menunjukkan cara kerja kincir air.



Gambar 7.31 Siklus mesin Carnot
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 7.32 Cara kerja kincir air
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Carnot mendesain cara kerja mesinnya dengan mengacu pada cara kerja kincir air.

- a. Jelaskan cara kerja mesin Carnot menurut urutan siklus. Kapan gas melakukan usaha? Kapan usaha dilakukan pada gas?
- b. Mengapa kincir air dapat berputar? Mengapa gas dapat mengembang?
- c. Apa asumsi yang dibangun agar energi tidak berkurang ketika air jatuh pada kincir air? Apa asumsi yang dibangun agar energi panas tidak berkurang ketika diserap mesin Carnot?
- d. Mengapa proses kerjanya kincir air harus reversibel? Mengapa proses dalam mesin Carnot harus reversibel?
- e. Berapa perubahan energi dalam dari mesin Carnot?

Untuk memperdalam konsep yang dibangun oleh Carnot dalam kehidupan sehari-hari lakukan Aktivitas 7.5.

Aktivitas 7.5

Jadi, menurut Carnot, efisiensi mesin ditentukan oleh kedua suhu reservoir termal bukan oleh jenis fluida yang bekerja dalam mesin dan jenis mesin. Carilah informasi tentang efisiensi mesin suatu jenis mobil. Selidiki apakah memang efisiensi mesin mobil hanya ditentukan oleh suhu kedua reservoir termal.

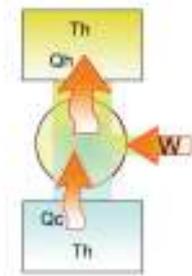


Ayo Berpikir Kritis!

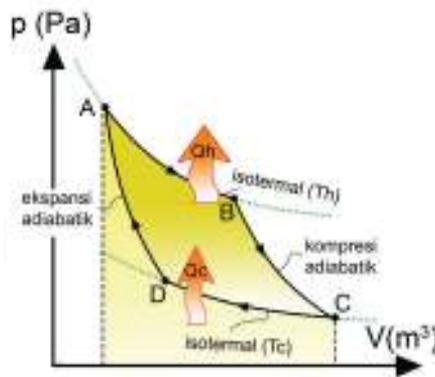
Perhatikan Persamaan 7.20 yang menyatakan efisiensi mesin Carnot. Mungkinkah diperoleh mesin dengan efisiensi 100%? Jelaskan termasuk kendala untuk mencapainya. Mengapa tidak mungkin membuat mesin reversibel dalam dunia nyata?

2. Pompa Kalor

Pompa kalor adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi dari tempat bersuhu lebih rendah ke tempat bersuhu lebih tinggi. Pompa kalor dapat digunakan untuk pemanasan atau pendinginan. Prinsip kerja yang berkebalikan dari mesin Carnot digunakan dalam pompa kalor, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 7.33.



Gambar 7.33a Skema pompa kalor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Gambar 7.33b Siklus pompa kalor
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berdiskusi!

Coba kalian jelaskan cara kerja pompa kalor. Apakah proses reversibel juga terjadi dalam operasi pompa kalor?

Koefisien performa (COP) dari pompa kalor menunjukkan seberapa baik performa dari suatu pompa kalor. COP (*Coefficient of Performance*) merupakan perbandingan antara **output** yang digunakan dengan **input** yang diberikan. Pada pompa kalor, **input** adalah usaha dan **output** dapat merupakan kalor yang diberikan atau kalor yang dibuang. Jika pompa kalor digunakan sebagai pendingin maka keluaran adalah kalor yang dibuang. Sebaliknya, jika pompa kalor digunakan sebagai pemanas maka keluarannya adalah kalor yang diberikan pada ruangan.

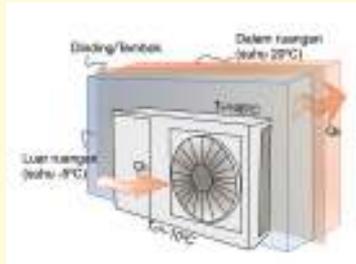
$$Q_h = W_{in} + Q_c$$

$$COP_{hp} = \frac{Q_h}{W_{in}} \quad (7.21)$$

Dengan COP_{hp} = koefisien performa mesin kalor untuk pemanas.



Ayo, Berdiskusi!



Tentukan COP dari pompa kalor berdasarkan Gambar 7.34.

Gambar 7.34 Pompa kalor dengan spesifikasi tertentu
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)



Ayo, Berpikir Kritis!

Perhatikan Persamaan 7.20 dan Persamaan 7.21 serta hubungan di antara keduanya. Mengapa pompa kalor kurang bekerja dengan optimal di daerah Kutub?

Lakukan Aktivitas 7.6 untuk memperdalam pemahaman akan pompa kalor.

Aktivitas 7.6

Bacalah informasi tentang pompa kalor, dan pemanas gas yang digunakan untuk memanaskan ruangan. Bandingkan efisiensi yang berujung pada biaya penggunaan, cepatnya memanaskan ruangan dan keselamatan.



Ayo, Cek Pemahaman!

Jelaskan grafik suhu T terhadap entropi S dari mesin Carnot.



Gambar 7.35 Siklus Carnot dan entropi
sumber : Alvius Tinambunan/Kemendikbudristek (2022)

Pendingin Udara dan Lemari Pendingin

Fungsi pendingin udara dan lemari pendingin adalah mendinginkan suatu ruang, kebalikan dari fungsi pemanas. Koefisien performa dari kedua mesin ini merupakan perbandingan perpindahan kalor yang terjadi dalam ruang yang dingin terhadap usaha yang diperlukan.

$$COP_R = \frac{Q_c}{W_{in}} \quad (7.22)$$

COP_R = koefisien performa mesin kalor untuk pendingin.



Ayo, Berdiskusi!

Perhatikan Persamaan 7.21 dan Persamaan 7.22. Setujukah kalian jika dikatakan bahwa COP pendingin udara selalu lebih kecil daripada pompa kalor.



Intisari

Teori kinetik gas menjelaskan gerak partikel-partikel gas berdasarkan hasil pengamatan terhadap sifat gas. Gas memenuhi beberapa hukum gas. Berbeda dengan gas nyata maka gas ideal memenuhi hukum gas ideal yaitu $pV = nRT$ dimana p , V dan T merupakan variabel keadaan yang masing-masing menyatakan tekanan, volume dan suhu.

Sistem termodinamika merupakan suatu ruang terbatas atau sejumlah materi berupa gas yang di dalamnya terjadi proses-proses termodinamika. Proses yang dapat dialami oleh gas ideal adalah proses adiabatik, proses isothermal, proses isobarik dan proses isokhorik. Keadaan gas dapat dinyatakan dalam diagram p - V yang memberikan informasi tekanan, volume, suhu, perubahan energi dalam, kalor dan usaha.

Hukum ke nol termodinamika mengatakan jika benda pertama berada dalam kesetimbangan termal dengan benda kedua dan ketiga, maka benda kedua dan ketiga juga berada dalam kesetimbangan termal. Hukum pertama termodinamika merupakan hukum kekekalan energi yang menyatakan $\Delta U = Q - W$ dimana ΔU adalah perubahan energi dalam, Q adalah kalor dan W adalah usaha.

Hukum kedua termodinamika mempunyai tiga pernyataan yaitu tentang entropi selalu bertambah, tidak mungkin ada mesin dengan efisiensi 100% dan kalor selalu berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah.

Aplikasi dari hukum termodinamika adalah mesin kalor dan pompa kalor yang bekerja dengan cara yang berbeda. Mesin Carnot merupakan mesin yang bekerja dengan proses reversibel sehingga diperoleh efisiensi yang maksimal.



Refleksi

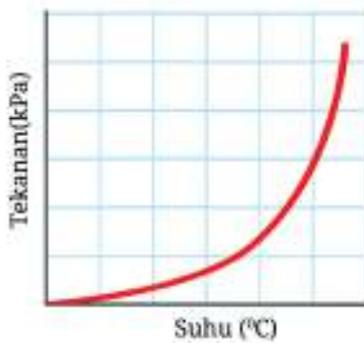
1. Apakah kalian sudah memahami sistem termodinamika dengan lingkungan yang membatasinya serta dapat menemukannya dalam kehidupan sehari-hari?
2. Apakah kalian sudah memahami informasi tentang keadaan suatu gas dan proses-proses yang dialaminya berdasarkan diagram PV ?
3. Apakah kalian dapat menerapkan hukum pertama termodinamika dalam penyelesaian masalah?
4. Apakah kalian dapat menerapkan hukum kedua termodinamika dalam penyelesaian masalah?
5. Apakah kalian dapat menyelesaikan masalah mesin kalor dan pompa kalor?
6. Materi apa yang memerlukan penguatan pemahaman?



Asesmen

1. Volume udara dalam suatu pernafasan normal adalah 0,5 L. Suhu di Balige adalah 23°C dan tekanan udara sebesar 1 atm. Berapa banyak udara yang dihirup ketika bernafas jika diasumsikan udara merupakan gas ideal?
2. Tubuh manusia bekerja seperti mesin kalor karena mengubah energi kimia menjadi energi termal/panas yang kemudian digunakan untuk melakukan usaha. Efisiensi tubuh manusia adalah 25%. Seorang siswa bermassa 50 kg naik tangga ke lantai 3 suatu kantor dengan ketinggian 12 m dari lantai dasar.
 - a. Tentukan usaha yang harus dilakukan oleh siswa tersebut untuk berpindah dari lantai dasar ke lantai 3.

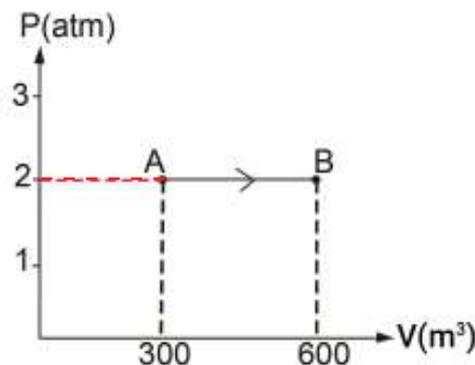
- b. Berapa banyak energi kimia yang diperlukan oleh siswa untuk berpindah dari lantai dasar ke lantai 3?
 - c. Berapa banyak panas yang dilepaskan oleh metabolisme tubuh siswa?
 - d. Jika siswa menggunakan *lift* bermassa 1200 kg dengan efisiensi 90% berapa energi listrik yang digunakan oleh *lift* dengan asumsi hanya siswa tersebut yang berada dalam *lift*?
 - e. Bandingkanlah jawaban (b) dan (d) dan tariklah kesimpulan.
3. Perhatikan grafik di bawah ini yang menunjukkan hubungan antara tekanan saturasi dan suhu saturasi dari air.



- a. Apa yang dimaksud dengan suhu dan tekanan saturasi?
- b. Gunakan grafik tersebut untuk menjelaskan cara kerja *pressure cooker*.
- c. Carilah data untuk menunjukkan lama memasak 1 kg daging sapi dan 1 kg ayam dengan menggunakan panci biasa dan dengan menggunakan *pressure cooker*.

Jenis Daging	Lama Memasak dengan Panci Biasa	Lama Memasak dengan <i>Pressure Cooker</i>
Daging Ayam		
Daging Sapi		

4. Apa hubungan ausnya organ-organ tubuh manusia dengan proses irreversibel dan perubahan entropi?
5. Perhatikan diagram p - V di bawah ini. Tentukan usaha yang dilakukan oleh gas.





GLOSARIUM

amplitudo	Simpangan maksimum suatu gelombang atau getaran
asas Black	Banyak kalor yang dilepas oleh benda bersuhu tinggi sama dengan banyak kalor yang diterima oleh benda bersuhu rendah dalam percampuran
barometer	Alat untuk mengukur tekanan
beda fase	Perbedaan antara dua keadaan dari suatu gelombang
berat	Ukuran dari jumlah gaya yang bekerja pada massa karena percepatan akibat gravitasi
cepat rambat bunyi	Panjang gelombang bunyi persatuan waktu
debit	Volume fluida yang mengalir persatuan waktu
desibel	Ukuran Taraf intensitas bunyi
diagram p-V	Diagram tekanan terhadap volume yang menunjukkan keadaan gas
difraksi	Penyebaran muka gelombang ketika melewati penghalang
efek Doppler	Perubahan frekuensi yang diamati karena adanya gerak relatif antar pengamat dan sumber
energi dalam	Total energi yang dikandung dalam sebuah sistem
entropi	Ukuran ketidak teraturan suatu sistem termodinamika atau ukuran tidak dapat diubahnya energi menjadi usaha
fase gelombang	Keadaan yang ditempuh oleh gelombang yang berhubungan dengan simpangan dan arah getarnya
fluida	Zat yang dapat mengalir
fluida dinamis	Cabang ilmu sains yang membahas karakteristik fluida saat bergerak
fluida statis	Cabang ilmu sains yang membahas karakteristik fluida saat diam
frekuensi	Banyak osilasi tiap waktu
gaya	Dorongan atau tarikan yang dapat mengubah kecepatan benda
gaya apung	Gaya ke atas yang dilakukan oleh fluida terhadap benda



gaya eksternal	Gaya yang bekerja dari luar benda
gaya gesek	Gaya yang timbul dari gesekan antar dua permukaan
gaya kohesi	Gaya tarik menarik antar molekul sejenis
gaya normal	Gaya yang terjadi saat dua benda bersentuhan yang arahnya tegak lurus bidang sentuh
gelombang	Getaran yang merambat
gelombang bunyi	Gelombang yang merambat dari benda yang bergetar
gelombang cahaya	Bagian dari spektrum Gelombang EM
gelombang elektromagnetik	Gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat
gelombang longitudinal	Gelombang yang arah getarnya sejajar dengan arah rambatnya
gelombang mekanik	Gelombang yang memerlukan medium untuk merambat
gerak lurus beraturan	Gerak suatu benda pada lintasan lurus dengan kecepatan yang tetap
gerak lurus berubah beraturan	Gerak benda dalam lintasan garis lurus dengan percepatan tetap
gerak parabola	Gerak perpaduan antara GLB dan GLBB
impuls	Perubahan momentum
inersia	Ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan awalnya
intensitas gelombang	Laju energi yang dirambatkan tiap satuan luas
interferensi	Perpaduan dua gelombang
jarak	Ukuran yang menunjukkan seberapa jauh posisi suatu benda terhadap titik awal tanpa memperhatikan arah
kalor	Energi termal yang terdapat pada suatu materi
kalor jenis	Banyak kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg benda sebesar 1°C



kalori	Ukuran energi sebesar 4,18 Joule
kapilaritas	Naik atau turunnya zat cair di dalam pipa-pipa kapiler
kecepatan	Besaran yang diperoleh dengan cara membagi perpindahan dengan waktu
kecepatan linear	Kecepatan suatu benda pada gerak lurus
kecepatan sudut	Perubahan sudut terhadap waktu
kecepatan terminal	Kecepatan pada suatu benda di mana gaya dorong dan gaya hambatnya sama besar
kelajuan	Besaran yang diperoleh dengan cara membagi jarak dengan waktu
koefisien gesek	Ukuran tingkat kekasaran suatu permukaan
koefisien restitusi	Perbandingan perubahan kecepatan benda sesudah bertumbukan dan sebelum bertumbukan
komponen vektor	Proyeksi vektor pada sumbu koordinat
massa	Jumlah materi yang dimiliki oleh suatu benda
medan gravitasi	Area di sekitar suatu benda di mana benda lain yang memiliki massa akan mengalami gaya tarikan
meniskus	Melengkungnya permukaan zat cair karena ada gaya tarik antara molekul dan dinding
metode analitis	Metode penentuan besar dan arah menggunakan persamaan matematis
metode jajar genjang	Metode penjumlahan vektor dengan menghubungkan pangkal vektor satu ke pangkal vektor yang lain dan membentuk proyeksi jajar genjang
metode poligon	Metode penjumlahan vektor dengan menghubungkan vektor secara bersambung
momentum	Besaran vektor yang dapat dinyatakan sebagai hasil kali antara massa benda dan kecepatannya
NDT	Teknik mendeteksi cacat material menggunakan prinsip pemantulan gelombang
notasi vektor	Cara penulisan vektor
pemuaian	Peristiwa berubahnya ukuran suatu benda karena perubahan suhu



percepatan	Perubahan kecepatan terhadap waktu
percepatan sentripetal	percepatan untuk mengubah arah benda pada lintasan melingkar
periode	Waktu yang diperlukan untuk satu osilasi
perpindahan	Perubahan antara posisi akhir dengan posisi awal
pipa organa	Pipa yang mengeluarkan suara pada nada tertentu ketika ada aliran udara yang ditiupkan pada tekanan tertentu
polarisasi	Penyearahan arah getar gelombang
prinsip Archimedes	Benda yang masuk dalam fluida akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut
prinsip Bernoulli	Pernyataan hukum kekekalan energi pada fluida yang mengalir
prinsip kontinuitas	Ketentuan yang menyatakan bahwa untuk fluida yang tak termampatkan dan mengalir dalam keadaan tunak, maka laju aliran volume di setiap titik fluida tersebut adalah sama
refleksi (gelombang)	Pemantulan gelombang
refraksi (gelombang)	Berubahnya arah rambat gelombang karena adanya perbedaan kerapatan medium
resonansi	Ikut bergetarnya suatu benda akibat getaran yang dihasilkan oleh sumber bunyi
resultan gaya	Total keseluruhan gaya yang bekerja pada sistem
resultan vektor	Penjumlahan dua atau lebih vektor
seismik	Terkait dengan gempa bumi
sudut tempuh	Posisi sudut yang dinyatakan dengan derajat
suhu	Ukuran panas dingin suatu benda
superposisi	Penggabungan dua gelombang yang koheren
taraf intensitas	Nilai logaritma perbandingan antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang pendengaran



tegangan permukaan

Gaya atau tarikan ke bawah yang menyebabkan permukaan cairan berkontraksi dan cairan dalam keadaan tegang

tekanan

Hasil perbandingan antara gaya per satuan luas

tekanan hidrostatik

Tekanan saat fluida tidak bergerak

vektor

Suatu besaran yang memiliki besar dan arah

viskositas

Ukuran kekentalan suatu fluida



DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, Douglas C. (2014). *Physics for Scientist & Engineers with Modern Physics*. Fourth Edition Physics. US: Pearson Education Limited.
- Handoyo, Ekadewi A. (2007) “The Interesting of Learning Thermodynamics Through Daily Life.” *Teaching and Learning in Higher Education for Developing Countries*, no. May: 151–158.
- Hewitt, Paul G. (2015). *Conceptual Physics*. Twelfth Edition. US: Pearson Education, Inc.
- Hillert, Mats. (2012) “Basic Concepts of Thermodynamics.” *Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations* 388, no. F 09: 1–29.
- Homer, D. (2018). *Oxford IB Course Preparation: Physics for IB Diploma Course Preparation*. Oxford University Press-Children.
- Loverude, Michael E., Christian H. Kautz, and Paula R. L. Heron. (2002) “Student Understanding of the First Law of Thermodynamics: Relating Work to the Adiabatic Compression of an Ideal Gas.” *American Journal of Physics* 70, no. 2: 137–148.
- OECD. (2019) “PISA 2018 Science Framework.” *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*: 97–117.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014) *Fundamentals of Physics*. Tenth Edition. US: John Wiley & Sons Publisher.
- Sang, D., Jones, G., Chadha, G., & Woodside, R. (2010). *Cambridge International AS and A Level Coursebook*. Second Edition Physics. UK: Cambridge University Press.
- Surya, Yohanes (2009). *Seri Bahan Persiapan Olimpiade Fisika: Mekanika dan Fluida 2*. PT Kandel.
- Surya, Yohanes (2009). *Seri Bahan Persiapan Olimpiade Fisika: Suhu dan Termodinamika*. PT Kandel.
- Tinambunan, Alvius (2017). *Mekanika: Olimpiade Sains IPA Terpadu SMP/MTs*. Kandel.
- Tinambunan, Alvius (2017). *Getaran, Gelombang, Bunyi dan Cahaya: Olimpiade Sains IPA terpadu SMP/MTs*. Kandel.
- Tipler, Paul A. (2004). *Physics for Scientist and Engineers*. Fifth Edition. NY: W.H. Freeman & Company
- Walsh, Tom (2022) “oPhysics: Interactive Physics Simulations”. *Vector Addition*.
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). “Teaching physics using PhET simulations”. *The Physics Teacher*, 48(4), 225-227.

DAFTAR KREDIT GAMBAR



- Alexandr, Ivanov. (2021). “Car Drifting on the Race Track”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/car-drifting-on-the-race-track-9878978/>
- Batuhan, Alper. (2018). “Fotografi Fokus Selektif Dari Lighted Lawn Torch”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/fotografi-fokus-selektif-dari-lighted-lawn-torch-1666607/>
- Bilcliff, Ray. (2005). “giant-tsunami-wave”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/giant-tsunami-wave-9156792/>
- Ciboullete. (2017). “Bendungan Abu-Abu Di Bawah Langit Biru”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/bendungan-abu-abu-di-bawah-langit-biru-574024/>
- Dids, (2019). “terbang parasut di udara”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/terbang-parasut-di-udara-2379020/>
- Erzetic, Blaz. (2019). “Person Soldering Chip”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/person-soldering-chip-2628105/>
- Hudson, Trace. (2019). “kereta-grey”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/kereta-grey-2475301/>
- Kaboompics.com. (2015). “water flows from the tap to sink”. pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/water-flows-from-the-tap-to-sink-6256/>
- Krukov, Yan. (2021). “cello”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/a-cello-beside-a-chair-8519628/>
- Кузьмина, Елена. (2021). “photopeople-walking-on-a-site-after-a-natural-disaster”. pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/people-walking-on-a-site-after-a-natural-disaster-8661979/>
- Lach, Ron. (2021). “Photo of an Egg Being Boiled in a Kettle”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/photo-of-an-egg-being-boiled-in-a-kettle-8879615/>
- Manhke, Jens. (2017). “Bonfire photo”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/bonfire-photo-776113/>
- Mont, Uriel. (2020). “Gooseneck kettle placed on burning portable gas stove”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/gooseneck-kettle-placed-on-burning-portable-gas-stove-6271316/>
- Odintsov, Roman. (2021). “Honey on Plate and Spoon”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/honey-on-plate-and-spoon-6422025/>
- Palés, Ignacio. (2019). “Jembatan Golden Gate”. Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/jembatan-golden-gate-san-francisco-california-2872915/>
- Perathoner, Walter (2016). “Waduk Dinding Bendungan Air”, Pixabay.com, <https://pixabay.com/id/photos/waduk-dinding-bendungan-air-1688535/>

- Pixabay. (2017). "A Pirate Ship Sailing on Sea during Golden Hour". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/a-pirate-ship-sailing-on-sea-during-golden-hour-37730/>
- Pixabay. (2016). "saxophone". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/brass-saxophone-on-gray-table-near-black-bag-164936/>
- Pixabay.(2012). "motorcycle racing". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/2-motorcycle-racing-on-asphalt-road-during-daytime-62661/>
- Pixabay.(2016). "air pollution". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/air-air-pollution-chimney-clouds-459728/>
- Pixabay.(2016). "cloud", <https://www.pexels.com/photo/light-sun-cloud-japan-45848/>
- Pixabay.(2016). "waterfalls during daytime". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/waterfalls-during-daytime-62627/>
- Pradeep, Wickramanayaka. (2021). "Bendungan". Pexels.com, <https://www.pexels.com/id-id/foto/air-ombak-sungai-bendungan-10668590/>
- Rodnae. (2021). "pot with boiling water and garlic ". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/pot-with-boiling-water-and-garlic-10432389/>
- Sauvin, Tanguy. (2016). "Close-up Photography of Black Water Strider on Water". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/close-up-photography-of-black-water-strider-on-water-10460/>
- Stijn, Dijkstra. (2019). "photo of-plastics near trees". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/photo-of-plastics-near-trees-2583836/>
- Supreet, (2021). "white-lighthouse-under-green-sky". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/white-lighthouse-under-green-sky-7993050/>
- Vivien, (2018). "Brown Wooden Wheel on River". Pexels.com, <https://www.pexels.com/photo/brown-wooden-wheel-on-river-1108173/>

TAUTAN DAN SITUS INTERNET



- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. “Boyle’s law”. Encyclopedia Britannica, 20 Oct. 2022, <https://www.britannica.com/science/Boyles-law>. Dilihat pada 7 November 2022.
- French, Andrew. (2009). The Kinematics of Usain Bolt, the World’s Fastest Human. http://www.electicon.info/index_htm_files/Kinematics%20of%20Usain%20Bolt.pdf. Dilihat pada 30 Oktober 2022.
- Fowler, Michael. (Tanpa tahun). “Early Attempts to Understand Heat: Is It a Fluid, or What?”, <https://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/What%20is%20Heat.htm>. Dilihat pada 15 September 2022.
- Fowler, Michael. (Tanpa tahun). “Heat Engines: the Carnot Cycle ”, <https://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/CarnotEngine.htm>. Dilihat pada 15 September 2022.
- Urone, Paul Peter, Hinrich, Rogers, et al. “Physics College 2e” (2022). <https://openstax.org/details/books/college-physics>. Dilihat pada 9 November 2022.
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Biology/respir.html#:~:text=By%20%22respiratory%20system%22%20we%20usually,of%20oxygen%20in%20the%20cells>. Dilihat pada 7 November 2022.
- <https://www.liacoseducationalmedia.com/shedding-light-on-motion-episode-1-speed>. Dilihat pada 30 Oktober 2022.
- <https://www.cyberphysics.co.uk/MobileVersion/topics/heat/expansion.htm>. Dilihat pada 4 November 2022.



INDEKS

A

Adiabatis 186, 187, 190, 200, 204
Amplitudo 118, 119, 125, 126, 129
Asas Black 149, 159
Asas kontinuitas 106, 108, 110, 112

B

Barometer 96, 113
Beda fase 115, 116, 121, 122, 123, 124, 135, 140, 146
Berat 20,21, 67, 73, 75, 85, 91, 94, 97, 98, 103, 182, 184

C

Cepat rambat bunyi 115, 118, 123, 127, 128, 130, 147, 148

D

Debit 90, 107, 108, 111
Desibel 136
Diagram pV 185, 186, 199, 204, 205, 206
Difraksi 115, 116, 141, 142, 143, 146

E

Efek Doppler 115, 116, 132, 133, 144
Energi dalam 173, 174, 184, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 200, 204
Energi termal 189, 198
Entropi 173, 174, 175, 184, 186, 187, 192, 193, 195, 204, 205, 206

F

Fase gelombang 91, 118, 121, 122, 123, 134, 135, 140, 146
Fluida 73, 76, 89-95, 97, 99, 103, 103-112, 167, 168, 201

Fluida dinamis 89-91, 105, 112
Fluida statis 89-91, 112
Frekuensi 59, 115, 118, 124, 126, 129-135, 137, 146, 148

G

Gas ideal 128, 173, 174, 176, 181, 182, 185-188, 191, 204, 206
Gas nyata 181, 204
Gaya 3, 6-8, 10, 19-24, 63-76, 78, 79, 84 - 90, 92, 94, 95, 97 - 99, 101, 103 - 105, 110, 112, 113, 127, 176, 181, 188, 192
Gaya apung 89, 90, 97, 98
Gaya eksternal 67, 68, 72
Gaya gesek 64, 65, 72-76, 79, 87, 105, 192
Gaya kohesi 101
Gaya Normal 64, 73 - 75
Gelombang 115 - 127, 128, 130 - 133, 135, 137 - 148
Gelombang bunyi 115, 119, 124, 126, 130, 137, 141
Gelombang cahaya 115, 119, 124, 138, 144, 14
Gelombang elektromagnetik 120, 139
Gelombang longitudinal 119 - 121
Gelombang mekanik 120
Gerak lurus beraturan 27, 44 - 47, 54, 59
Gerak lurus berubah beraturan 27, 28, 44, 47, 49, 54, 59
Gerak melingkar beraturan 27 - 29, 58, 59
Gerak parabola 27, 28, 53 - 56, 58
Gerak relatif 36, 65
Gravitasi 52, 54, 64, 67, 70, 73, 94, 95, 103, 110, 111



H

Hukum Avogadro 174, 180, 181
 Hukum Boyle 174, 177, 178, 181, 187
 Hukum Charles 174, 178, 179, 181, 186
 Hukum Gay-Lussac 174, 179 – 181, 187, 192,
 Hukum kekekalan momentum 79 – 82, 159, 188, 201
 Hukum Newton 63, 65, 76, 86, 87
 Hukum Termodinamika 174, 188, 205

I

Impuls 79, 80
 Inersia 64, 85, 88
 Intensitas gelombang 125
 Interferensi 115, 116, 135, 139 – 141, 146
 Isobarik 174, 186, 191, 204
 Isokhorik 174, 186, 187, 191, 204
 Isotermal 187, 199, 200

J

Jarak 4, 5, 13, 27 – 29, 32 – 35, 38 – 40, 45, 46, 48, 50, 51, 54 – 57, 59 – 62, 69, 84, 85, 98, 105, 113, 118, 121, 125, 136, 137, 140, 143, 147, 148, 162, 176
 Jarak henti 50

K

Kalor 128, 149, 150, 153, 155 – 163, 165 - 171, 173, 174, 176, 185, 186, 188, 190 - 193, 195 - 199, 201 - 206
 Kalor jenis 149, 150, 157 – 159, 162, 171
 Kalori 155
 Kapasitas kalor 159, 191

Kapilaritas 102, 103

Kecepatan 24 – 28, 35 – 52, 55 – 59, 61, 63 – 67, 72, 76 – 82, 86 – 88, 109, 113, 114, 119, 121, 124, 127, 128, 133, 148, 153

Kecepatan linear 27, 28

Kecepatan rata-rata 39, 40, 45

Kecepatan sesaat 38, 45

Kecepatan sudut 27, 28, 58, 59, 121

Kecepatan terminal 63, 76

Kelajuan 27, 28, 35, 37 – 40, 42, 46, 56, 59, 61, 90, 104 – 106, 108, 109, 111, 112

Kelajuan rata-rata 39, 40, 108

Kelajuan sesaat 38, 39

Koefisien gesek 64, 74 - 76

Koefisien restitusi 80, 81, 83, 85,

Kohesi 101

Komponen vektor 1, 3, 6, 10, 13, 18

Konduksi 166, 167, 169, 170

Konveksi 166 – 170

M

Massa 21, 22, 61, 64, 66 - 70, 72 - 74, 78, 79, 85, 87, 88, 90, 91, 93, 94, 96, 97, 100, 103 – 105, 110, 111, 113, 127 - 130, 132, 156 – 158, 160, 162, 167, 171, 180, 184
 Massa jenis 93, 94, 96, 97, 100, 103, 105, 110, 111, 113, 127, 128, 167, 171, 184

Meniskus 101, 102

Mesin kalor 173, 198, 199, 202, 203, 205, 206



- Mesin Carnot 199 – 202, 204, 205
 Metode analitis 1, 17, 26
 Metode jajar genjang 1, 15, 16, 19 - 21
 Metode poligon 1, 16
 Momentum 63, 64, 79 – 82, 86, 117
 Momen gaya 22, 23, 63, 64, 84, 86
 Momen inersia 64, 85, 88
- N**
 NDT 137, 138
 Notasi vektor 5
- O**
 Operasi vektor 1, 2, 14, 24
- P**
 Panjang 5 - 8, 10, 12, 13, 17, 20, 28, 32, 34, 37, 39, 55, 60, 64, 69, 85, 95, 98, 101, 104, 118, 120 – 122, 124, 130 – 132, 134, 139, 140 – 143, 146 – 150, 154, 163 - 165
 Pelayangan 135
 Pemuaian 149, 150, 162 – 165, 167, 170, 176,
 Penguraian vektor 10, 12, 13, 82
 Percepatan 24, 27, 28, 41 – 44, 47 – 49, 51, 52, 58, 59, 67 – 70, 72, 73, 76, 79, 86, 88, 94, 103, 111, 113
 Percepatan sentripetal 27, 28, 58,
 Percepatan sudut 86
 Periode 118, 121
 Perkalian vektor 9, 14, 22 - 24
 Perpindahan 5, 6, 12, 14, 17, 18, 22, 23, 26 – 28, 32 – 35, 39, 40, 46, 48 – 51, 59, 86, 117, 150, 152, 155, 159, 160, 166 – 170, 185, 186, 189, 195, 197, 199, 203
 Persamaan gas ideal 128, 173, 181, 182
 Persamaan gas nyata 181
 Pipa organa 115, 116, 129, 131, 146, 147
 Polarisasi 115, 116, 143, 144, 146
 Posisi 2, 7, 14, 27 – 34, 39, 45, 46, 51, 53, 59, 75, 77, 78, 83 – 85, 90, 91, 93, 94, 106, 107, 109 – 112, 121, 123, 124, 129, 131, 132, 135, 140, 146
 Pompa kalor 173, 198, 201 – 205
 Prinsip Archimedes 89
 Proses termodinamika 174, 174, 183 – 187, 190, 199, 204
- R**
 Radiasi 166, 168-170
 Refleksi(gelombang) 116, 146
 Refraksi(gelombang) 116, 146
 Resonansi 129, 134
 Resultan gaya 20, 21, 23, 65, 68-70, 110, 113
 Resultan vektor 1,3,14-19,21
 Rumus cosinus 20,21
 Rumus sinus 19
- S**
 Seismik 119-121
 Siklus Carnot 199-201
 Sistem termodinamika 174, 183, 184, 205
 Skala suhu 153, 154



Sudut tempuh 27, 28, 58
Suhu 99,127,128, 149-171, 177-181
Superposisi 124, 129,135

T

Taraf Intensitas 115, 136, 137, 148
Tegangan permukaan 89, 101, 104
Tekanan 24, 89-96, 99, 105, 109, 11-
113, 127,128, 154, 162,
176-186,188, 191, 192,
204, 206
Tekanan hidrostatik 89-90, 92-96, 99,
104, 112, 113
Termometer 149, 150, 152-156, 169,
188

U

Usaha 22, 23, 77, 92, 109, 110, 173, 174,
176, 185, 186, 188-192,
194, 196, 197, 200, 204,
206

V

Vektor 1-25, 30, 35, 37, 38, 42, 55, 57,
66, 68, 82, 84
Viskositas 89, 90, 104, 105, 112
Volume 97-105, 107, 128, 149, 150, 153,
164, 165, 171, 176-182,
184-186, 191, 192, 204,
206



PROFIL PELAKU PERBUKUAN

1. PENULIS

Nama lengkap : Marianna Magdalena Radjawane, M.Si.
Email : marianna.radjawane@gmail.com
Instansi : -
Alamat Instansi : -
Bidang Keahlian : Pendidikan Matematika dan Fisika



Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. Praktisi Pendidikan (2013-sekarang)
2. Dosen PJJ STKIP Terang Bangsa Timika (Agustus 2020 - Juni 2021)
3. Guru Fisika PJJ SMA Filiasofia Pekanbaru (Juli 2020 - Des 2021)
4. Guru Fisika SMA Cita Buana Jakarta (2013-2015)
5. Koordinator Divisi Pelatihan Guru Surya Institute (2007-2013)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. Sarjana Astronomi – Institut Teknologi Bandung (1983-1989)
2. Magister Fisika – Institut Teknologi Bandung (1990-1993)
3. Advanced Certificate in Teaching and Learning Program - Foundation for Excellence in Education (2003 - 2006)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Dicky Susanto, dkk (2022), Matematika untuk SMP Kelas VII, Kemdikbud, Jakarta
2. Dicky Susanto dkk (2021), Matematika untuk SMA/SMK Kelas XI, Kemdikbud, Jakarta.
3. Dicky Susanto dkk (2021), Matematika untuk SMA/SMK Kelas X, Kemdikbud, Jakarta.
4. Direktorat SMP (2021), Inspirasi Pembelajaran yang Memperkuat Numerasi Pada Mata Pelajaran Matematika, IPA dan Seni Budaya untuk Jenjang Sekolah Menengah Pertama, Modul, Kemdikbud, Jakarta
5. Pusmenjar (2020), Modul Belajar Literasi dan Numerasi Jenjang SD Program Pembelajaran Jarak Jauh: Modul Belajar Siswa, Modul Pendamping Bagi Guru, dan Modul Pendamping Bagi Orang Tua Modul, Kemdikbud, Jakarta.
6. *Contributor in Excel in Science Grade 4*, Oxford University Press (2018)
7. Science Gasing Kelas 3-6, Penerbit PT Kandel (2013).



2. PENULIS DAN ILLUSTRATOR

Nama lengkap : Alvius Tinambunan, S.Si., M.Si
Email : alviustinambunan@gmail.com
Instansi : Emmerich Education Center
Alamat Instansi : Muara Karang, Jakarta utara
Bidang Keahlian : Fisika dan Matematika



Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. Patent ilustrator di Emmerich research center (2019-2021)
2. Asisten peneliti di Emmerich research center (2017-2020)
3. Guru Fisika, Matematika dan Sains di Emmerich Education Center (2017-sekarang)
4. Guru Sains dan Fisika Bimbel akademi plato (2016-2017)
5. Penulis buku Olimpiade Fisika tingkat SMP di Pt. Kandel (2015)
6. Guru Olimpiade Fisika dan Astronomi SMA Kristen Makedonia (2010-2016)
7. Guru Fisika di SMA Kristen Makedonia (2010–2016)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. Magister Sains – Institut Pertanian Bogor (2020-2022)
2. Sarjana Sains – Universitas Tanjung Pura (2006-2010)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Mekanika, 2017
2. Suhu dan kalor, 2017
3. Listrik dan magnet, 2017
4. Getaran, gelombang, bunyi dan cahaya, 2017

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Effects of Nickel/Manganese Variation on $\text{Na}_2\text{Mn}_3\text{-zNi}_2\text{O}_7$ for Sodium-Ion Battery Cathode (2022)



3. PENULIS

Nama lengkap : Lim Suntar Jono, S.T., M.Si.
Email : Suntarskc@gmail.com
Instansi : SMA Kristen Calvin
Alamat Instansi : Jl. Industri Blok B14 Kemayoran
Bidang Keahlian : Fisika, Matematika, dan Kimia.



Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. WaKasek bidang Kurikulum SMA Kristen Calvin (2011-sekarang)
2. Koordinator MGMP IPA SMA Kristen Calvin (2010-sekarang)
3. Guru Fisika SMA Kristen Calvin (2008-sekarang)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. Mahasiswa S3 Filsafat, STF Driyarkara (2020-sekarang)
2. S2 Program Magister Fisika Teori dan Terapan, Universitas Indonesia (2010-2013)
3. S1 Program Sarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung (2002-2006)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Tesis: Sifat-Sifat Bintang Neutron pada Daerah Crust (2013)

Informasi Lain dari Penulis:

Hasil Karya:

1. Content Creator video animasi pembelajaran matematika pada Instagram Animatematika
2. Content Creator Channel Youtube pembelajaran matematika dan sains (BengkelMaFiA, Bengkel Kalkulus, dan Bengkel FiDas)
3. Content Creator Channel Youtube analisis film populer secara kritis (philosophizeME)



4. PENELAAH

Nama lengkap : Dr. Muslim, M.Pd.
Email : muslim@upi.edu
Instansi : Universitas Pendidikan Indonesia
Alamat Instansi : Jalan Dr. Setiabudhi Nomor 229 Bandung
Bidang Keahlian : Pendidikan Fisika

Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. Dosen Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (1990 - Sekarang).
2. Penelaah Buku Teks Pelajaran Fisika SMA Kelas XI. Pusat Perbukuan Kemendikbud Ristek (2022).
3. Penulis Soal Tes Kompetensi Guru Mapel Fisika SMA. Pusmenjar Kemendikbud Ristek (2021).
4. Reviewer Soal Uji Pengetahuan UKMPPG Mapel Fisika SMA. Dirjen GTK Kemendikbud (2020).
5. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (2015 - 2019).
6. Instruktur Diklat Peningkatan Kompetensi Guru Fisika Pada Kegiatan Peningkatan Mutu Pendidikan Tenaga Kependidikan Jenjang SMA Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Banten (2018).

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. S1 - Pendidikan Fisika - IKIP Bandung (1984)
2. S2 - Pendidikan IPA - Universitas Pendidikan Indonesia (1998)
3. S3 - Pendidikan IPA - Universitas Pendidikan Indonesia (2008)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Pengembangan Prototipe Three Dimensional Assessment Pembelajaran Fisika Berbasis Framework Three Dimensional Learning (2021).
2. Pengembangan Instrumen Tes Penalaran Ber- Framework Trends in International Mathematics and Science Study (TIMMS) dan Profil Capaian Kemampuan Penalaran Siswa pada Materi Fisika SMA (2016).

Buku yang Pernah ditelaah, direviu, dibuat ilustrasi dan/atau dinilai (10 tahun terakhir):

1. Buku Siswa “Fisika SMA Kelas XI”. Pusat Perbukuan Kemendikbud Ristek (2022).
2. Buku Panduan Guru “Fisika SMA Kelas XI”. Pusat Perbukuan Kemendikbud ristek (2022).



5. PENELAAH

Nama lengkap : Dr. Hasanudin Abdurakhman

Email : h.abdurakhman@gmail.com

Instansi : Pribadi

Alamat Instansi : -

Bidang Keahlian : Fisika

Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. Chief Operating Officer, Multi Indonesia Group (2022-sekarang)
2. Associate Director, PT Toray Industries Indonesia (2013-2022)
3. Director, PT Osimo Indonesia (2007-2013)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. Department of Physics, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia, graduated in February 1994 (Sarjana).
2. Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, graduated in September 1999 (M. Eng), 2002 (PhD)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Minoritas Muslim di Jepang, 2014
2. Melawan Miskin Pikiran, 2016
3. Emakku bukan Kartini, 2017
4. Islam untuk Indonesia, 2017
5. Blusukan di Makkah dan Madinah, 2018
6. Belajar, Sekolah, Sukses, Kaya, 2018
7. Uchi dan Soto, Budaya Jepang dari Keluarga ke Korporasi, 2019
8. *From Dream to Habit*, 2019



6. EDITOR

Nama lengkap : Aslizar
Email : aslizarichank@gmail.com
Instansi : -
Alamat Instansi : -
Bidang Keahlian : Editor

Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):

1. Editor di CV Regina publishing, CV Ricardo publishing
2. Editor dan Penulis Freelance

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. S1 MIPA FISIKA Universitas Diponegoro

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. Matematika untuk SMP/MTs, Bintang Anaway, 978-602-1663-39-4
2. Cakrawala IPA untuk SMP/MTs: buku siswa PT. Lista Fariska Putra 978-602-9232-80-6
3. Hafal mahir materi IPA SD/MI kelas 4, 5, 6 Grasindo (Gramedia Widia Sarana Indonesia) 978-602-375-883-8
4. Hafal mahir teori dan rumus IPA SMP/MTs kelas 7, 8, 9 Grasindo (Gramedia Widia Sarana Indonesia) 978-602-452-414-2
5. Buku saku hafal mahir teori dan rumus IPA SMP kelas 7,8,9 Grasindo (Gramedia Widia Sarana Indonesia) 978-602-375-615-5
6. Raja bank soal IPA SMP kelas 7,8 & 9 B Media 978-602-73001-7-0



7. PENATA LETAK DAN ILLUSTRATOR

Nama lengkap : Marcha Roselini Yulianto

Email : maroselini@gmail.com

Instansi :-

Alamat Instansi :-

Bidang Keahlian : desainer dan ilustrator

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Redwing Event Organizer (Surakarta) desainer (2021-2022)
2. PLIVE Agensi (Bekasi) Ilustrator (2019 -2020)
3. Era Adicitra Intermedia (Surakarta) Ilustrator (2018 – 2021)
4. Garden Textile (Surakarta) Ilustrator (2019 – 2020)
5. *Freelancer Ilustrator* (2018- 2022)
6. Guru Les Privat Menggambar (2018- 2022)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:

1. D3 DKV UNS (2015-2018)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):

1. *The Little Hijabi Homeschooling, Poject Educational Flash Card*, 2018.
2. Ilustrasi buku *Aku Cinta Indonesia*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
3. Ilustrasi buku *Aku Rela, Allah Tuhanku*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
4. Ilustrasi buku *Aku Rela, Alquran Kitabku*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
5. Ilustrasi buku *Aku Rela, Islam Agamaku*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
6. Ilustrasi buku *Aku Rela, Kakbah Kiblatku*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
7. Ilustrasi buku *Aku Rela, Muhammad Nabiku*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
8. Ilustrasi buku *Nasihat Semut*, 2020 (Era Adicitra Intermedia. PT)
9. Ilustrasi buku *Kisah Menakjubkan Bayi Pilihan*(seri), 2022 (Era Adicitra Intermedia. PT)