



Dudi Indrajit

# Mudah dan Aktif Belajar Fisika

untuk Kelas X  
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah

1



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional



Dudi Indrajit



# Mudah dan Aktif Belajar Fisika

untuk Kelas X

Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah

1



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional  
dilindungi oleh Undang-Undang

**Mudah dan Aktif Belajar Fisika  
untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah  
Program Ilmu Pengetahuan Alam**

Penulis : Dudi Indrajit  
Penyunting : Ahmad Fauzi  
Pewajah Isi : Neni Yuliati  
Ilustrator : S. Riyadi  
Pewajah Sampul : A. Purnama  
  
Ukuran Buku : 21 x 29,7 cm

530.07

DUD DUDI Indrajit

m

Mudah dan Aktif Belajar Fisika 1 : untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas/  
Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Dudi Indrajit  
; penyunting, Ahmad Fauzi; ilustrator, S. Riyadi. — Jakarta : Pusat Perbukuan,  
Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
vi, 226 hlm. : illus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 226

Indeks

ISBN 978-979-068-816-2 (No. Jilid Lengkap)

ISBN 978-979-068-817-9

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul  
II. Ahmad Fauzi III S. Riyadi

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit Setia Purna Inves, PT

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ....

# Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009  
Kepala Pusat Perbukuan

# Kata Pengantar

Fisika adalah salah satu rumpun ilmu sains yang mempelajari alam semesta. Ruang lingkup ilmu Fisika sangat luas, mulai dari atom yang berdimensi nanometer hingga jagat raya yang berdimensi tahunan cahaya. Dalam kehidupan sehari-hari, banyak ditemukan aplikasi ilmu Fisika, baik berupa fenomena-fenomena di alam atau rekayasa teknologi. Oleh karena itu, Fisika memiliki tingkat urgensi yang tinggi karena merupakan dasar untuk penguasaan teknologi di masa depan.

Sesuai dengan misi penerbit untuk memberikan kontribusi yang nyata bagi kemajuan ilmu pengetahuan maka penulis dan penerbit merealisasikan tanggung jawab tersebut dengan menyediakan buku bahan ajar Fisika yang berkualitas, sesuai dengan tuntutan kurikulum yang berlaku saat ini.

Buku ini disusun dengan mengutamakan pendekatan secara inkuiri (eksperimen) dan disajikan secara sistematis, komunikatif, dan integratif, serta adanya keruntutan rangkaian (bab dengan subbab, antarsubbab dalam bab, antaranenia dalam subbab). Sebelum mempelajari materi, sebaiknya Anda terlebih dahulu membaca bagian **Advanced Organizer** yang terdapat pada halaman awal setiap bab agar Anda dapat mengetahui isi bab secara umum. Pada awal setiap bab, disajikan pula **Tes Kompetensi Awal** sebagai evaluasi materi prasyarat untuk mempelajari bab yang bersangkutan.

Di akhir setiap bab, terdapat **Rangkuman**, **Peta Konsep**, dan **Refleksi** yang bertujuan lebih meningkatkan pemahaman Anda tentang materi yang telah dipelajari dengan memunculkan umpan balik untuk evaluasi diri. Buku ini dilengkapi juga dengan beberapa materi, tugas, dan soal pengayaan, di antaranya **Informasi untuk Anda (Information for You)**, **Tantangan untuk Anda**, **Mari Mencari Tahu**, **Tugas Anda**, **Pembahasan Soal**, dan **Tokoh** yang dapat memperluas pengetahuan materi Fisika yang sedang dipelajari.

Untuk menguji pemahaman Anda terhadap materi yang telah dipelajari diberikan **Tes Kompetensi Subbab** pada setiap akhir subbab, **Tes Kompetensi Bab** pada setiap akhir bab, dan **Tes Kompetensi Fisika Semester** pada setiap akhir semester. Selain itu, pada akhir buku juga diberikan **Tes Kompetensi Akhir** untuk menguji pemahaman materi Fisika selama satu tahun ajaran. Semua tes kompetensi tersebut merupakan sarana mengevaluasi pemahaman dan melatih kemampuan menerapkan konsep/prinsip Fisika yang berkaitan dengan materi yang telah dipelajari. Adapun **Kunci Jawaban** (nomor ganjil) kami sajikan untuk memudahkan Anda dalam mengevaluasi hasil jawaban.

Untuk menumbuhkan daya kreativitas, kemampuan psikomotorik, dan cara berpikir ilmiah, kami sajikan **Aktivitas Fisika** dan **Proyek Semester** yang menuntut peran aktif Anda dalam melakukan kegiatan tersebut.

Demikianlah persembahan kami untuk dunia pendidikan.

Bandung, Mei 2007

Penerbit

# Panduan untuk Pembaca

Materi-materi pembelajaran pada buku ini berdasarkan kurikulum yang berlaku saat ini dan disajikan secara sistematis, komunikatif, dan integratif. Di setiap awal bab, dilengkapi gambar pembuka pelajaran, bertujuan memberikan gambaran materi pembelajaran yang akan dibahas, dan mengajarkan siswa konsep berpikir kontekstual sekaligus merangsang cara berpikir kontekstual. Selain itu, buku ini juga ditata dengan format yang menarik dan didukung dengan foto dan ilustrasi yang representatif. Penggunaan bahasa yang sederhana, sesuai dengan tingkatan kognitif siswa sehingga membuat pembaca lebih mudah memahaminya.

Buku Mudah dan Aktif Belajar Fisika untuk SMA Kelas X ini terdiri atas sembilan bab, yaitu Pengukuran dan Besaran, Vektor, Gerak Lurus, Gerak Melingkar, Dinamika Gerak, Cahaya dan Optika, Kalor, Listrik Dinamis, dan Gelombang Elektromagnetik. Untuk lebih jelasnya, perhatikan petunjuk untuk pembaca berikut.

- (1) **Judul Bab**, disesuaikan dengan tema materi dalam bab.
- (2) **Hasil yang harus Anda capai**, tujuan umum yang harus Anda capai pada bab yang Anda pelajari.
- (3) **Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu**, kemampuan yang harus Anda kuasai setelah mempelajari bab.
- (4) **Gambar Pembuka Bab**, disajikan untuk mengetahui contoh manfaat dari materi yang akan dipelajari.
- (5) **Advanced Organizer**, uraian singkat tentang isi bab untuk menumbuhkan motivasi belajar dan mengarahkan Anda agar lebih fokus terhadap isi bab.
- (6) **Tes Kompetensi Awal**, merupakan soal prasyarat yang harus Anda pahami sebelum memasuki materi pembelajaran.
- (7) **Materi Pembelajaran**, disajikan secara sistematis, komunikatif, integratif, dan sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi terkini (*up to date*).
- (8) **Gambar dan Ilustrasi**, sesuai dengan materi dalam bab yang disajikan secara proporsional dan harmonis.
- (9) **Contoh Soal**, berisi contoh dan penyelesaian soal.
- (10) **Tugas Anda**, berisi tugas atau latihan soal yang berkaitan dengan materi tersebut.
- (11) **Pembahasan Soal**, berisi contoh soal yang berasal dari Ebtanas, UAN, UMPTN, atau SPMB.
- (12) **Mari Mencari Tahu**, tugas mencari informasi yang bertujuan menumbuhkan rasa ingin tahu dan mendorong siswa untuk mencari informasi lebih jauh.
- (13) **Aktivitas Fisika**, kegiatan yang dilakukan secara berkelompok untuk mengembangkan kecakapan hidup Anda.
- (14) **Ingatlah**, catatan atau hal-hal penting yang perlu Anda ketahui.
- (15) **Informasi untuk Anda (Information for You)**, berisi pengayaan mengenai informasi dan aplikasi materi, disajikan dalam 2 bahasa (*bilingual*).
- (16) **Tantangan untuk Anda**, berisi soal-soal yang disajikan dengan tingkat kesulitan lebih tinggi.
- (17) **Kata Kunci**
- (18) **Tokoh**, berisi tokoh Fisika penggagas ide baru dan pekerja keras sehingga akan menumbuhkan semangat inovatif/kreatif, etos kerja, dan mengembangkan kecakapan hidup Anda.
- (19) **Tes Kompetensi Subbab**, berisi soal-soal untuk mengevaluasi penguasaan materi subbab.
- (20) **Rangkuman**
- (21) **Peta Konsep**
- (22) **Refleksi**, sebagai umpan balik bagi siswa setelah mempelajari materi di akhir pembelajaran tiap bab.
- (23) **Tes Kompetensi Bab**, berisi soal-soal untuk mengevaluasi penguasaan materi bab.
- (24) **Proyek Semester**, kegiatan percobaan untuk meningkatkan pemahaman konsep Fisika dan memotivasi Anda untuk menggali informasi, memanfaatkan informasi, dan menyelesaikan masalah.
- (25) **Tes Kompetensi Fisika Semester**, berisi soal-soal untuk mengevaluasi penguasaan materi selama satu semester.
- (26) **Tes Kompetensi Akhir**, berisi soal-soal untuk mengevaluasi penguasaan materi selama satu tahun ajaran.

# Daftar Isi

Kata Sambutan • iii

Kata Pengantar • iv

Panduan untuk Pembaca • v

## Bab 1 Pengukuran dan Besaran • 1

- A. Pengukuran • 2
- B. Angka Penting • 10
- C. Besaran dan Satuan • 17
- Rangkuman • 27
- Peta Konsep • 28
- Refleksi • 28
- Tes Kompetensi Bab 1 • 29

## Bab 2 Vektor • 31

- A. Vektor • 32
- B. Perkalian Vektor • 39
- Rangkuman • 41
- Peta Konsep • 42
- Refleksi • 42
- Tes Kompetensi Bab 2 • 43

## Bab 3 Gerak Lurus • 45

- A. Gerak, Jarak, dan Perpindahan • 46
- B. Kelajuan dan Kecepatan • 48
- C. Percepatan • 52
- D. Gerak Lurus Beraturan (GLB) • 55
- E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) • 57
- Rangkuman • 65
- Peta Konsep • 66
- Refleksi • 66
- Tes Kompetensi Bab 3 • 67

## Bab 4 Gerak Melingkar • 69

- A. Gerak Melingkar Beraturan • 70
- B. Percepatan Sentripetal • 73
- C. Aplikasi Gerak Melingkar • 75
- D. Gerak Melingkar Berubah Beraturan • 76
- Rangkuman • 78
- Peta Konsep • 79
- Refleksi • 79
- Tes Kompetensi Bab 4 • 80

## Bab 5 Dinamika Gerak • 83

- A. Gaya Memengaruhi Gerak Benda • 84
- B. Penerapan Hukum Newton • 91
- Rangkuman • 100
- Peta Konsep • 100
- Refleksi • 100
- Tes Kompetensi Bab 5 • 101
- Proyek Semester 1 • 104
- Tes Kompetensi Fisika Semester 1 • 105

## **Bab 6** **Cahaya dan Optika • 107**

- A. Cahaya • 108
- B. Pemantulan Cahaya • 109
- C. Pembiasan Cahaya • 117
- D. Alat-Alat Optik • 130
- Rangkuman • 143
- Peta Konsep • 144
- Refleksi • 144
- Tes Kompetensi Bab 6 • 145

## **Bab 7** **Kalor • 147**

- A. Kalor • 148
- B. Perpindahan Kalor • 160
- Rangkuman • 165
- Peta Konsep • 166
- Refleksi • 166
- Tes Kompetensi Bab 7 • 167

## **Bab 8** **Listrik Dinamis • 169**

- A. Arus Listrik dan Muatan • 170
- B. Hukum Ohm dan Hambatan • 172
- C. Rangkaian Seri dan Paralel • 178
- D. Hukum II Kirchhoff • 186
- E. Sumber Arus Searah dari Proses Kimiawi • 189
- F. Tegangan Listrik Searah dan Bolak-Balik • 191
- Rangkuman • 197
- Peta Konsep • 198
- Refleksi • 198
- Tes Kompetensi Bab 8 • 199

## **Bab 9** **Gelombang** **Elektromagnetik • 201**

- A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik • 202
- B. Jenis-Jenis Gelombang Elektromagnetik • 204
- Rangkuman • 207
- Peta Konsep • 207
- Refleksi • 207
- Tes Kompetensi Bab 9 • 208
- Proyek Semester 2 • 209
- Tes Kompetensi Fisika Semester 2 • 210

- Tes Kompetensi Akhir • 212
- Kunci Jawaban • 216
- Apendiks • 220
- Senarai • 223
- Indeks • 224
- Daftar Pustaka • 226



# Bab 1



Sumber: *Young Scientist*, 1994

Melalui pengukuran, para peneliti dapat mengetahui bahwa lebah mampu melihat dengan jelas benda yang ada di permukaan Bumi dari ketinggian 1.600 m.

## Pengukuran dan Besaran

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep besaran Fisika dan pengukurannya.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

mengukur besaran Fisika (massa, panjang, dan waktu).

Lebah merupakan serangga yang memiliki jangkauan pandangan yang mampu menembus awan dari ketinggian 1.600 m. Getaran kedua sayapnya dapat melakukan gerakan sebanyak 500 kali setiap detiknya. Menurut Anda, dari mana data tentang lebah tersebut?

Sains berarti “mengetahui”. Dalam perkembangannya, sains berhubungan dengan proses pemahaman tentang alam secara sistematis yang meliputi pengamatan, pengukuran, dan eksperimen. Fisika merupakan bagian dari sains. Di dalam Fisika, Anda dapat mempelajari kejadian-kejadian alam serta interaksi antarbenda, seperti susunan planet dalam tata surya, magnet, gerak, kalor, cahaya, dan listrik melalui serangkaian pengukuran.

Apakah pengukuran itu? Misalnya, Anda dapat mengetahui bahwa kakak Anda lebih tinggi daripada Anda. Apakah ini merupakan pengukuran? Pada bab ini, Anda akan belajar mengenai Pengukuran dan Besaran. Pelajari dengan saksama karena bab ini merupakan dasar-dasar Anda mempelajari Fisika.

- A. Pengukuran**
- B. Angka Penting**
- C. Besaran dan Satuan**

## Tes Kompetensi Awal

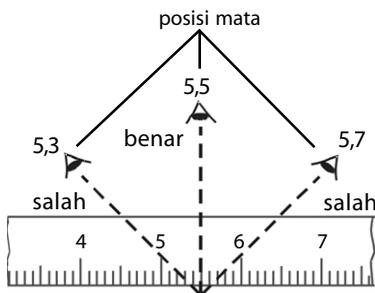
Sebelum mempelajari konsep Pengukuran dan Besaran, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang Anda ketahui tentang pengukuran?
2. Anda dapat mengetahui panjang meja belajar Anda dengan mengukur meja tersebut menggunakan mistar. Selain itu, Anda juga dapat mengukurnya dengan jengkal tangan Anda. Menurut Anda, manakah hasil dari dua pengukuran tersebut yang lebih tepat? Kemukakan alasan Anda.
3. Sebutkan alat ukur panjang yang Anda ketahui.
4. Mengapa penulisan angka hasil pengukuran harus mematuhi aturan angka penting?
5. Apa yang Anda ketahui tentang besaran pokok, besaran turunan, dan dimensi?

## A. Pengukuran

Dalam kehidupan sehari-hari, Anda mungkin pernah melakukan atau melihat proses pengukuran. Ketika Anda membeli buah-buahan, buah yang akan Anda beli ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massanya. Hal ini menunjukkan bahwa penjual buah sedang melakukan pengukuran massa buah yang akan Anda beli.

Apakah pengukuran itu? Di SMP, Anda telah mengetahui definisi mengukur. *Pengukuran* adalah *membandingkan nilai besaran yang diukur dengan besaran sejenis yang ditetapkan sebagai satuan*. Untuk memperoleh nilai persentase kesalahan sekecil mungkin, pastikan Anda telah melalui langkah-langkah pengukuran dengan benar, mempertimbangkan aspek ketepatan (akurasi), kesalahan matematis yang memerlukan kalibrasi, ketelitian (presisi), dan kepekaan (sensitivitas) alat ukur yang digunakan. Pemilihan instrumen pengukuran yang akan digunakan hendaknya disesuaikan dengan tingkat ketelitian yang diinginkan.



Gambar 1.1

Kesalahan pengukuran sering terjadi karena kesalahan membaca alat.

### 1. Ketidakpastian dalam Pengukuran

Ketidakpastian ketika melakukan pengukuran dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Sebagian orang tidak mampu membaca sebuah alat ukur di luar batas bagian terkecil yang ditunjukkan. Contoh sederhana yang kerap terjadi ketika Anda mengukur panjang sebuah benda menggunakan alat ukur mistar. Ketidakpastian pengukuran muncul saat posisi mata tidak tegak lurus terhadap skala ukur yang dibaca seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.

Ketidakpastian hasil pengukuran pun kerap timbul akibat ketelitian alat ukur yang memiliki keterbatasan skala. Perhatikan Gambar 1.2. Sebagai contoh, panjang sebuah *remote AC* diukur menggunakan mistar. Dari pengukuran tersebut, diketahui bahwa panjang *remote AC* tersebut adalah 13,7 cm. Angka 13 dan angka 7 merupakan angka pasti karena kedua angka tersebut tercantum pada skala mistar.

Jika *remote AC* yang sama diukur menggunakan jangka sorong, hasil pengukuran menunjukkan 13,725 cm. Angka 13,725 adalah angka pasti karena angka tersebut tercantum pada skala jangka sorong.

Untuk menuliskan hasil pengukuran, perlu disertakan nilai ketidakpastian sesuai tingkat ketelitian alat ukur yang digunakan. Hasil pengukuran sering ditulis dalam bentuk  $x \pm \Delta x$ . Misalkan, dari pengukuran lebar sebuah buku dengan mistar diketahui bahwa lebar buku tersebut adalah  $(15 \pm 0,1)$  cm. Angka  $\pm 0,1$  cm menyatakan ketidakpastian absolut dalam pengukuran tersebut sehingga hasil pengukuran lebar buku yang paling mungkin adalah 15,1 cm dan 14,9 cm. Persentase



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 1.2

Mengukur panjang *remote AC* dengan mistar. Berapa panjang *remote AC* tersebut?

ketidakpastian merupakan perbandingan antara ketidakpastian dan nilai yang diukur dikalikan 100 sehingga persentase ketidakpastian relatif hasil pengukuran dengan mistar tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Ketidakpastian} = \frac{0,1}{15} \times 100\% = 0,7\%$$

Hasil pengukuran buku tersebut dapat ditulis menjadi

$$l = 15 \text{ cm} \pm 0,7\%$$

## 2. Alat-Alat Ukur

Ketika mengukur suatu besaran, diperlukan alat yang sesuai dengan besaran yang akan diukur, seperti mistar untuk mengukur besaran panjang, neraca untuk mengukur besaran massa, *stopwatch* untuk mengukur besaran waktu, dan termometer untuk mengukur besaran suhu. Saat ini, sejumlah alat ukur telah menggunakan sistem digital yang tingkat akurasinya sangat tinggi. Secara spesifik, instrumen pengukuran dapat dibedakan berdasarkan tingkat ketelitiannya, ukuran besarannya, dan bentuk benda yang hendak diukur.

### a. Alat Ukur Panjang

Untuk mengukur panjang suatu benda, Anda dapat menggunakan mistar, jangka sorong, atau mikrometer sekrup. Pemilihan alat-alat ukur yang akan digunakan disesuaikan dengan tingkat ketelitian yang diinginkan sehingga tidak terdapat kesalahan dalam melakukan pengukuran. Berikut akan ditunjukkan penggunaan ketiga alat ukur panjang tersebut.

#### 1) Mistar

Mistar atau penggaris memiliki skala terkecil 1 mm atau 0,1 cm sama dengan jarak antara dua goresan terdekat. Oleh karena itu, mistar memiliki ketidakpastian  $\Delta x = 0,5 \text{ mm}$ , yaitu setengah dari skala terkecil yang dimiliki penggaris tersebut. Jadi, ketidakpastian pada pengukuran tunggal adalah

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \text{skala terkecil} \quad (1-1)$$

Batas ukur maksimum mistar plastik yang biasa digunakan adalah 30 cm, dengan skala terkecil antara dua goresan terdekat 1 mm. Ketidakpastian hasil pengukuran dengan mistar tersebut adalah

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 1 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm}$$

Perhatikan **Gambar 1.3**, sebuah buku sedang diukur dengan mistar, ujung buku sejajar dengan skala nol mistar dan ujung buku yang lainnya berada pada skala 24,4 cm lebih. Nilai kurang atau lebih ini merupakan ketidakpastian hasil pengukuran dengan mistar yang besarnya 0,05 cm. Dengan demikian, penulisan panjang buku pun dilaporkan dua desimal juga yaitu menjadi

$$x = 24,4 \text{ cm} + 0,05 \text{ cm} = 24,45 \text{ cm}$$

Oleh karena angka keempat harus Anda taksir antara 0 sampai 0,05 cm, dituliskan nilai pengukuran yang dinyatakan sebagai berikut.

$$l = x \pm \Delta x = (24,45 \pm 0,05) \text{ cm}$$

Penulisan hasil pengukuran panjang sebuah buku pada **Gambar 1.3** mengandung arti bahwa panjang buku di antara 24,40 cm dan 24,50 cm, jaminan akurasi pengukuran panjang buku ini ditulis  $24,40 \leq l \leq 24,50 \text{ cm}$ .

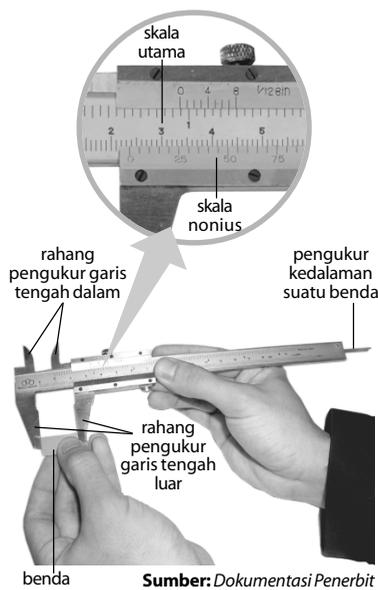


- Pengukuran tunggal adalah pengukuran yang dilakukan sekali.
- Pengukuran berulang adalah pengukuran yang dilakukan lebih dari sekali dengan menggunakan alat ukur sama.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.3**  
Mengukur panjang buku dengan mistar.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.4**  
Jangka sorong

## 2) Jangka Sorong

Ada beberapa bagian penting pada jangka sorong yang perlu Anda ketahui, yaitu rahang tetap dan rahang geser. Rahang tetap memiliki skala yang disebut *skala utama*. Satu bagian terkecil skala utama jangka sorong seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 1.4** memiliki panjang 1 mm. Adapun pada rahang geser terdapat skala yang disebut *skala nonius*. Skala *nonius* sering juga disebut *skala vernier*. Pada skala nonius, panjang 20 skalanya memiliki panjang 1 mm. Oleh karena itu, panjang satu bagian skala *nonius* adalah 0,05 mm atau dapat dikatakan bahwa nilai skala terkecil yang dapat dibaca jangka sorong adalah 0,05 mm atau 0,005 cm.

Adapun nilai ketidakpastian jangka sorong ditentukan sebagai setengah dari skala terkecilnya yaitu

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 0,005 \text{ cm} = 0,0025 \text{ cm}$$

Jangka sorong dapat digunakan untuk mengukur ketebalan suatu plat logam, mengukur garis tengah bagian luar, bagian dalam pipa, atau kedalaman lubang. Perhatikan **Gambar 1.4**, pada gambar diperlihatkan pengukuran panjang benda menggunakan jangka sorong, hasil pengukurannya 2,36 cm. Cara memperoleh nilai besaran panjang ini adalah sebagai berikut.

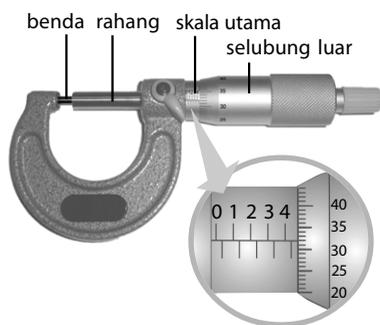
- Skala utama berimpit dengan skala nol nonius pada angka antara 2,3 cm dan 2,4 cm.
- Garis skala nonius yang berimpit (segaris) dengan garis skala utama ialah garis ke-12. Jadi, bacaan jangka sorong adalah:  
 $x = 2,3 \text{ cm} + (12 \times 0,005 \text{ cm}) = 2,3600 \text{ cm}$   
 (empat desimal sesuai banyak desimal dalam nilai ketidakpastian). Hasil pengukuran tersebut dituliskan sebagai  $x = (2,3600 + 0,0025) \text{ cm}$ .

## 3) Mikrometer Sekrup

Apakah Anda pernah menggunakan mikrometer sekrup? Alat ini memiliki dua skala, yaitu skala utama dan skala nonius. Skala utama terbaca pada silinder lingkaran dalam, sedangkan skala nonius terbaca pada selubung lingkaran luar. Skala terkecil mikrometer sekrup diperoleh dari skala terkecil skala utama (0,5 mm) dibagi jumlah skala pada skala nonius (50 skala) sehingga diperoleh nilainya sebesar 0,01 mm.

Jika selubung lingkaran luar diputar sekali, skala utamanya akan maju atau mundur sejauh 0,05 mm. Nilai ketidakpastian mikrometer sekrup adalah setengah dari skala terkecilnya, yaitu

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 0,01 \text{ mm} = 0,005 \text{ mm}$$



Sumber: faq.f650.com, 2002

**Gambar 1.5**  
Mikrometer sekrup

Manfaat mikrometer sekrup, di antaranya untuk mengukur ketebalan benda-benda, seperti selembar kertas atau diameter kawat yang sangat kecil. Cara pengukuran dengan mikrometer sekrup ditunjukkan oleh **Gambar 1.5**. Skala utama menunjukkan angka 4,5 mm lebih, skala nonius berada pada garis ke 32. Jadi, hasil pengukuran dengan mikrometer sekrup adalah  $4,5 \text{ mm} + (32 \times 0,01 \text{ mm}) = 4,532 \text{ mm}$ . Dari ketiga alat ukur panjang tersebut, mikrometer sekrup memiliki nilai ketidakpastian paling kecil.

Ketidakpastian pengukuran merupakan akurasi yang diperoleh dari suatu pengukuran dan bergantung pada instrumen pengukuran yang digunakan. Agar konsep pengukuran dan penulisannya dapat Anda

pahami, perhatikan **Tabel 1.1**, yaitu hasil pengukuran tebal sebuah buku menggunakan penggaris, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.

**Tabel 1.1**  
Perbedaan Hasil Pengukuran

Alat ukur	Ketidakpastian	Penulisan
Mistar	$\Delta x = 0,5 \text{ mm}$	$(30,5 \pm 0,5) \text{ mm}$
Jangka sorong	$\Delta x = 0,025 \text{ mm}$	$(30,550 \pm 0,025) \text{ mm}$
Mikrometer Sekrup	$\Delta x = 0,005 \text{ mm}$	$(30,560 \pm 0,005) \text{ mm}$

Dengan memerhatikan **Tabel 1.1**, terbaca jelas bahwa hasil pengukuran tebal sebuah buku menggunakan tiga alat ukur yang memiliki ketidakpastian berbeda akan memperoleh sederet angka penting yang berbeda pula. Pada pengukuran panjang, Anda akan memperoleh tingkat akurasi maksimal jika menggunakan mikrometer sekrup.

### b. Alat Ukur Massa

Tahukah Anda bagaimana caranya mengukur massa benda? Untuk itu, lakukanlah **Aktivitas Fisika 1.1** berikut ini.



## Aktivitas Fisika 1.1

### Mengukur Massa Benda

#### Tujuan Percobaan

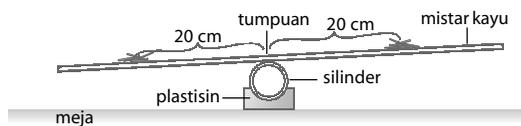
Siswa dapat melakukan pengukuran dengan menerapkan prinsip kesetimbangan.

#### Alat-Alat Percobaan

- Mistar kayu
- Silinder plastik
- Plastisin
- Paku (7 cm) 20 buah

#### Langkah-Langkah Percobaan

- Susun alat seperti gambar berikut ini.



- Letakkan lima paku 20 cm di sebelah kiri tumpuan, dan letakkan dua buah paku lainnya dengan jarak yang sama disebelah kanan tumpuan. Amati apa yang terjadi?
- Geserkan paku tersebut hingga keadaan setimbang.
- Lakukan langkah 3 dengan menggunakan jumlah paku yang berbeda. Tuliskan data pada tabel berikut.

Jumlah paku pada lengan kiri neraca (jumlah tetap)	Jumlah paku pada lengan kanan neraca	Jarak paku terhadap tumpuan
5 paku	2 paku	....
5 paku	3 paku	....
5 paku	4 paku	....
5 paku	5 paku	....

- Kesimpulan apa yang Anda peroleh dari kegiatan ini? Dapatkah Anda menyebutkan pengertian operasional dari mengukur massa suatu benda?

### Tugas Anda 1.1

Berkunjunglah ke perwakilan daerah Badan Metrologi di kota Anda. Tanyakan bagaimana penerapan alat-alat ukur massa (neraca). Diskusikan dengan teman Anda mengenai proses Fisika yang dilakukannya. Hasilnya laporkan pada guru.

Berdasarkan kegiatan di atas, kini Anda telah memahami mengenai pengukuran massa suatu benda. Untuk mengukur massa suatu benda, dapat menggunakan alat ukur massa seperti neraca. Jenis neraca dibedakan berdasarkan cara kerja, ketelitian, ataupun teknologi yang digunakan. Tahukah bagaimana cara mengukur massa suatu benda menggunakan neraca?



Sumber: *Phywe*.

**Gambar 1.6**

Neraca Ohaus merupakan salah satu instrumen pengukuran massa.



Sumber: *Tempo*, 2002

**Gambar 1.7**

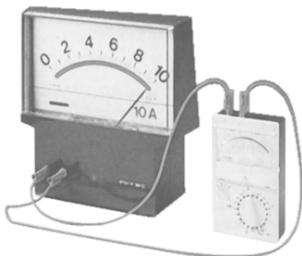
Jam tangan jarum



Sumber: *Science in Focus (Physics)*, 2002

**Gambar 1.8**

Stopwatch



Sumber: *Science in Focus (Physics)*, 2002

**Gambar 1.9**

Amperemeter

Salah satu jenis neraca adalah neraca *Ohaus*, seperti pada **Gambar 1.6**. Pada neraca ini pengukuran massa suatu benda dilakukan dengan menggeser posisi anak timbangan di sepanjang lengan hingga mencapai kesetimbangan. Misalnya Anda menimbang beberapa buah kelereng, Anda peroleh posisi setimbang neraca dengan menggeser anak timbangan lengan puluhan gram ke posisi 20 gram dan lengan satuan gram diposisi 5 gram sehingga diperoleh massanya sebesar 25 gram.

### c. Alat Ukur Waktu

Sejumlah instrumen pengukuran waktu kerap Anda lihat dalam kehidupan sehari-hari, seperti jam dinding, jam bandul, dan *stopwatch*. Jam tangan merupakan instrumen pengukur waktu yang paling dikenal. Alat ukur ini pun digunakan hampir di seluruh negara. Bahkan, alat ukur waktu banyak dipasang pada kendaraan, telepon seluler, dan perangkat elektronika lainnya.

#### 1) Jam tangan

Ada dua jenis jam tangan atau arloji sebagai instrumen pengukur waktu yaitu jam tangan digital dan jam tangan jarum. Pada jam tangan jarum, jarum terpanjang disebut sekon yang bergerak satu skala terpendek setiap satu sekon, jarum yang lebih pendek disebut jarum menit yang bergerak satu skala setiap menit. Adapun jarum terpendek disebut jarum jam. Jarum ini bergerak satu skala setiap satu jam. Pada umumnya, jam tangan memiliki nilai ketidakpastian 1 sekon.

#### 2) Stopwatch

*Stopwatch* merupakan instrumen pengukur waktu yang memiliki nilai ketelitian lebih tinggi daripada jam tangan. Ada dua jenis *stopwatch* yang biasa Anda jumpai, yaitu *stopwatch* jarum dan *stopwatch* digital. *Stopwatch* jarum memiliki nilai ketidakpastian terlihat pada skala yaitu 0,1 sekon, sedangkan *stopwatch* digital di antaranya memiliki nilai ketidakpastian 0,01 sekon.

*Stopwatch* banyak digunakan di laboratorium Fisika untuk pengukuran waktu berbagai percobaan. Selain itu, di antaranya lari jarak pendek merupakan aktivitas olahraga yang paling sering menggunakan *stopwatch*.

### d. Alat Ukur Kuat Arus Listrik

Ada dua macam alat ukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian listrik, yaitu amperemeter analog dan amperemeter digital. Dari kedua alat ukur ini, amperemeter analog merupakan instrumen yang paling banyak digunakan.

Ketika Anda melakukan pengukuran arus listrik dalam suatu rangkaian, sumber arus listrik harus dihubungkan secara seri dengan amperemeter tersebut. Gunakanlah batas ukur yang sesuai atau lebih tinggi. Sebagai contoh, untuk mengukur kuat arus listrik 40 mA digunakan batas ukur maksimum yang lebih besar dari 40 mA. Cara membaca skala amperemeter adalah sebagai berikut.

Hasil pengukuran = (skala terbaca/skala maksimum) × batas ukur.

### Contoh 1.1

Anda mengukur kuat arus dalam sebuah rangkaian dengan amperemeter hasil pengukuran diperoleh data seperti pada gambar. Tentukan hasil pengukuran tersebut.

Jawab:

Skala terbaca = 70

Skala maksimum = 100

Batas maksimum = 10 mA

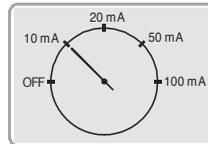
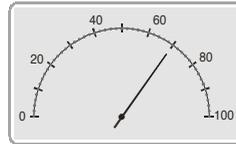
$$\text{Hasil pengukuran} = \frac{70}{100} \times 10 \text{ mA} = 7 \text{ mA}$$

Jadi, hasil pengukurannya dilaporkan sebagai berikut.

$$I = (7 + 0,1) \text{ mA}$$

Ketidakpastian pengukuran kuat arus listrik 0,1 mA (satu desimal)

$$\text{Persentase ketidakpastian relatif} = \frac{0,1}{7} \times 100\% = 1,43\%$$



## Mari Mencari Tahu



Carilah informasi mengenai ukuran Bumi Anda, seperti massanya, diameternya, dan jaraknya dari Matahari. Kemudian, carilah informasi bagaimana nilai-nilai tersebut diperoleh. Tugas ini dikumpulkan kepada guru Anda setelah selesai mempelajari bab ini.

### 3. Ketidakpastian Pengukuran Berulang

Untuk memperoleh nilai besaran yang akurat, dilakukan beberapa kali pengukuran atau pengukuran berulang. Semakin banyak data yang diperoleh, nilai ketidakpastian semakin kecil. Jika Anda melakukan pengukuran suatu besaran sebanyak  $n$  kali dan diperoleh sampel  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , nilai rata-rata  $\bar{x}$  sampel secara matematis ditulis

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1-2)$$

Dalam eksperimen Fisika, terdapat dua jenis simpangan (deviasi standar), yaitu deviasi standar untuk pengukuran tunggal dan deviasi standar untuk pengukuran berulang. Pada pengukuran tunggal, simpangan adalah nilai ketidakpastian alat ukurnya, sedangkan pada pengukuran berulang setiap data diukur berkali-kali dan diambil rata-ratanya. Deviasi standar untuk pengukuran berulang adalah sebagai berikut.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1-3)$$

Deviasi standar untuk pengukuran berulang dapat juga dituliskan sebagai berikut.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n(n - 1)}}$$

atau

$$S_x = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n - 1}}$$

Secara statistik, laporan hasil eksperimen dapat dituliskan menjadi

$$x = \bar{x} \pm S_x \quad (1-4)$$

atau

## Ingatlah



Hasil akhir perhitungan hendaklah mencantumkan angka sesuai jumlah angka yang seharusnya, yakni angka pasti terkecil di antara angka yang dioperasikan.

$$x = \frac{\sum x_i}{n} \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1-5)$$

Dengan memerhatikan hasil pengukuran secara empiris, diketahui bahwa nilai ketidakpastian berulang jauh lebih kecil daripada pengukuran tunggal.

### Tugas Anda 1.2

Rancanglah sebuah percobaan untuk mengetahui massa jenis sebuah benda. Lakukan beberapa kali pengukuran dan laporkan hasilnya beserta nilai ketidakpastiannya. Lakukanlah tugas ini secara berkelompok.

### Contoh 1.2

Pada pengukuran diameter ranting kayu ( $x$ ) dengan jangka sorong diperoleh nilai-nilai: 3,50 cm; 3,49 cm; 3,51 cm; 3,48 cm; dan 3,52 cm. Hitunglah estimasi terbaik pengukuran ranting kayu tersebut, setiap data merupakan hasil beberapa kali eksperimen.

Data		Hasil Perhitungan
Ke-n	$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	3,50	0
2	3,49	0,0001
3	3,51	0,0001
4	3,48	0,0004
5	3,52	0,0004
$n = 5$	$\Sigma x_i = 17,50$	$\Sigma (x_i - \bar{x})^2 = 0,000794$

**Jawab:**

Nilai rata-rata ( $R$ ) diperoleh, yaitu

$$R = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{17,50}{5} = 3,50 \text{ cm}$$

Deviasi standar sampel dihitung dengan persamaan

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,001}{5(5-1)}}$$

$$= 0,01 \text{ (dibulatkan)}$$

Dari data diperoleh:

$$R = \bar{x} \pm S_x = (3,50 \pm 0,01)$$

Ketentuan nilai ketidakpastian untuk rumus perkalian

Untuk  $Z = X Y$  maka

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \left| \frac{\Delta X}{X} \right| + \left| \frac{\Delta Y}{Y} \right| \quad (1-6)$$

Untuk  $Z = a X^n$  maka

$$\frac{\Delta Z}{Z} = |n| \left| \frac{\Delta X}{X} \right| \quad (1-7)$$

Misalnya,

$$\text{untuk } A = \frac{1}{4}d^2 \text{ maka } \frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta d}{d};$$

$$\text{untuk } V = p \times l \times t \text{ maka } \frac{\Delta V}{V} = \left| \frac{\Delta p}{p} \right| + \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right|.$$

### Contoh 1.3

Sebuah kotak korek api panjangnya 10,2 cm, lebarnya 3,1 cm, dan tingginya 1,4 cm diukur dengan mistar dengan ketidakpastian 0,05 cm. Tentukan volume kotak dan ketidakpastiannya.

**Jawab:**

Panjang = 10,2 cm (tiga angka penting)

lebar = 3,1 cm (dua angka penting)

tinggi = 1,4 cm (dua angka penting)

Penulisan volume kotak korek api harus dua angka penting sesuai dengan angka penting yang terkecil, yaitu lebar dan tinggi kotak.

$V = p \times l \times t = 10,2 \text{ cm} \times 3,1 \text{ cm} \times 1,4 \text{ cm} = 44,27 \text{ cm}^3$  ditulis

$V = 44 \text{ cm}^3$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left| \frac{\Delta p}{p} \right| + \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right| = \left| \frac{0,05}{10,2} \right| + \left| \frac{0,05}{3,1} \right| + \left| \frac{0,05}{1,4} \right|$$

$$\Delta V = (0,098 + 0,0163 + 0,0357) \times 44 = 0,0618 \times 44 = 2,719 \text{ cm}^3$$

Jadi, hasil perhitungan volume kotak korek api dilaporkan sebagai  $V = (44 \pm 2,7) \text{ cm}^3$  ditulis dengan 2 angka penting.

## 4. Aspek-Aspek Pengukuran

### a. Kesalahan dalam Pengukuran

Pengukuran merupakan bagian penting dari sebuah proses eksperimen. Eksperimen yang baik adalah eksperimen yang memiliki kesalahan (*error*) sekecil mungkin. *Error* adalah kesalahan yang terjadi ketika melakukan kegiatan eksperimen. Kesalahan dalam melakukan pengukuran adalah sesuatu yang tidak dapat dihindari. Pada umumnya, ketika melakukan pengukuran berulang suatu besaran, hasil yang didapatkan berbeda walaupun alat ukur yang digunakan sama.

#### 1) Kesalahan sistematis (*Systematical Errors*)

Kesalahan sistematis dapat disebabkan oleh kesalahan dalam peneraan (kalibrasi) instrumen ukur, kesalahan akibat pengaruh cuaca lingkungan, atau alat tidak dapat bekerja secara konsisten sehingga hasil pengukuran tidak sama dengan nilai yang tertulis dalam literatur perbandingan.

Kesalahan sistematis dapat menjadi sangat rumit, Anda hanya dapat memperkecil kesalahan tersebut dengan pengukuran sebaik mungkin. Cara paling mudah untuk mengurangi kesalahan sistematis adalah menghindari penyebabnya secara keseluruhan, yaitu dengan menyusun instrumen pengukuran secara benar dan menghindari sebanyak mungkin kesalahan akibat pengaruh faktor lingkungan.

#### 2) Kesalahan acak

Kesalahan acak dapat terjadi ketika sistematis percobaan sudah dipenuhi secara benar. Biasanya kesalahan acak terjadi karena alat yang kurang sensitif, adanya gangguan luar, proses statistika perhitungan, atau *error* pada objek pengukuran. Misalnya, permukaan kasar dari suatu sampel dapat membuat pengukuran ketebalan sebuah benda berbeda dari suatu titik dengan titik lain, atau lingkungan tempat Anda melakukan pengukuran seperti timbulnya getaran oleh sebuah mesin yang sedang beroperasi dapat menyebabkan kesalahan acak. Untuk menghindari pengaruh kesalahan acak pada kasus seperti itu maka semakin banyak dilakukan pengukuran semakin baik hasilnya. Kesalahan acak ini dapat



### Tantangan untuk Anda

Sebutkan contoh-contoh kesalahan dalam pengukuran yang termasuk kesalahan sistematis dan kesalahan acak.



### Kata Kunci

- pengukuran
- ketidakpastian
- ketelitian alat
- skala utama
- skala nonius

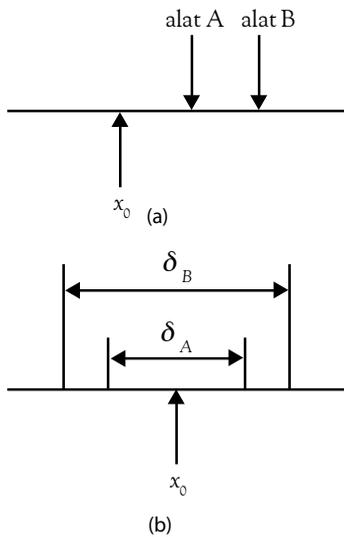
diperkirakan besarnya melalui analisis statistika, yaitu dengan memperbanyak atau mengulang-ulang pengukuran dengan mengubah berbagai parameter pada percobaan tersebut.

### b. Presisi dan Akurasi

Ketepatan atau akurasi menyatakan kedekatan hasil pengukuran dengan hasil sebenarnya, walaupun nilai yang sebenarnya dalam literatur merupakan pendekatan yang dianggap benar.

Perhatikan **Gambar 1.10 (a)** Misalnya, dilakukan pengukuran suatu besaran dari sebuah objek menggunakan dua jenis alat, yaitu alat A dan alat B.  $x_0$  adalah nilai sebenarnya besaran benda tersebut. Data hasil pengukuran menggunakan alat A lebih mendekati nilai sebenarnya ( $x_0$ ) daripada pengukuran menggunakan alat B. Dapat dikatakan bahwa alat A memiliki akurasi lebih baik daripada alat B. Pengukuran dikatakan akurat jika memiliki kesalahan yang kecil.

Presisi merupakan proses pengukuran yang memiliki kesalahan acak sekecil mungkin. **Gambar 1.10 (b)** merupakan sebaran data dari pengukuran berulang suatu besaran dari sebuah objek menggunakan dua jenis alat, yaitu alat A dan alat B.  $\delta_A$  merupakan sebaran data dari pengukuran menggunakan alat A dan  $\delta_B$  merupakan sebaran data dari pengukuran menggunakan alat B. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa sebaran data hasil pengukuran dengan alat A lebih kecil daripada sebaran data hasil pengukuran dengan alat B. Dengan demikian,  $\delta_A$  lebih kecil daripada  $\delta_B$ . Dapat dikatakan bahwa alat A lebih presisi daripada alat B.



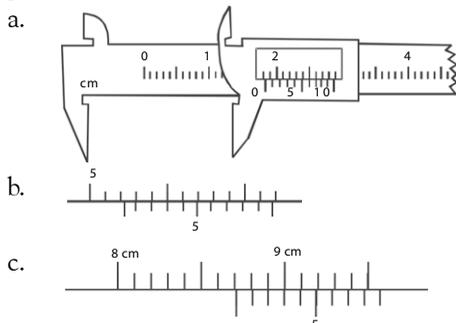
**Gambar 1.10**

(a) Alat A lebih akurat daripada alat B.  
(b) Alat A lebih presisi daripada alat B

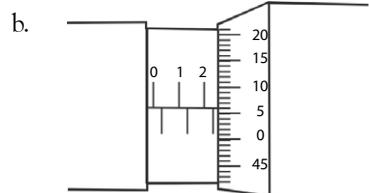
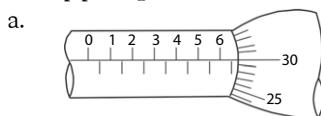
## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Sebutkan jenis-jenis alat ukur. Besaran Fisika apa yang diukur oleh alat tersebut?
2. Tentukan bacaan yang ditunjukkan oleh jangka sorong pada gambar berikut.



3. Tentukan bacaan yang ditunjukkan oleh mikrometer sekrup pada gambar berikut.



4. Empat buah resistor dihubungkan secara seri, nilai setiap resistor hasil pengukuran berturut-turut adalah  $(14,3 + 0,1) \Omega$ ;  $(4,25 + 0,01) \Omega$ ;  $(24,105 + 0,001) \Omega$ ;  $(32,45 + 0,01) \Omega$ . Tentukan hambatan total dengan ketidakpastiannya.
5. Hasil pengukuran berulang tebal kertas karton menggunakan mikrometer tercatat pada tabel berikut.

Ke-i	1	2	3	4	5	6
$x_i$ (mm)	3,45	3,47	3,43	3,42	3,44	3,46

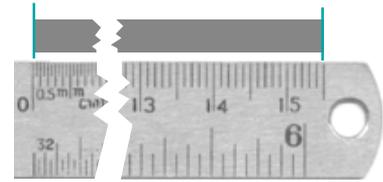
Tentukanlah hasil pengukuran tebal kertas tersebut berikut ketidakpastiannya.

## B. Angka Penting

Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran. Angka penting terdiri atas angka pasti dan angka taksiran (angka yang diragukan) sesuai dengan tingkat ketelitian alat ukur yang digunakan.

Ketika Anda mengukur panjang sebuah benda menggunakan mistar berskala milimeter, Anda harus membaca skala sampai milimeter terdekat. Kemudian, panjang sisa ditaksir sebagai setengah bagian dan satu millimeter.

Misalnya, panjang benda yang Anda ukur ditunjukkan seperti pada **Gambar 1.11**. Pada gambar tersebut, tampak bahwa ujung benda terletak di antara angka 15,4 cm dan 15,5 cm. Mungkin, Anda akan menyatakan bahwa panjang benda yang mendekati kebenaran adalah 15,45 cm. Angka terakhir, yakni angka 5 adalah angka perkiraan (taksiran) karena angka ini tidak terbaca pada skala mistar. Dengan demikian, angka penting hasil pengukuran panjang benda tersebut yang Anda lakukan itu terdiri atas empat angka penting.



**Gambar 1.11**

Mistar merupakan alat ukur panjang yang memiliki angka pasti dan angka taksiran.

## 1. Aturan-Aturan Angka Penting

Untuk menentukan angka penting, digunakan aturan sebagai berikut.

- Semua angka bukan nol adalah angka penting.  
Contoh:  
153,2 g mengandung empat angka penting;  
16,7 cm mengandung tiga angka penting.
- Semua angka nol yang terletak di antara angka bukan nol adalah angka penting  
Contoh:  
20,35 kg mengandung empat angka penting;  
326,04 mm mengandung lima angka penting.
- Angka nol di sebelah kanan angka bukan nol termasuk angka penting, kecuali diberi tanda garis bawah pada angka yang diragukan.  
Contoh:  
25,000 kg mengandung lima angka penting;  
25,000 kg mengandung empat angka penting.
- Jika angka yang diberi garis bawah merupakan angka taksiran atau angka yang diragukan, angka ini merupakan angka penting  
Contoh:  
4567 cm, angka 6 diragukan sehingga hanya mengandung tiga angka penting;  
40007 mm, angka nol ketiga pertama diragukan sehingga hanya mengandung tiga angka penting.
- Angka nol yang terletak di sebelah kiri angka bukan nol, baik yang terletak di sebelah kiri maupun di sebelah kanan koma desimal, bukan angka penting  
Contoh:  
0,539 g mengandung tiga angka penting;  
0,0037 kg mengandung dua angka penting.

## 2. Operasi-Operasi dalam Angka Penting

Dalam aturan berhitung dengan angka penting, yang harus diingat adalah jumlah angka penting hasil perhitungan tidak mungkin melebihi jumlah angka penting pada hasil pengukuran.

### a. Operasi Penjumlahan dan Pengurangan dengan Angka Penting

Pada operasi penjumlahan atau pengurangan bilangan-bilangan dengan berpedoman pada aturan angka penting, hasil operasi penjumlahan atau pengurangan itu hanya boleh mengandung satu angka yang diragukan.

#### 1) Operasi penjumlahan

- $$\begin{array}{r} 379,216 \\ 24,738 \\ \hline 403,954 \end{array}$$

angka 6 diragukan  
+ angka 8 diragukan  
angka 4 (satu angka terakhir) diragukan sehingga penulisannya menjadi 403,95.



Aturan pembulatan bilangan dalam Fisika.

1. Angka lebih kecil daripada 5 dibulatkan ke bawah.
2. Angka lebih besar daripada 5 dibulatkan ke atas.
3. Angka 5 dibulatkan ke atas jika sebelum angka 5 adalah angka ganjil dan dibulatkan ke bawah jika sebelum angka 5 adalah angka genap.



2. 
$$\begin{array}{r} 35,572 \\ 2,2626 \\ \hline 37,8346 \end{array}$$
 + angka 2 diragukan + angka 6 diragukan  
angka 4 dan 6 diragukan sehingga hasil penjumlahan ditulis 37,835 disesuaikan dengan aturan pembulatan.
3. 
$$\begin{array}{r} 385,617 \\ 13,2 \\ \hline 398,817 \end{array}$$
 + angka 7 diragukan + angka 2 diragukan  
terdapat dua angka bergaris bawah, yaitu angka 8 dan 7 sehingga hasil penjumlahan ditulis 398,82.

## 2) Operasi pengurangan

1. 
$$\begin{array}{r} 379,216 \\ 24,738 \\ \hline 354,478 \end{array}$$
 - angka 6 diragukan - angka 8 diragukan  
angka 8 diragukan sehingga hasil pengurangan dapat ditulis 354,478.
2. 
$$\begin{array}{r} 35,572 \\ 2,2626 \\ \hline 33,3094 \end{array}$$
 - angka 2 diragukan - angka 6 diragukan  
terdapat dua angka diragukan, yaitu angka 9 dan 4 sehingga hasil pengurangan ditulis 33,309 supaya terdapat satu angka yang diragukan.
3. 
$$\begin{array}{r} 385,617 \\ 13,2 \\ \hline 372,417 \end{array}$$
 - angka 7 diragukan - angka 2 diragukan  
terdapat dua angka diragukan, yaitu angka 4 dan 7. Penulisannya menjadi 372,42 (d disesuaikan dengan aturan pembulatan).

## b. Operasi Perkalian dan Pembagian dengan Angka Penting

Pada operasi perkalian atau pembagian, jumlah penulisan angka penting disesuaikan dengan jumlah deretan angka penting yang paling sedikit. Misalnya, jika deretan bilangan pertama mengandung 5 angka penting dan deretan bilangan yang kedua mengandung 3 angka penting, hasil perkalian atau pembagiannya hanya boleh mengandung tiga angka penting, sesuai dengan jumlah angka penting yang paling sedikit.

### 1) Operasi perkalian

1. 
$$\begin{array}{r} 2,04 \\ 3,5 \\ \hline 7,140 \end{array}$$
 × mengandung tiga angka penting × mengandung dua angka penting  
Hasil perkalian hanya boleh mengandung dua angka penting sesuai dengan deretan angka yang paling sedikit sehingga hasil perkalian 7,140 ditulis 7,1.
2. 
$$\begin{array}{r} 34,231 \\ 0,250 \\ \hline 8,557750 \end{array}$$
 × mengandung lima angka penting × mengandung tiga angka penting  
Penulisan hasil perkalian hanya boleh mengandung tiga angka penting sehingga hasil perkalian 8,557750 ditulis 8,56 (tiga angka penting).

### 2) Operasi pembagian

1. 
$$\begin{array}{r} 6,7825 \\ 2,5 \\ \hline 2,713 \end{array}$$
 : mengandung lima angka penting : mengandung dua angka penting  
Hasil pembagian hanya boleh mengandung dua angka penting sehingga hasil pembagian 2,713 ditulis 2,7.
2. 
$$\begin{array}{r} 46,532 \\ 200 \\ \hline 0,2326 \end{array}$$
 : mengandung lima angka penting : mengandung satu angka penting  
hasil pembagian ditulis dengan satu angka penting, yaitu 0,2.



## Tantangan untuk Anda

Tuliskan hasil-hasil operasi matematika berikut mengikuti aturan angka penting.

- a.  $34,01 \times 3,10$
- b.  $25,75 : 5,5$
- c.  $\sqrt{48}$
- d.  $13,75 \times 2$



### c. Operasi Penarikan Akar dengan Aturan Angka Penting

Penulisan hasil dan penarikan akar disesuaikan dengan jumlah angka penting yang terkandung pada bilangan yang ditarik akarnya.

- $\sqrt{46} = 6,7823$ ; hasil akar hanya ditulis dengan dua bilangan, yaitu 6,8 (dua angka penting).
- $\sqrt{225} = 15$ ; hasil akar ditulis dengan tiga angka penting, yaitu 15,0 (tiga angka penting).

### d. Perkalian antara Bilangan Penting dan Bilangan Eksak

Perkalian atau pembagian antara bilangan penting dan bilangan eksak menghasilkan angka penting yang sesuai dengan jumlah bilangan pada angka penting.

Misalnya, massa sebuah batu 12,5 kg dan massa 15 buah batu adalah

$$\begin{array}{r} 12,5 \\ 15 \times \\ \hline 187,5 \end{array}$$

Hasil perkalian bilangan penting dengan bilangan eksak dapat ditulis 188 kg (tiga angka penting).

## 3. Aturan Penulisan Notasi Ilmiah

Seringkali, Anda memperoleh hasil dan perhitungan berupa deretan bilangan yang cukup panjang sehingga menyulitkan penulisan bilangan tersebut. Untuk mempermudah penulisan dan mengingat konversi satuan-satuan dalam SI, digunakan bilangan sepuluh berpangkat. Bentuk penulisan seperti ini dinamakan notasi ilmiah. Dalam notasi ilmiah, angka-angka hasil pengukuran dinyatakan dengan  $a \times 10^n$  dengan  $1 < a < 10$  dan  $n$  adalah bilangan bulat. Beberapa contoh cara penulisan notasi ilmiah dapat dilihat pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.2**

Cara Penulisan Bilangan dengan Notasi Ilmiah

Hasil Pengukuran	Notasi Ilmiah
750.000.000 m	$7,5 \times 10^8$ m
369.000.000 kg	$3,69 \times 10^8$ kg
0,0004562 g	$4,562 \times 10^{-4}$ g
0,0032000 s	$3,2000 \times 10^{-3}$ s
36.925.400 kg	$3,69254 \times 10^7$ kg

## 4. Penulisan Angka Penting Hasil Eksperimen

Di dalam eksperimen, pengukuran panjang sebuah pensil dengan mistar berbeda hasilnya jika menggunakan jangka sorong. Hal ini disebabkan nilai ketidakpastian mistar 0,05 cm, sedangkan jangka sorong 0,005 cm. Banyaknya angka penting di belakang koma pada penulisan ketidakpastian pengukuran tidak boleh melebihi perolehan hasilnya. Misalnya, nilai yang diperoleh kedua alat ukur tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1.3**.

**Tabel 1.3**

Penulisan Hasil Pengukuran Mistar dan Jangka Sorong

Alat Ukur	Panjang
Mistar	$(6,15 + 0,05)$ cm
Jangka sorong	$(6,1520 + 0,0025)$ cm

Panjang sebuah pensil yang diukur dengan mistar adalah  $\ell = (6,15 + 0,05)$  cm. Panjang sebuah pensil diukur dengan jangka sorong



- Penulisan  $4,56 \pm 0,03427$  adalah salah, seharusnya  $4,56 \pm 0,03$ .
- Penulisan  $8 \pm 0,4$  adalah salah, seharusnya  $8,0 \pm 0,4$ .
- Penulisan  $W = (0,000005 \pm 0,000004)$  kg tidak salah, tetapi janggal. Sebaiknya, penulisannya diubah menjadi  $W = (5 \pm 2) \times 10^{-6}$  kg atau  $W = (5 \pm 2)$  mg.



Pelat tipis diukur dengan jangka sorong panjangnya 5,63 cm dan lebar 0,80 cm. Luas pelat tersebut menurut aturan penulisan angka penting adalah ...

- 4,5 cm<sup>3</sup>
- 4,50 cm<sup>3</sup>
- 4,504 cm<sup>3</sup>
- 4,5040 cm<sup>3</sup>
- 5 cm<sup>3</sup>

Ebtanas, 1990

### Pembahasan

Diketahui:

$$p = 5,63 \text{ cm} \rightarrow 3 \text{ angka penting}$$

$$\ell = 0,80 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ angka penting}$$

$$A = p \times \ell = 5,63 \text{ cm} \times 0,80 \text{ cm}$$

$$A = 4,5040 \text{ cm}^3$$

Sesuai aturan perkalian angka penting maka jawaban yang diharuskan adalah sebanyak 2 angka penting. Jadi, jawaban yang benar adalah 4,5 cm<sup>3</sup>.

Jawaban: a

**Ingatlah**

Semakin tinggi akurasi pengukuran, semakin banyak angka penting yang dilaporkan.

$l = (6,1520 + 0,0025)$  cm. Pengukuran dengan mistar dapat Anda laporkan sebanyak tiga angka penting, dan pengukuran dengan jangka sorong dapat Anda laporkan sebanyak lima angka penting. Artinya, penulisan jumlah angka penting hasil pengukuran bergantung kepada nilai ketidakpastian alat ukur yang digunakan. Semakin tinggi ketelitian pengukuran, semakin banyak angka penting yang dilaporkan.

### 5. Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Sebagian nilai besaran Fisika tidak dapat diukur secara langsung. Nilai besaran-besaran ini biasa disebut konstanta atau tetapan umum. Besaran-besaran tersebut diperoleh melalui pengolahan data hasil pengukuran. Manfaat lain pemahaman pengolahan data yang diperoleh dari sejumlah eksperimen Fisika adalah untuk memeriksa persamaan hukum Fisika yang secara ilmiah telah terbukti kebenarannya.

#### a. Menentukan Massa Jenis Kayu

Pada bagian ini, Anda akan mengetahui bagaimana mengolah data hasil pengukuran untuk menentukan massa jenis kayu. Dengan kata lain, tujuan eksperimennya adalah mengetahui massa jenis kayu.

Di SMP, Anda telah mengetahui bahwa perbandingan massa ( $m$ ) terhadap volume ( $V$ ) suatu zat adalah konstan. Nilai perbandingan ini disebut massa jenis ( $\rho$ ). Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-6}$$

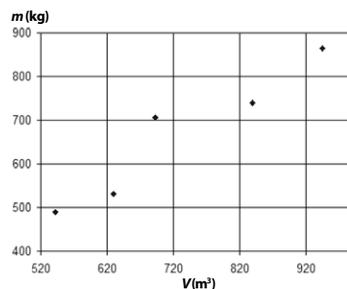
Dapat dikatakan bahwa massa jenis adalah massa suatu zat setiap satuan volume. Untuk mengetahui massa jenis suatu zat, dilakukan pengukuran. Untuk menghitung massa jenis kayu, Anda memerlukan data massa kayu dan volume kayu untuk berbagai ukuran kayu. Tentu saja, kayu-kayu tersebut harus sejenis. Berikut adalah contoh data hasil pengukuran massa dan volume kayu sejenis dalam berbagai ukuran.

**Tabel 1.4**

Data Hasil Pengukuran Massa dan Volume Kayu

No	Volume ( $m^3$ )	Massa (kg)
1.	542	490,000
2.	630	531,124
3.	693	706,314
4.	840	739,633
5.	945	865,000

Jika data pada **Tabel 1.4** digambarkan dalam bentuk grafik, diperoleh grafik berikut.



**Gambar 1.12**  
Grafik hubungan antara massa dan volume kayu.

Bagaimana Anda menghitung massa jenis kayu dari data yang ada? Untuk mencapai tujuan tersebut, Anda akan diperkenalkan dengan salah

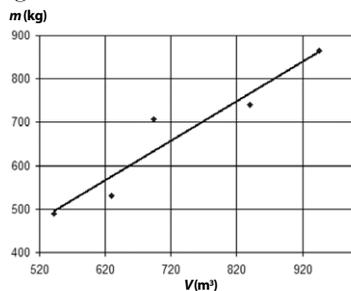
satu metode, yaitu metode kuadrat terkecil (*least square*). Perhatikan **Persamaan (1-6)**. Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk berikut.

$$m = \rho V \quad (1-7)$$

**Persamaan (1-7)** identik dengan persamaan berikut.

$$y = bx + a \quad (1-8)$$

Persamaan ini merupakan persamaan garis lurus. Dengan demikian, Anda dapat mengetahui massa jenis ( $m$ ) kayu jika Anda memiliki persamaan garis lurus dari data yang ada. Perhatikan kembali **Gambar 1.12**. Jika pada grafik tersebut ditambahkan garis lurus yang dianggap mewakili data yang ada, diperoleh gambar berikut.



**Gambar 1.13**  
Grafik hubungan massa dan volume kayu dengan pendekatan fungsi garis lurus.

Adapun untuk memperoleh persamaan garis lurus tersebut, digunakan metode *least square*.

$$y = bx + a$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x$  variabel bebas,  $b$  gradien, dan  $a$  adalah konstanta. Nilai  $a$  dan  $b$  dirumuskan sebagai berikut.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (1-9)$$

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Jika **Tabel 1.4** dituliskan kembali untuk menghitung  $a$  dan  $b$ , akan diperoleh tabel berikut.

**Tabel 1.5**  
Data Hasil Pengukuran Massa dan Volume Kayu Sejenis

No	Volume (x)	Massa (y)	$x_i y_i$	$x_i^2$
1.	542	490,000	265.580,000	293.764
2.	630	531,124	334.608,120	396.900
3.	693	706,314	489.475,784	480.249
4.	840	739,633	621.291,431	705.600
5.	945	865,000	817.425,000	893.025
$n = 5$	$\sum x_i = 3.650$	$\sum y_i = 3332,071$	$\sum x_i y_i = 2.528.380,335$	$\sum x_i^2 = 2.769.538$

**Kata Kunci**

- angka penting
- angka diragukan
- notasi ilmiah
- metode *least square*

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{5(2.528.380,335) - (3.650)(3.332,071)}{5(2.769.538) - (13.322.500)}$$

$$b = 0,914$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = \frac{(3.332,071) - (0,914)(3.650)}{5}$$

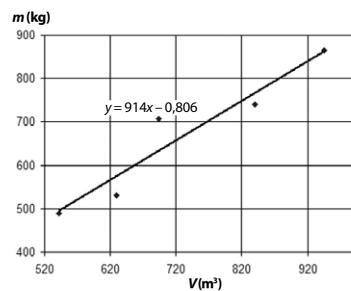
$$a = -0,806$$

Dengan demikian, diperoleh persamaan berikut.

$$y = bx + a$$

$$y = 0,914x - 0,806$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan garis lurus dari data hasil pengukuran. Jika persamaan garis lurus ini digambarkan dalam bentuk grafik diperoleh gambar berikut.



**Gambar 1.14**  
Persamaan garis lurus dari grafik hubungan massa dan volume kayu.

Persamaan garis lurus tersebut memiliki gradien 0,914. Telah dibahas sebelumnya bahwa massa jenis ( $\rho$ ) merupakan gradien dari persamaan  $m = \rho V$ . Dengan demikian, massa jenis kayu tersebut adalah  $0,914 \text{ kg/m}^3$ .

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Tentukan banyaknya angka penting pada bilangan berikut.
  - 21,34 g
  - 30,032 g
  - 62,001 g
  - 0,0062 kg
  - 35.000 m
- Jumlahkan bilangan-bilangan berikut menggunakan aturan angka penting.
  - 325,36 g + 3,12 g
  - 42,561 kg + 3,76 kg
  - 231,14 cm + 13,26 cm
- Kurangkan bilangan-bilangan berikut menggunakan aturan angka penting.
  - 273,19 m – 41,14 m
  - 45,638 m – 3,2 m
  - 15,567 m – 3,432 m
- Tentukan hasil operasi perkalian dan pembagian berikut ini dalam angka penting.
  - 423,5 cm × 3,4 cm
  - 28,243 m × 0,150 m
  - 4,5 m × 6,28 m × 10,325 m
  - 667,8 m : 2,4 m
  - 23,261 m : 150 m
- Hitung dan nyatakan dalam angka penting.
  - (2,4 m)<sup>2</sup>
  - (3,20 m)<sup>2</sup>
  - (3,46 m)<sup>2</sup>
  - (5,01 m)<sup>2</sup>

6. Tuliskan angka-angka berikut dengan bilangan sepuluh berpangkat (notasi ilmiah)
- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| a. 34.000.000 m | c. 0,0078 km   |
| b. 0,000425 kg  | d. 1.750 kg    |
|                 | e. 1,00035 kg  |
|                 | f. 0,0000450 m |

## C. Besaran dan Satuan

Menurut **Kelvin**, seorang fisikawan, "jika Anda dapat mengukur segala sesuatu yang Anda bicarakan dan Anda menyatakannya dengan angka-angka, berarti Anda mengetahui segala yang Anda bicarakan". Ada dua kelompok besaran yang akan Anda pelajari dalam bab ini, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Terdapat tujuh besaran pokok yang dikenal. Dari ketujuh besaran pokok ini, dapat diturunkan besaran-besaran turunan.

### 1. Besaran Pokok

Telah disebutkan bahwa sesuatu yang dapat ditentukan besarnya dengan angka disebut besaran. Contohnya, panjang lapangan sepakbola 110 m, temperatur suatu ruangan 30°C, dan kuat arus yang mengalir 5 A. Demikian juga halnya dengan massa, waktu, dan jumlah zat. Setiap besaran yang dapat diukur memiliki satuan. Satuan massa di antaranya gram, ons, kg, dan ton. Adapun satuan panjang, yaitu mm, cm, dm, inci, meter, hasta, atau depa. Untuk mempermudah pemakaian satuan, diperlukan sistem baku yang dapat digunakan secara internasional. Sistem satuan yang telah umum digunakan di antaranya adalah sistem Inggris (cgs atau cm-gram-sekon) dan sistem satuan Internasional (SI), yang juga bisa disebut sistem satuan mks (meter-kilogram-sekon). Terdapat tujuh besaran pokok yang telah ditetapkan menurut sistem internasional. Secara lengkap, besaran-besaran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1.6**.



Setiap besaran Fisika memiliki satuan tersendiri, seperti pada **Tabel 1.6**. Ketika besaran ini digunakan dalam perhitungan maka sebaiknya satuan dioperasikan juga untuk meyakinkan bahwa satuan besaran yang dicari sesuai dengan yang seharusnya.

**Tabel 1.6**

Besaran Pokok dalam SI

No.	Nama Besaran Pokok	Nama Satuan (SI)	Lambang Satuan
1.	Panjang	meter	m
2.	Massa	kilogram	kg
3.	Waktu	sekon	s
4.	Kuat arus listrik	ampere	A
5.	Suhu	kelvin	K
6.	Intensitas cahaya	kandela	cd
7.	Jumlah zat	mol	mol

Sumber: *Fundamentals of Physics*, 2001

Selain tujuh besaran pokok seperti pada **Tabel 1.6**, sebenarnya ada dua besaran pokok tambahan, yaitu sudut datar dengan satuan radian (rad) dan sudut ruang dengan satuan steradian (Sr).

### 2. Satuan

Satuan standar adalah satuan dari besaran-besaran yang disepakati secara umum ataupun secara internasional.

#### a. Standar Satuan Panjang

Besaran panjang dalam SI memiliki satuan meter. Pada awalnya, standar panjang internasional adalah sebuah batang yang terbuat dari campuran platina dan iridium yang disebut dengan meter standar. Meter

## Ingatlah

Jari-jari rata-rata Bumi, yaitu sekitar  $6 \times 10^6$  m. Ini hampir dua kali jari-jari

Mars, tetapi lebih kecil daripada  $\frac{1}{10}$

jari-jari Yupiter.

standar ini disimpan di Sevres, dekat kota Paris, Prancis. Satu meter didefinisikan sebagai jarak antara dua goresan yang terdapat pada meter standar pada suhu  $0^\circ\text{C}$  sehingga jika diukur dengan meter standar, jarak antara Kutub Utara dan ke khatulistiwa melalui kota Paris sejauh 10 juta meter.

Ada beberapa kelemahan dalam penggunaan meter standar tersebut, di antaranya sebagai berikut.

- 1) Batang platina iridium mudah dipengaruhi temperatur terutama di negara yang memiliki iklim berubah-ubah sehingga akan mengalami pemuaian atau penyusutan panjang.
- 2) Sebagai standar primer, jika mengalami kerusakan sukar dibuat ulang.
- 3) Ketelitian pengukurannya tidak sesuai dengan kemajuan teknologi.

Dari beberapa kelemahan tersebut, dibutuhkan meter standar baru yang menggunakan panjang gelombang cahaya dari zat yang mudah diketahui dengan cepat dan teliti. Pada 1960, ditetapkan bahwa meter standar sama dengan 1.650.763,73 kali panjang gelombang sinar jingga yang dipancarkan oleh atom-atom Krypton-86 (Kr-86) di dalam ruang hampa. Dengan kemajuan teknologi, meter standar mengalami perubahan kembali. Berdasarkan *Conference General des Poids et Mesures* ke-17 pada 1983 diputuskan bahwa satu meter adalah panjang jarak tempuh cahaya dalam ruang hampa dalam selang waktu  $1/299.792.458$  sekon dengan prediksi bahwa kecepatan cahaya dalam ruang hampa adalah tetap sebesar  $299.792.458$  m/s. Ini merupakan meter standar yang digunakan hingga kini.



## Aktivitas Fisika 1.2

### Manfaat Satuan Standar

#### Tujuan Percobaan

Mengetahui manfaat satuan standar.

#### Alat-Alat Percobaan

Mistar

#### Langkah-Langkah Percobaan

1. Ukurlah panjang meja di kelas Anda menggunakan tangan (jengkal). Berapa jengkal panjang meja?
2. Mintalah teman Anda untuk mengukur meja yang sama. Berapakah hasilnya? Apakah hasil pengukuran Anda dan teman Anda sama?
3. Sekarang, cobalah Anda dan teman Anda mengukur meja tersebut dengan mistar. Apakah hasil pengukurannya sama ketika Anda dan teman Anda menggunakan jengkal?
4. Dari kegiatan tersebut, dapatkah Anda menjelaskan manfaat satuan standar?



Sumber: *Physics for Scientist & Engineers*, 2000

Gambar 1.15

Standar satuan massa

### b. Standar Satuan Massa

Massa suatu benda menyatakan jumlah materi yang terkandung dalam benda tersebut. Satuan massa standar dalam SI adalah kilogram (kg). Massa standar ditetapkan dari sebuah silinder platinum-iridium yang disimpan di *International Bureau of Weights and Measures* di Sevres, Prancis. Untuk mempertahankannya dari pengaruh lingkungan, benda tersebut disimpan di dalam ruang vakum seperti pada Gambar 1.15.

### c. Standar Satuan Waktu

Standar satuan waktu dalam SI adalah sekon atau detik dan dilambangkan dengan s. Awalnya, dasar penetapan satuan waktu adalah perputaran Bumi terhadap porosnya. Namun, ternyata perputaran Bumi

terhadap porosnya selalu berubah. Kemudian, satuan waktu diputuskan berdasarkan hari matahari rata-rata. Berdasarkan ketentuan ini, satu sekon didefinisikan sebagai berikut.

$$1 \text{ sekon} = \frac{1}{86.400} \text{ hari matahari rata-rata}$$

Setelah dilakukan pengamatan yang lebih teliti, diketahui bahwa satu hari rata-rata Matahari dari tahun ke tahun tidak sama. Standar ini mengalami perubahan pada 1956 dan dilakukan penetapan ulang dari definisi sekon standar.

$$1 \text{ sekon} = \frac{1}{31.556.925,9747} \times \text{lamanya tahun 1900}$$

Untuk pengukuran waktu yang lebih teliti, pada 1967 ditetapkan standar waktu yang baru. Satu sekon didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan oleh atom cesium-133 untuk melakukan getaran radiasi sebanyak 9.192.631.770 kali. Standar satuan waktu ini memiliki ketelitian yang sangat tinggi, yaitu kemungkinan kesalahan waktunya hanya 1 s dalam 500 tahun.

#### d. Standar Satuan Suhu

Standar suhu memiliki dua titik tetap, yaitu titik tetap atas dan titik tetap bawah. Titik tetap atas adalah suhu air yang sedang mendidih pada suhu 100°C dengan tekanan udara luar sebesar 1 atmosfer atau 76 cmHg. Titik tetap bawah adalah titik lebur es murni pada suhu 0°C. Jadi, standar satuan suhu ditetapkan berdasarkan titik lebur es dan titik didih air yang disebut dengan standar suhu celcius oleh seorang ahli Astronomi Swedia, **Andreas Celsius** (1701–1744).

Pada 1954, diselenggarakan kongres oleh perhimpunan fisikawan internasional yang menghasilkan standar untuk satuan suhu adalah dalam Kelvin (K). Pada tekanan udara luar 1 atm, telah ditetapkan bahwa suhu titik lebur es adalah 273,15 K dan suhu titik didih air adalah 373,15 K. Satuan Kelvin digunakan untuk menghormati seorang ahli Fisika Inggris, **William Thomson Kelvin** (1824–1907).

#### e. Awalan untuk Satuan SI

Dari hasil pengukuran, kadang-kadang diperoleh angka-angka yang sangat besar atau sangat kecil sehingga untuk mempermudah penulisannya digunakan awalan dengan bilangan sepuluh berpangkat ( $10^n$ ). Misalnya, satu juta meter sama dengan satu megameter ( $10^6$  m). Data lebih lengkap dapat dilihat pada **Tabel 1.7**.

**Tabel 1.7**

Pemakaian Awalan-Awalan pada Satuan Panjang dalam SI

Awalan	Simbol	Kelipatan	Contoh	
piko	p	1/1.000.000.000.000 atau $10^{-12}$	pikometer	(pm)
nano	n	1/1.000.000.000 atau $10^{-9}$	nanometer	(nm)
mikro	$\mu$	1/1.000.000 atau $10^{-6}$	mikrometer	( $\mu$ m)
mili	m	1/1.000 atau $10^{-3}$	milimeter	(mm)
centi	c	1/100 atau $10^{-2}$	centimeter	(cm)
desi	d	1/10 atau $10^{-1}$	desimeter	(dm)
tera	T	1.000.000.000.000 atau $10^{12}$	terameter	(Tm)
giga	G	1.000.000.000 atau $10^9$	gigameter	(Gm)
mega	M	1.000.000 atau $10^6$	megameter	(Mm)
kilo	k	1.000 atau $10^3$	kilometer	(km)
hekto	h	100 atau $10^2$	hektometer	(hm)
deka	da	10 atau $10^1$	dekameter	(dam)



### Tokoh

**William Thomson Kelvin**  
(1824–1907)



Sumber: [www.allbiographies.com](http://www.allbiographies.com)

**William Thomson Kelvin** (1824–1907), seorang matematikawan dan fisikawan yang dilahirkan di Belfast, Irlandia Utara, kerajaan Inggris. Dia kuliah di Glasglow Cambridge, kemudian menjadi profesor di bidang ilmu alam di Glasglow pada 1946. Dia merancang berbagai perangkat pengukuran listrik, di antaranya alat pengukuran kedalaman air dengan gelombang radio dan kompas. Pada ilmu alam murni, ia membawa penelitiannya tentang termodinamika, membantu mengembangkan Hukum Konservasi Energi, dan skala suhu absolut (namanya diabadikan sebagai skala kelvin).



## Informasi untuk Anda

Dalam pembahasan cahaya, biasanya satuan yang diterapkan adalah angstrom ( $\text{\AA}$ ),  $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ . Panjang gelombang cahaya tampak berada pada rentang  $4.000 \text{\AA}$  sampai  $7.500 \text{\AA}$ .

### Information for You

*When referring to light, usually the length unit is using angstrom ( $\text{\AA}$ ),  $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ . The visible light falls in the wavelength range  $4.000 \text{\AA}$  to  $7.500 \text{\AA}$ .*

Sumber: Physics, 1980

Berdasarkan aturan ini, kilogram merupakan kelipatan 1.000 dari 1 g. Demikian juga konversi satuan-satuan lainnya, misalnya dekagram merupakan kelipatan sepuluh dari 1 g.

### 3. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang diturunkan dari besaran pokok, misalnya luas, volume, kecepatan, percepatan, gaya, massa jenis, dan energi. Satuan besaran turunan tersebut berasal dari satuan besaran pokok. Perhatikan contoh besaran turunan berikut.

- a. Satuan kecepatan sama dengan satuan perpindahan dibagi satuan selang waktu.

$$\begin{aligned} \text{Satuan kecepatan} &= \frac{\text{satuan perpindahan}}{\text{satuan waktu}} \\ &= \frac{\text{meter}}{\text{sekon}} = \text{m/s} \end{aligned}$$

Jadi, satuan SI untuk kecepatan adalah m/s.

- b. Satuan volume balok sama dengan satuan panjang  $\times$  satuan lebar  $\times$  satuan tinggi.

$$\begin{aligned} \text{Satuan volume} &= \text{meter} \times \text{meter} \times \text{meter} \\ &= \text{meter}^3. \end{aligned}$$

- c. Satuan massa jenis sama dengan satuan massa dibagi satuan volume.

$$\begin{aligned} \text{Satuan massa jenis} &= \frac{\text{satuan massa}}{\text{satuan volume}} \\ &= \frac{\text{kilogram}}{\text{meter}^3} \\ &= \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, satuan SI untuk massa jenis adalah  $\text{kg/m}^3$ .

Tabel 1.8

Besaran Turunan dalam SI

No.	Nama Besaran Turunan	Nama Satuan	Lambang Satuan
1.	Kecepatan	meter/sekon	m/s
2.	Percepatan	meter/sekon <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
3.	Gaya	kilogram meter/sekon <sup>2</sup>	kgm/s <sup>2</sup>
4.	Luas	meter <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
5.	Volume	meter <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
6.	Massa jenis	kilogram/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
7.	Tekanan	kilogram/meter sekon <sup>2</sup>	kg/ms <sup>2</sup>
8.	Usaha	kilogram meter <sup>2</sup> /sekon <sup>2</sup>	kgm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

Perlu Anda ketahui, selain satuan SI, ada satuan-satuan tidak baku. Dalam kehidupan sehari-hari, satuan tidak baku ini sering digunakan.

Dalam menyelesaikan beberapa persoalan, Anda perlu memahami konversi dari satu sistem satuan ke sistem satuan lain. Seperti pada Tabel 1.9 (konversi satuan) sengaja disajikan untuk memudahkan Anda mengubah satuan ke dalam satuan Sistem Internasional (SI).



## Tantangan untuk Anda

Perhatikan Tabel 1.8. Buktikan bahwa satuan joule sama dengan  $\text{kgm}^2/\text{s}^2$ .

**Tabel 1.9**

Konversi Satuan

Besaran	Konversi Satuan
Panjang	1 in = 2,54 cm
	1 cm = 0,394 in
	1 ft = 30,5 cm
	1 m = 3,28 ft
	1 km = 0,621 mil
	1 yard (yd) = 3 ft = 36 in
Volume	1 liter = 54,6 in <sup>3</sup>
	1 m <sup>3</sup> = 35,31 ft <sup>3</sup>
Laju	1 mil/h = 1,609 km/h = 0,447 m/s
	1 km/h = 0,621 mil/h
Sudut	1 radian (rad) = 57,3°
	1° = 0,01745 rad
Gaya	1 lb = 4,45 N
	1 N = 10 <sup>5</sup> dyne = 0,225 lb
Energi	1 J = 10 <sup>7</sup> erg = 0,738 ftlb
	1 kkal = 4,18 × 10 <sup>3</sup> J
	1 eV = 1,602 × 10 <sup>-19</sup> J
	1 kWh = 3,60 × 10 <sup>6</sup> J
Daya	1 hp = 746 W (watt)

Sumber: *Fundamentals of Physics*, 2001



Satuan dikali dan dibagi seperti simbol-simbol aljabar biasa. Hal ini memudahkan Anda untuk mengoperasikan besaran dari satuan ke satuan lain. Misalnya,

$$4 \text{ km} = 4 \text{ km} \left( \frac{0,621 \text{ mil}}{1 \text{ km}} \right) = 2,484 \text{ mil}$$

### Contoh 1.4

Kecepatan seorang pembalap sepeda 20 m/s. Hitung kecepatannya dalam km/jam.

**Jawab:**

Telah diketahui bahwa

$$1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ km} \text{ dan } 1 \text{ s} = \frac{1}{3.600} \text{ jam}$$

Dengan demikian, diperoleh

$$20 \text{ m/s} = \frac{20 \times 10^{-3} \text{ km}}{\frac{1}{3.600} \text{ jam}} = 72 \text{ km/jam}$$

### Contoh 1.5

Misalkan, kecepatan seorang pelari sama dengan 24,9 mil/jam. Hitunglah kecepatannya dalam m/s.

**Jawab:**

Dari tabel konversi diketahui:

$$1 \text{ km} = 0,621 \text{ mil}$$

$$1 \text{ jam} = 3.600 \text{ s}$$

Dengan demikian,

$$24,9 \frac{\text{mil}}{\text{jam}} = 24,9 \frac{\frac{1}{0,621} \text{ km}}{3.600 \text{ s}} = 11,14 \text{ m/s} = \frac{24,9 \left( \frac{1}{0,621} \times 1.000 \text{ m} \right)}{3.600 \text{ s}}$$

$$\text{Jadi, } 24,9 \frac{\text{mil}}{\text{jam}} = 11,14 \text{ m/s}$$

## 4. Dimensi

Di dalam Fisika, penulisan satuan sebuah besaran memegang peranan penting dalam memahami arti fisis besaran tersebut. Ada beberapa besaran Fisika yang memiliki lebih dari satu satuan. Kadang-kadang, Anda sedikit kesulitan membayangkan arti fisis besaran tersebut karena penulisannya menggunakan satuan yang berbeda. Untuk itu, besaran-besaran tersebut diturunkan dari besaran pokok.

### a. Dimensi Besaran Pokok

Dimensi suatu besaran menunjukkan cara besaran tersebut tersusun oleh besaran-besaran pokoknya. Dimensi besaran turunan diperoleh dengan cara menjabarkan dimensi besaran pokok. Dimensi besaran pokok dinyatakan dengan huruf tertentu dan diberi kurung persegi. Dimensi besaran pokok dapat dilihat pada **Tabel 1.10**.

**Tabel 1.10**

Dimensi Besaran Pokok

No.	Nama Besaran Pokok	Lambang Dimensi
1.	Panjang	[L]
2.	Massa	[M]
3.	Waktu	[T]
4.	Kuat arus listrik	[I]
5.	Suhu	[ $\theta$ ]
6.	Intensitas	[J]
7.	Jumlah zat	[N]



### Tantangan untuk Anda

Tentukan dimensi dari besaran energi.



### b. Dimensi Besaran Turunan

Berikut adalah beberapa contoh penentuan dimensi dari besaran turunan.

$$\text{a. Kecepatan} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}}$$

$$\begin{aligned}\text{Dimensi kecepatan} &= \frac{\text{dimensi panjang}}{\text{dimensi waktu}} \\ &= \frac{[L]}{[T]} = [L][T]^{-1}\end{aligned}$$

Dengan dasar pemikiran yang sama, diperoleh dimensi-dimensi sebagai berikut.

$$\text{b. Volume} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}$$

$$\text{Dimensi volume} = [L][L][L] = [L]^3$$

$$\text{c. Percepatan} = \frac{\text{kecepatan}}{\text{waktu}}$$

$$\begin{aligned}\text{Dimensi percepatan} &= \frac{\text{dimensi kecepatan}}{\text{dimensi waktu}} \\ &= \frac{[L][T]^{-1}}{[T]} = [L][T]^{-2}\end{aligned}$$

- d. Gaya = massa  $\times$  percepatan  
 Dimensi gaya = dimensi massa  $\times$  dimensi percepatan  
 $= [M] \times [L][T]^{-2}$   
 $= [M][L][T]^{-2}$

**Tabel 1.11**

Beberapa Dimensi Besaran Turunan

No.	Nama Besaran Turunan	Dimensi
1.	Kecepatan	$[L][T]^{-1}$
2.	Percepatan	$[L][T]^{-2}$
3.	Gaya	$[M][L][T]^{-2}$
4.	Luas	$[L]^2$
5.	Volume	$[L]^3$
6.	Massa jenis	$[M][L]^{-3}$
7.	Tekanan	$[M][L]^{-1}[T]^{-2}$
8.	Usaha	$[M][L]^2[T]^{-2}$

### c. Analisis Dimensional untuk Mencocokkan Satuan

Kadang-kadang, Anda menjumpai keraguan dalam menyelesaikan persoalan yang menggunakan rumus. Penggunaan rumus untuk menyelesaikan soal-soal erat kaitannya dengan besaran dan satuan. Pembahasan tentang kesetaraan dimensi antara besaran-besaran yang berbeda diharapkan dapat membantu dan mempermudah pemahaman dimensi besaran turunan yang berbeda. Penggunaan analisis dimensional antara lain sebagai berikut.

- 1) Mengungkapkan kesetaraan antara dua besaran yang tampak berbeda. Sebagai contoh, akan diperiksa kesetaraan antara energi kinetik dan usaha.

$$\text{Energi kinetik, } E_k = \frac{1}{2} m v^2.$$

$$\text{Usaha, } W = F s.$$

Dimensi usaha diturunkan sebagai berikut.

$$W = \text{gaya} \times \text{perpindahan}$$

$$\text{Dimensi } W = \text{Massa} \times \text{percepatan} \times \text{perpindahan}$$

$$= [M][L][T]^{-2}[L]$$

$$= [M][L]^2[T]^{-2}$$

Ternyata, besaran energi kinetik dan besaran usaha memiliki dimensi yang sama, yaitu  $[M][L]^2[T]^{-2}$ . Dapat disimpulkan bahwa usaha dan energi kinetik merupakan besaran yang sama.

- 2) Menentukan tepat atau tidaknya suatu persamaan.

$$\text{Jarak} = \text{kecepatan} \times \text{selang waktu}$$

$$s = vt$$

$$[L] = [L][T]^{-1}[T]$$

$$[L] = [L]$$

Dari persamaan tersebut, ruas kiri sama dengan ruas kanan sehingga persamaan  $s = vt$  adalah benar.

### Tugas Anda 1.3

Perhatikan **Tabel 1.11**. Tabel tersebut memperlihatkan beberapa besaran turunan dan dimensinya. Buktikan bahwa dimensi dari besaran luas, massa jenis, tekanan, dan usaha pada **Tabel 1.11** adalah benar.

## 5. Macam-Macam Ukuran pada Berbagai Objek Alam

Burung elang dan burung hantu adalah hewan penerbang paling kuat di dunia. Sayangnya yang indah merupakan tanda bahaya bagi hewan-hewan, seperti ular kecil dan tikus sebagai mangsanya. Ukuran sayap

burung pemangsa ada yang lebih dari 3 meter, dengan cakar yang melengkung menunjukkan ciri khas burung ini.



**Gambar 1.16**  
Burung hantu memangsa tikus.

Sumber: oklwmouse

Massa burung hantu, seperti pada **Gambar 1.16**, pada umumnya sekitar 0,5 sampai 1 kg, sedangkan ukuran diameter matanya relatif lebih besar daripada kebanyakan burung lain sehingga dapat melihat mangsa lebih tajam. Itulah sebabnya, burung hantu dapat melihat tikus atau kadal terkecil sekalipun dari ketinggian 100 meter, dalam waktu kurang dari 10 detik. Burung ini dapat melihat mangsanya melalui penglihatan kedua matanya yang fokus sehingga dapat dengan mudah mengamati pergerakan mangsanya.

Kebanyakan, burung yang Anda lihat dapat terbang dengan kelajuan 25 km/jam hingga 50 km/jam, tetapi burung layang-layang mampu terbang pada kecepatan 100 km/jam. Bahkan, burung rajawali dan elang dapat terbang menemukik dengan kecepatan lebih dari 150 km/jam.

Ukuran-ukuran tentang massa, waktu, dan jangkauan penglihatan merupakan besaran data fisik di antara sejumlah objek benda di alam ini.

#### a. Ukuran Massa Benda

Filsuf Yunani yang terkenal, **Demokritus** (460–370 SM) menyatakan bahwa partikel terkecil yang disebut *atomos* (*a* + *temneim*), *a* berarti tidak dan *temneim* berarti memotong. Jadi, *atomos* berarti tidak dapat dipotong atau dalam bahasa Inggris, "indivisible" (tidak dapat dibagi-bagi lagi menjadi bagian yang lebih kecil). Memasuki abad ke-20, secara perlahan teori ini tergeser oleh teori bahwa atom dikelilingi banyak elektron dan tampak seperti awan menyelubungi inti atomnya. Ternyata, massa sebuah elektron 2.000 kali lebih ringan, dan tersusun dari partikel-partikel yang disebut proton dan neutron.

Proton dan neutron pun masih tersusun lagi oleh partikel-partikel yang dikenal sebagai *quarks* (kuark). Massa sebuah proton adalah  $1,67 \times 10^{-24}$  g, dan massa sebuah elektron adalah  $\frac{1}{1.827}$  massa proton, yaitu  $9,106 \times 10^{-28}$  g. Anda dapat memperkirakan massa sebuah *quarks* yang jauh lebih ringan daripada massa proton dan elektron. Bandingkan dengan massa tubuh Anda yang berkisar antara 50–70 kg. Padahal, dari hasil pengukuran tidak langsung diketahui bahwa terdapat empat juta triliun atom yang ada di dalam tubuh manusia.

Dengan mempelajari proses biologis makhluk hidup, Anda dapat memperkirakan massa sebuah DNA (*Deoxyribonucleid Acid*), asam nukleat ini berbentuk rantai panjang berpilin yang merupakan tempat penyimpanan informasi genetik makhluk hidup, misalnya warna mata, rambut, dan kulit pada manusia.

Seorang ilmuwan komputer dari Amerika, **Leonard. M. Adleman** melakukan penelitian yang bisa menghasilkan DNA sintetik untuk



### Informasi untuk Anda

Pengukuran adalah kegiatan yang biasa Anda jumpai sehari-hari. Mengukur panjang, massa, ataupun suhu setiap hari Anda lakukan. Jika Anda melakukan kegiatan jual beli, pastikan agar timbangan atau ukuran panjang sesuai dengan yang diharapkan. Kalau perlu, tanyakan apakah alat ukur yang digunakan sudah ditera atau dikalibrasikan. Jangan sampai Anda menjadi pelaku ataupun korban penipuan.

#### Information for You

*Measurement is an activity that we can meet everyday. Everyday we can measure length, mass, or even temperature. If you do trading, make sure that the weight or length instruments are well. If necessary, ask him whether the instrument has calibrated. Don't let you be the deception actors or victims.*

pengembangan komputer masa depan. Komputer DNA ini dapat melakukan perhitungan jauh lebih cepat, walaupun massa 1 g DNA yang sudah dikeringkan memiliki kapasitas penyimpan informasi dalam jumlah yang sama dengan 1 triliun CD (*Compact Disc*). Padahal, massa 1 g DNA kering berukuran hanya sebesar butiran gula pasir.

Bagaimana dengan massa benda-benda langit yang bervariasi dari benda sebesar debu sampai benda-benda langit yang sangat besar?

Dari hasil pengukuran Hukum III Kepler, diketahui bahwa massa Matahari sekitar 1.300.000 kali massa Bumi. Jika massa Bumi adalah  $5,98 \times 10^{24}$  kg, massa matahari kira-kira  $1,93 \times 10^{30}$  kg, sedangkan massa sebuah galaksi setara dengan  $10^{11}$  kali massa Matahari, yaitu  $2,06 \times 10^{41}$  kg. Coba Anda tentukan rasio massa sebuah galaksi terhadap massa Bumi jika diketahui bahwa di jagat raya ini terdapat miliaran galaksi. Adapun massa bulan sekitar 0,012 kali massa Bumi yaitu  $7,2 \times 10^{22}$  kg.

### b. Ukuran Panjang

Pernahkah Anda memerhatikan ketinggian tumbuh-tumbuhan di sekeliling Anda? Dilihat dari ukurannya, terdapat bermacam-macam tumbuhan, mulai dari tumbuhan berukuran kecil, seperti lumut hingga tumbuhan berukuran besar, seperti beringin.

Di Kalifornia, Amerika Serikat, terdapat pohon yang diameter batangnya 10 m dan tingginya 100 m lebih. Pohon ini dapat hidup hingga 3.000 tahun lebih. Coba Anda bandingkan dengan panjang lapangan sepakbola, hampir sama, bukan?

Perhatikan diameter rambut Anda. Diameter sehelai rambut, yaitu sekitar  $5 \times 10^{-5}$  m atau 50 mikrometer atau 50.000 nm, beberapa kali lebih besar daripada diameter atom terkecil yaitu  $10^{-10}$  m (sedikit lebih besar dari diameter atom helium).

Pada tahun 2001, seorang ilmuwan dari Weizman Institut of Science, **Ehud Shapiro** mendapatkan paten atas komputer DNA yang dibuatnya. Komputer DNA-nya setara dengan diameter 1 tetes air. Komputer super mini ini memiliki kecepatan 100.000 kali lebih cepat daripada komputer konvensional terancang saat ini.

Bagaimana dengan diameter benda planet sampai galaksi yang merupakan kumpulan pulau bintang di jagat raya? Tabel berikut memperlihatkan data planet-planet dalam tata surya.

**Tabel 1.12**

Data Planet-Planet dalam Sistem Tata Surya

Nama	Garis Tengah (km)	Massa ( $10^{23}$ kg)	Periode Rotasi	Periode Revolusi	Jarak Rata-Rata ke Matahari (juta km)
Merkurius	4.877	3,3	58,65 hari	0,24 tahun	57,9
Venus	12.104	48,7	243,00 hari	0,62 tahun	108
Bumi	12.756	59,7	1,00 hari	1,00 tahun	150
Mars	6.794	6,4	1,03 hari	1,88 tahun	228
Yupiter	142.984	18.988	0,41 hari	11,86 tahun	778
Saturnus	120.536	5.685	0,44 hari	29,42 tahun	1.429
Uranus	51.118	866	0,65 hari	83,75 tahun	2.875
Neptunus	49.528	1.028	0,77 hari	163,72 tahun	4.504

Sumber: *Planetary Sytem*, 1996



### Informasi untuk Anda

Kamis, 24 Agustus 2006, Uni Astronomi Internasional (IAU) akhirnya menetapkan secara voting:

- **Planet-planet:** Merkurius sampai Neptunus
- **Planet kerdil:** Pluto dan objek lain yang bidang orbitnya dipakai bersama-sama serta bukan menjadi satelit objek lain.
- **Benda kecil tata surya:** Seluruh objek lainnya yang mengorbit Matahari.

### Information for You

Thursday, August 24 th 2006, the International Astronomy Union (IAU) finally appointed by voting:

- **Planets:** Mercury to Neptune
- **Small planets:** Pluto and other circular objects that its plane orbit used together and wasn't a satellites of other object.
- **Little objects of solar system:** all other objects that orbit to the sun.

Sumber: *Koran Tempo*, 28 Agustus 2006

**Tabel 1.13**

Beberapa Satelit Planet-Planet dalam Sistem Tata Surya

Nama	Satelit	Diameter (km)	Massa ( $10^{20}$ kg)
Bumi	Bulan	3.476	735
Yupiter	Ganymede	5.262	1.482
	Callisto	4.800	1.077
	Io	3.630	894
	Europa	3.138	480
Saturnus	Titan	5.150	1.346
	Rhea	1.530	25
	Iapetus	1.435	19
	Dione	1.120	11
	Tetis	1.048	7,5
Uranus	Titania	1.610	35
	Oberon	1.550	29
	Umbriel	1.190	13
Neptunus	Ariel	1.160	13
	Triton	2.700	–

Sumber: Planetary Sytem, 1996



Perhatikan kembali **Tabel 1.12**, data perbandingan antarplanet Anda dapat mengamati dari pemanfaatan penetapan waktu suatu fenomena alam di antaranya adalah periode rotasi dan revolusi anggota tata surya.

Oleh karena ukuran diameternya sangat besar, diameter galaksi biasa diukur dalam satuan tahun cahaya, yaitu sebuah lintasan jika ditempuh dengan benda berkecepatan sama dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s) selama satu tahun.

Sebuah contoh, galaksi Bima Sakti yang berbentuk cakram memiliki garis tengah 100.000 tahun cahaya atau 30.000 parsek. Matahari terletak di tepinya, yaitu sekitar 30.000 tahun cahaya dari pusat galaksi. Dengan mengetahui jarak Matahari ke pusat galaksi dan diasumsikan bahwa jarak Matahari mengitari pusat galaksi berbentuk lingkaran, diperkirakan dibutuhkan waktu selama 240 juta tahun bagi Matahari untuk mengitari pusat galaksi.

### c. Ukuran Waktu

Anda ketahui bahwa seluruh kehidupan di alam ini terdiri atas atom karbon, jumlah neutron dalam atom karbon menentukan apakah zat tersebut mengandung radioaktif atau tidak. Jika satu inti karbon terdiri atas 6 neutron dan 6 proton, dikatakan zat tersebut memiliki sifat stabil. Akan tetapi, jika jumlah neutronnya tidak sesuai atau lebih, inti karbon ini akan menjadi radioaktif.

Inti karbon C-11 dapat mempertahankan keadaan selama 20 menit, C-10 membelah dalam waktu 19 sekon, dan C-9 hanya dalam waktu  $\frac{1}{8}$  sekon. Anda juga dapat mengetahui jumlah suatu zat radioaktif akan meluruh. Perhitungan ini didasarkan pada waktu paruh zat radioaktif. Waktu paruh adalah waktu yang diperlukan suatu zat radioaktif untuk meluruh sebanyak setengah bagian dari jumlah semula. Misalnya, waktu paruh dari sulfur-38, radium-223, karbon-14 berturut-turut adalah 3 jam, 11 hari, dan 5730 tahun, bahkan zat radioaktif samarium-147 memiliki waktu paruh 100 miliar tahun.

Itulah sebabnya, metode pendataan waktu paruh zat radioaktif dapat menentukan umur panggung Birchwood pada zaman Pickering di Yorkshire yang berumur 9.488 bulan atau kurang lebih 350 tahun. Adapun Gua Lascaux di Dordone, Prancis, yang terkenal dengan lukisan berwarna-warnanya diperkirakan berumur sekitar 15.515 tahun. Jika usia kerajaan Romawi kuno adalah lebih dari 2.000 tahun, bandingkan dengan usia bumi tempat Anda berpijak yang sudah mencapai  $10^{10}$  tahun atau 10 miliar tahun.

Selain itu, terdapat juga Hukum Hubble sebagai penyokong utama teori jagad raya yang lazim disebut *bigbang*. Menurutnya, alam semesta terbentuk sekitar  $15 \times 10^9$  tahun yang lalu. Akan tetapi, kapan terbentuknya alam semesta, secara akurat hanya Tuhan Yang Maha Kuasa yang mengetahui dengan segala perhitungannya.

**Kata Kunci**

- Sistem Satuan Internasional
- besaran pokok
- besaran turunan
- satuan standar
- dimensi
- atom
- proton
- neutron
- elektron

### Tes Kompetensi Subbab C

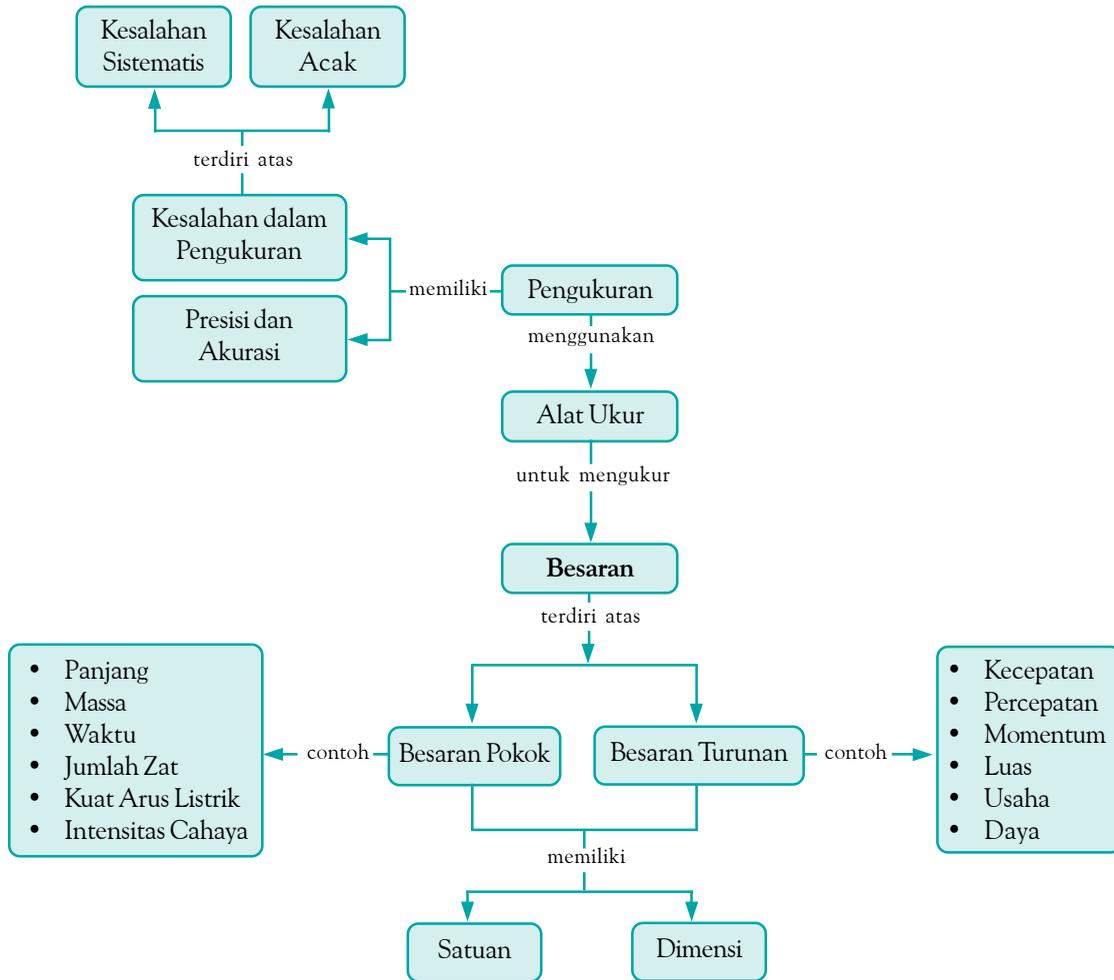
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Isilah titik-titik berikut ini.
  - 10 mil = ... km
  - $2,56 \text{ g/cm}^3 = \dots \text{ kg/m}^3$
  - $200 \text{ m/s} = \dots \text{ knot}$  (1 knot = 1,15 mil/jam)
  - $1 \text{ N} = \dots \text{ dyne}$  (1 dyne =  $1 \text{ gcm/s}^2$ )
  - $160 \text{ m/s} = \dots \text{ mil/jam}$
  - $100 \text{ kg/m}^3 = \dots \text{ g/cm}^3$
- Satu botol minimum mineral berisi 600 mL. Jika 1 liter =  $1.000 \text{ cm}^3$ , berapakah isi botol minuman tersebut jika dinyatakan dalam  $\text{cm}^3$  dan  $\text{m}^3$ ?
- Sebuah pesawat CN 235 bergerak dengan kecepatan 360 knot. Berapakah kecepatan pesawat itu jika dinyatakan dalam km/jam? (1 knot = 1,15 mil/jam).
- Dian berlari menempuh jarak 200 m dalam waktu 25 s, sedangkan Batara menempuh jarak 200 yard dalam waktu yang sama. Pelari manakah yang lebih cepat?
- Seorang tukang parkir mendorong mobil dan usaha yang dilakukannya 2 joule. Nyatakan usaha tersebut dalam erg ( $1 \text{ erg} = 1 \text{ gcm}^2/\text{s}^2$ ).
- Jarak antara Jakarta dan Sorong diperkirakan 5.025 km, sedangkan beda waktu antara kedua kota itu 3 jam. Berapa km keliling Bumi jika dianggap kedua kota tersebut terletak pada lintang yang sama. (Petunjuk: 2 titik yang memiliki beda bujur  $180^\circ$  berbeda waktu 12 jam).
- Tentukan dimensi dari besaran-besaran berikut.
  - luas
  - daya
  - usaha
  - tekanan
- Energi potensial dapat dituliskan dengan persamaan  $E_p = mgh$  ( $m$  = massa,  $g$  = percepatan gravitasi, dan  $h$  = tinggi benda). Tentukan dimensi energi potensial.

### Rangkuman

- Pengukuran adalah membandingkan nilai besaran yang diukur dengan besaran sejenis yang ditetapkan sebagai satuan.
- Ketidaktepastian dalam pengukuran dipengaruhi dua hal, yaitu kesalahan dalam membaca alat dan keterbatasan skala pada alat.
- Alat ukur yang digunakan untuk mengukur panjang, di antaranya mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.
- Alat ukur yang digunakan untuk mengukur massa, di antaranya neraca Ohaus.
- Alat ukur yang digunakan mengukur waktu di antaranya jam tangan dan stopwatch.
- Alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik, yaitu amperemeter.
- Laporan hasil pengukuran berulang dituliskan sebagai berikut.
 
$$x = \frac{\sum x_i}{n} \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$
- Kesalahan dalam pengukuran dapat berupa kesalahan sistematis (*systematical error*) dan kesalahan acak.
- Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan alat ukur atau hasil perhitungan.
- Besaran dibedakan menjadi besaran pokok dan besaran turunan.
- Dimensi suatu besaran menunjukkan cara besaran tersebut tersusun oleh besaran-besaran pokoknya.

## Peta Konsep



## Refleksi

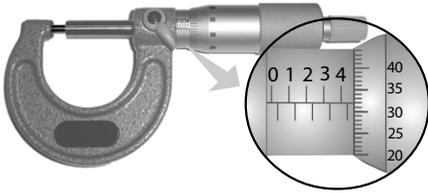
Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda memperoleh manfaat, di antaranya Anda mengetahui manfaat pengukuran dan cara menuliskan laporan dari suatu pengukuran. Sebutkan manfaat lain yang dirasakan setelah Anda mempelajari bab ini.

Dalam mempelajari materi pada bab ini, apakah Anda menemukan kesulitan memahami materi tersebut? Jika ada, coba diskusikan dengan teman atau guru Anda. Selain itu, materi apa dari bab ini yang paling Anda sukai, serta bagian mana yang kurang Anda sukai?

## Tes Kompetensi Bab 1

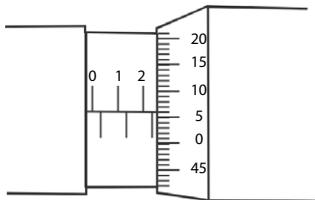
### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Membandingkan nilai besaran yang diukur dengan besaran sejenis yang ditetapkan sebagai satuan disebut ....
  - pengukuran
  - interpretasi
  - ketidakpastian
  - kesalahan
  - mengobservasi
- Berikut ini yang bukan merupakan besaran yang dapat diukur secara langsung adalah ....
  - panjang
  - massa
  - waktu
  - arus listrik
  - daya
- Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut merupakan alat ukur ....

- panjang
  - massa
  - waktu
  - arus listrik
  - daya
- Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut menunjukkan mikrometer sekrup yang digunakan untuk mengukur tebal mistar.

Hasil pengukurannya adalah ....

- 2,20 mm
  - 2,56 mm
  - 3,70 mm
  - 4,20 mm
  - 4,70 mm
- Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut merupakan alat ukur ....

- panjang
  - massa
  - waktu
  - arus listrik
  - daya
- Untuk mengukur panjang meja digunakan ....
    - meteran
    - jangka sorong
    - mikrometer sekrup
    - stopwatch
    - neraca Ohaus

- Berikut ini, pernyataan yang benar adalah ....
  - jangka sorong lebih teliti daripada mikrometer sekrup
  - ketidakpastian alat ukur adalah  $\frac{1}{2}$  kali skala terkecil alas.
  - stopwatch digital lebih teliti daripada stopwatch analog
  - stopwatch digunakan untuk mengukur kecepatan
  - neraca Ohaus adalah alat ukur gaya
- Semakin banyak data yang diperoleh maka ....
  - nilai ketidapastiannya semakin kecil
  - nilai ketidapastiannya semakin besar
  - tidak berpengaruh kepada nilai ketidakpastian
  - ketelitian alat akan semakin baik
  - ketelitian alat akan berkurang
- Kesalahan mengkalibrasi alat termasuk kesalahan ....
  - sistematis
  - acak
  - prosedural
  - interpretasi
  - paralaks
- Kedekatan hasil pengukuran dengan hasil sebenarnya disebut ....
  - akurasi
  - presisi
  - sistematis
  - kesalahan paralaks
  - kesalahan acak
- Pada pengukuran panjang benda, diperoleh hasil pengukuran 0,07060 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran tersebut adalah ....
  - dua
  - tiga
  - empat
  - lima
  - enam
- Hasil penjumlahan 23,13 cm dan 201,4 cm jika ditulis dengan aturan angka penting adalah ....
  - 224,53 cm
  - 224,5 cm
  - 225,0 cm
  - 225 cm
  - 200 cm
- Sepotong logam memiliki ukuran panjang 20,0 cm; lebar 5,00 cm; dan tebal 2,00 cm. Volume logam tersebut adalah ....
  - $2,00 \times 10^2 \text{ cm}^3$
  - $2,0 \times 10^2 \text{ cm}^3$
  - $2 \times 10^2 \text{ cm}^3$
  - $2 \times 10^3 \text{ cm}^3$
  - $2,000 \text{ cm}^3$
- Hasil perkalian antara 34,231 dan 0,250 dalam aturan angka penting adalah ....
  - 8,557750
  - 8,5
  - 8,56
  - 8,567
  - 8

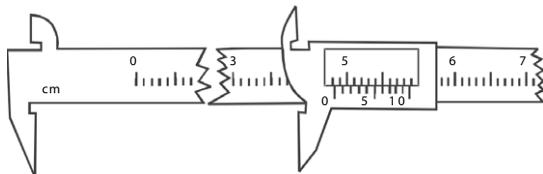
15. 170,5 mengandung angka penting sebanyak ....
- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
16. 11.000.000 dapat diubah ke dalam notasi ilmiah menjadi ....
- $11 \times 10^6$
  - $11 \times 10^5$
  - $10 \times 10^5$
  - $100 \times 10^3$
  - $1 \times 10^7$
17. Akar dari  $\sqrt{46}$  adalah ....
- 6,7823
  - 6,78
  - 6,9
  - 6,8
  - 6,7
18. Meter persegi adalah ....
- besaran pokok
  - satuan besaran pokok
  - besaran tambahan
  - besaran turunan
  - satuan besaran turunan
19. Di antara besaran-besaran berikut, yang merupakan kelompok besaran turunan adalah ....
- kecepatan, massa, dan suhu
  - usaha, daya, dan waktu
  - jumlah zat, kecepatan, dan kuat arus
  - tekanan, daya, dan luas
  - kuat arus, suhu, dan masa
20. Dimensi dari massa jenis adalah ....
- $[M][L][T]^{-2}$
  - $[M][L][T]$
  - $[M][L]^{-2}$
  - $[M][L]^{-3}$
  - $[M][L]^{-2}[T]^{-2}$
21. Di antara besaran-besaran berikut, yang dapat dijumlahkan adalah ....
- massa dan berat
  - berat dan gaya
  - percepatan dan kecepatan
  - gaya dan daya
  - usaha dan daya
22. Tekanan adalah gaya per satuan luas. Rumus dimensi tekanan adalah ....
- $[M][L]^{-1}[T]^2$
  - $[M][L]^{-2}[T]^{-2}$
  - $[M]^2[L][T]^{-1}$
  - $[M][L][T]^{-2}$
  - $[M][L]^{-1}[T]^{-2}$
23. Dimensi berat sama dengan dimensi ....
- massa
  - gaya
  - energi kinetik
  - usaha
  - daya
24. Satuan joule sama dengan ....
- $\text{kgm}^2/\text{s}^2$
  - $\text{kgm}/\text{s}^2$
  - $\text{N}/\text{s}$
  - $\text{kg}^2\text{m}^2/\text{s}^2$
  - $\text{kgm}$
25. Massa jenis raksa adalah  $13,6 \text{ g/cm}^3$ . Jika dalam SI, massa jenis raksa sama dengan ....
- $13,6 \text{ kg/m}^3$
  - $136 \text{ kg/m}^3$
  - $1.360 \text{ kg/m}^3$
  - $13.600 \text{ kg/m}^3$
  - $136.000 \text{ kg/m}^3$

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

- 5 kg es berbeda dengan 5 kg air. Selain volumenya, besaran apa yang membedakan kedua zat itu?
- $500 \mu\text{A} = \dots \text{mA}$
  - $60 \text{ nm} = \dots \text{mm}$
  - $4.500 \text{ \AA} = \dots \text{m}$
  - $50 \text{ nm} = \dots \text{km}$
  - $10^2 \text{ km} = \dots \text{cm}$
- Tuliskan dimensi dari besaran-besaran berikut.
  - daya (daya = usaha tiap satuan waktu)
  - tekanan (tekanan = gaya per luas)
  - momentum (momentum = massa kali kecepatan)
- Berapa panjang pengukuran menurut gambar berikut?
- Dengan menggunakan aturan angka penting, hitunglah hasil-hasil pengukuran berikut.
  - $63,00 \text{ cm} + 2,30 \text{ cm}$
  - $150,25 \text{ cm} \times 75,42 \text{ cm} \times 81,263 \text{ cm}$
- Pada pengukuran hambatan suatu kumparan kawat, diperoleh nilai-nilai sebagai berikut (dalam ohm):
 

3,514	3,501	3,526
3,520	3,519	3,511
3,492	3,489	
3,486	3,498	

 Hitung estimasi terbaik pengukuran hambatan ini. Tiap data merupakan hasil beberapa kali eksperimen.
- Diameter seutas kawat silinder yang diukur dengan mistar adalah  $d = (4,00 \pm 0,05) \text{ mm}$ . Tentukan luas penampangnya berikut ketidakpastiannya.



# Bab 2



Sumber: Dasar-Dasar Foto Jurnalistik, 2003

Besaran yang memiliki besar dan arah disebut besaran vektor. Kecepatan merupakan salah satu besaran vektor.

## Vektor

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep besaran Fisika dan pengukurannya.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

melakukan penjumlahan vektor.

Dalam Fisika, besaran dibedakan menjadi besaran vektor dan besaran skalar. Makna sebuah mobil yang melaju ke arah selatan dengan kelajuan 60 km/jam berbeda dengan mobil yang melaju dengan kelajuan sama tetapi arahnya ke utara. Dapatkah Anda menyebutkan perbedaan dan persamaan kedua gerak mobil tersebut?

Konsep vektor diperlukan dalam Fisika agar pengertian fisis suatu besaran menjadi jelas. Selain kecepatan, besaran apa yang termasuk besaran vektor?

Pada bab ini, Anda akan mempelajari vektor. Pelajarilah dengan saksama karena bab ini merupakan dasar bagi pendalaman konsep-konsep Fisika berikutnya.

### A. Vektor

### B. Perkalian Vektor

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep vektor, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang Anda ketahui tentang vektor?
2. Menurut Anda, apa manfaat Anda mempelajari vektor?
3. Untuk besaran-besaran skalar, dapat dilakukan operasi-operasi matematika, seperti penjumlahan, pengurangan, dan perkalian. Apakah besaran vektor dapat dioperasikan seperti besaran skalar?
4. Menurut Anda, konsep Fisika apa saja yang berhubungan dengan vektor?
5. Berilah sebuah contoh kasus yang dapat diselesaikan dengan konsep vektor.

## A. Vektor

Anda telah mempelajari vektor ketika di SMP. Untuk lebih memahaminya, lakukan kegiatan berikut.



### Aktivitas Fisika 2.1

#### Vektor Resultan

##### Tujuan Percobaan

Siswa dapat memahami vektor dan vektor resultan

##### Alat-Alat Percobaan

1. Penggaris
2. Kertas
3. Pensil warna

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Buatlah denah sekolah Anda pada kertas berpetak (buat agar ukuran skalanya sesuai dengan perbandingan yang tepat pada kertas tersebut).
2. Dengan menggunakan pensil warna, gambarkan arah panah pada lintasan yang Anda lalui dari gerbang utama sekolah menuju ke kelas Anda.
3. Dengan cara yang sama seperti pada langkah 2, gambarkan lintasan yang Anda tempuh dari kelas menuju perpustakaan sekolah.
4. Berapakah panjang lintasan keduanya? Ke mana arahnya?
5. Buatlah garis lurus dari gerbang sekolah ke kelas Anda, kemudian dari kelas Anda ke perpustakaan dan dari gerbang sekolah ke perpustakaan. Berapakah panjang lintasannya? Ke mana saja arahnya?

Berdasarkan **Aktivitas Fisika 2.1**, Anda dapat memahami bahwa ada besaran Fisika yang nilainya semakin berarti jika dinyatakan pula arah dari besaran tersebut. Besaran tersebut dinamakan besaran vektor.

### 1. Besaran Skalar dan Besaran Vektor

Telah dibahas sebelumnya, besaran adalah sesuatu yang besarnya dapat diukur dan dinyatakan dengan angka. Selain dapat dinyatakan dengan angka dan memiliki nilai, ada besaran-besaran yang juga memiliki arah tertentu. Secara garis besar, besaran dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu besaran skalar dan besaran vektor.

Besaran skalar adalah besaran yang hanya memiliki nilai (besar) saja (tidak memiliki arah). Contoh besaran skalar, yaitu panjang, massa, waktu, volume, kelajuan, massa jenis, daya, energi, dan suhu.

Besaran vektor berbeda dengan besaran skalar. Agar lebih memahami besaran vektor, ambillah sebuah batu bata. Apa yang Anda rasakan? Tangan Anda merasa berat untuk mempertahankan batu itu, seakan-akan batu menarik tangan Anda ke bawah. Sekarang, coba Anda lepaskan batu tersebut dan biarkan jatuh. Ke mana arah jatuhnya batu? Anda akan menjawab bahwa batu jatuh dengan kecepatan tertentu ke bawah. Batu memiliki gaya berat yang arahnya ke bawah. Jadi, gaya berat dan kecepatan adalah besaran vektor karena gaya dan kecepatan memiliki

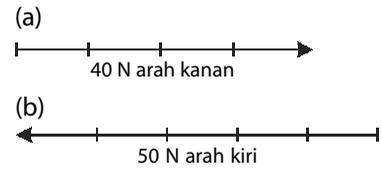
### Tugas Anda 2.1

Anda telah mengetahui pengertian besaran vektor. Bagaimana dengan besaran skalar? Diskusikan dengan teman Anda tentang pengertian besaran skalar. Sebutkan contoh-contoh yang termasuk besaran skalar dan contoh-contoh yang termasuk besaran vektor.

besaran dan arah. Jadi, besaran vektor adalah besaran yang memiliki besar (nilai) dan juga arah. Contoh besaran vektor di antaranya kecepatan, percepatan, gaya, momentum, dan perpindahan.

### a. Menggambar Vektor

Sebuah vektor digambarkan dengan sebuah anak panah yang terdiri atas pangkal vektor, panjang vektor, dan arah vektor. Arah anak panah ini menunjukkan nilai atau harga vektor tersebut. Semakin panjang gambar sebuah vektor, semakin besar nilai vektor tersebut. Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 berikut.



**Gambar 2.1**

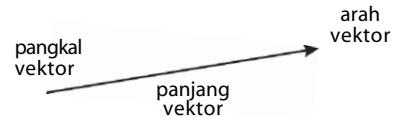
Panjang vektor a adalah 40 N dan vektor b adalah 50 N. Satu satuan skala pada vektor a dan b besarnya 10 N.

### b. Penulisan Notasi Besaran Vektor

Notasi besaran vektor dapat berupa huruf kapital atau huruf kecil. Untuk tulisan tangan, notasi tersebut berupa huruf yang diberi tanda panah di atasnya, misalnya  $\vec{A}$  atau  $\vec{a}$ . Untuk tulisan cetak, notasi tersebut biasanya dicetak tebal, misalnya **A** dan **a**.

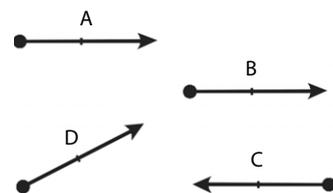
Nilai vektor untuk tulisan cetak dinyatakan dengan huruf tipis miring, misalnya *A*. Untuk tulisan tangan, nilai vektor dinyatakan dengan huruf tanpa tanda panah, misalnya *A*.

Dua vektor disebut sama besar jika besar dan arahnya sama. Perhatikan Gambar 2.3. Vektor **A** sama dengan vektor **B** karena kedua vektor memiliki besar dan arah yang sama, sedangkan vektor **A** dan vektor **D** berbeda karena kedua vektor tersebut memiliki arah yang berbeda. Vektor **C** disebut lawan dari vektor **B** karena besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan.



**Gambar 2.2**

Sebuah vektor



**Gambar 2.3**

Contoh beberapa vektor, vektor **A** = vektor **B**.

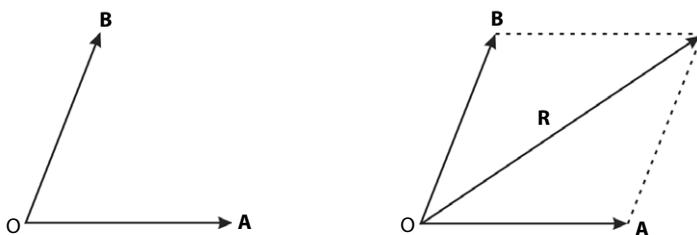
## 2. Penjumlahan dan Selisih Vektor

### a. Penjumlahan Vektor

Dua vektor atau lebih dapat dijumlahkan atau dikurangkan. Hasil penjumlahan atau pengurangan disebut resultan vektor. Untuk menghitung resultan vektor yang berbeda pada satu bidang dapat digunakan dua metode, yaitu metode jajargenjang dan metode poligon.

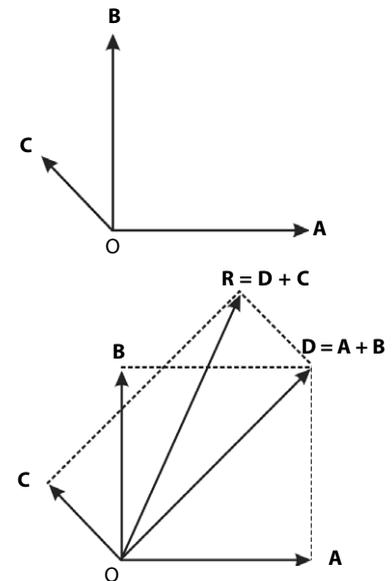
#### 1) Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang

Dua buah vektor atau lebih dapat dijumlahkan dengan melukis sebuah jajargenjang dengan kedua vektor tersebut sebagai sisi-sisinya. Adapun resultannya diperoleh dari diagonal jajargenjang, yaitu titik pangkalnya sama dengan kedua titik pangkal vektor tersebut. Perhatikan Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



**Gambar 2.4**

**R** adalah vektor resultan dari vektor **A** dan **B**

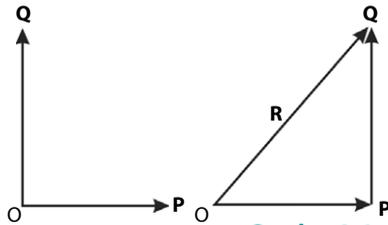


**Gambar 2.5**

Resultan tiga buah vektor, yaitu  $\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C}$  yang diperoleh dengan metode jajargenjang.

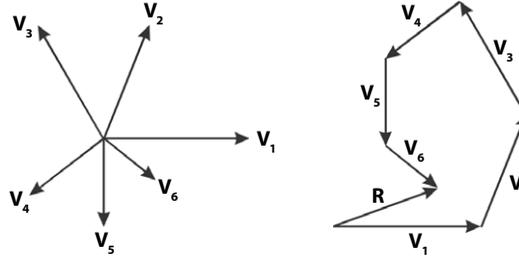
#### 2) Penjumlahan vektor dengan metode poligon (segi banyak)

Resultan dari penjumlahan dua vektor atau lebih diperoleh dengan memindahkan pangkal vektor yang satu ke ujung vektor yang lain, demikian seterusnya. Adapun vektor hasil penjumlahan (resultan) diperoleh dengan menghubungkan pangkal vektor pertama ke ujung vektor terakhir. Perhatikan Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



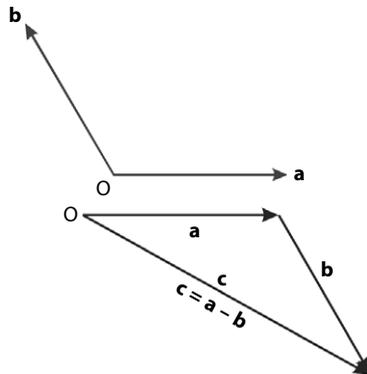
**Gambar 2.6**

Resultan dua buah vektor  $R = P + Q$  dilukis dengan metode poligon.



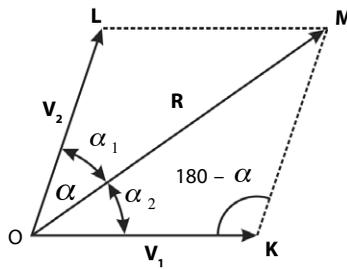
**Gambar 2.7**

Resultan enam buah vektor  $R = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$  dilukis dengan metode poligon.



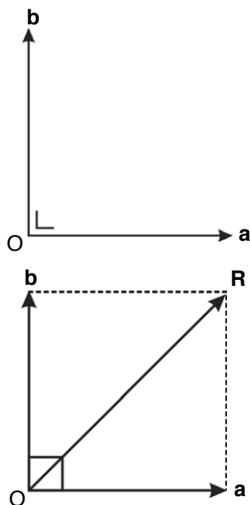
**Gambar 2.8**

Resultan selisih vektor  $c = a - b$ .



**Gambar 2.9**

Resultan dua vektor



**Gambar 2.10**

Dua buah vektor saling tegak lurus.

### b. Selisih Vektor

Metode yang digunakan dalam melukis selisih dua vektor sama dengan metode yang digunakan untuk penjumlahan vektor. Selisih dua buah vektor  $a$  dan  $b$  dapat ditulis  $c = a - b$ , atau resultan vektor  $a$  dan vektor  $-b$  adalah  $c = a + (-b)$ . Untuk melukis vektor  $c = a + (-b)$ , pertama vektor  $a$  dilukis, selanjutnya vektor  $-b$ . Caranya sama seperti melukis penjumlahan vektor (perhatikan vektor  $-b$  merupakan vektor  $b$  dengan arah berlawanan). Adapun vektor  $c$  adalah vektor yang menghubungkan pangkal vektor  $a$  ke ujung vektor  $-b$ . Perhatikan Gambar 2.8.

### 3. Rumus untuk Menentukan Besar dan Arah Resultan Dua Buah Vektor

Resultan dua buah vektor dapat dicari dengan menggunakan rumus. Perhatikan Gambar 2.9.

Menurut aturan cosinus, dari segitiga OKM diperoleh persamaan

$$OM^2 = OK^2 + KM^2 - 2OK \cdot KM \cos (180 - \alpha)$$

$$OM^2 = OK^2 + KM^2 - 2OK \cdot KM(-\cos \alpha)$$

$$OM^2 = OK^2 + KM^2 + 2OK \cdot KM \cos \alpha$$

Oleh karena  $OM$  sama dengan  $R$ ,  $OK$  sama dengan  $V_1$ , dan  $OL$  sama dengan  $V_2$  maka persamaan tersebut menjadi

$$R^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \alpha$$

$$R = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \alpha} \quad (2-1)$$

dengan  $\alpha$  adalah sudut apit yang dibentuk antara vektor  $V_1$  dan vektor  $V_2$ . Arah resultan vektor dapat ditentukan menggunakan aturan sinus sebagai berikut.

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{V_1}{\sin \alpha_1} = \frac{V_2}{\sin \alpha_2} \quad (2-2)$$

Jika dua buah vektor antara vektor yang satu ( $V_1$ ) dan vektor yang lain ( $V_2$ ) saling tegak lurus, vektor resultannya dapat diselesaikan dengan dalil *Pythagoras*. Perhatikan Gambar 2.10.

Besarnya vektor resultan  $R$  adalah

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2-3)$$

### Contoh 2.1

Dua buah vektor gaya  $F_1$  dan  $F_2$  masing-masing besarnya 4 N dan 5 N dan memiliki titik pangkal berimpit. Hitunglah nilai dan arah resultan vektor ini jika sudut apit antara kedua vektor tersebut adalah  $60^\circ$ .

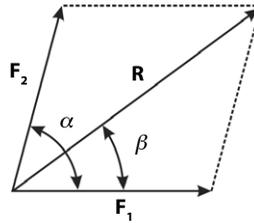
**Jawab:**

Diketahui:

$$F_1 = 4 \text{ N}; \quad F_2 = 5 \text{ N}; \quad \alpha = 60^\circ$$

a. Dengan menggunakan **Persamaan (2-1)**

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha} \\ &= \sqrt{(4)^2 + (5)^2 + 2(4)(5) \cos 60^\circ} \\ &= \sqrt{(16+25+20)} = \sqrt{61} \text{ N} \end{aligned}$$



b. Arah resultan terhadap  $F_1$  ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{R}{\sin \alpha} &= \frac{F_2}{\sin \beta} \\ \sin \beta &= \frac{F_2}{R} \sin \alpha = \frac{5}{\sqrt{61}} \sin 60^\circ = 0,5544 \\ \beta &= 33,67^\circ \end{aligned}$$

Jadi, nilai vektor adalah  $\sqrt{61}$  N dengan arah  $33,67^\circ$  terhadap vektor  $F_1$ .

### Contoh 2.2

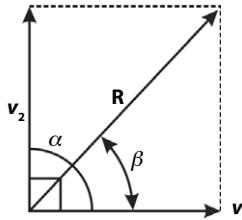
Dua vektor memiliki titik pangkal berimpit. Nilai setiap vektor adalah 3 satuan dan 4 satuan. Hitung nilai dan arah resultan kedua vektor itu jika sudut apitnya  $90^\circ$ .

**Jawab:**

Diketahui:

$$v_1 = 3 \text{ satuan}; \quad v_2 = 4 \text{ satuan}; \quad \alpha = 90^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{a. } R &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2 \cos \alpha} \\ &= \sqrt{(3)^2 + (4)^2 + 2(3)(4) \cos 90^\circ} \\ &= \sqrt{9 + 16 + 24(0)} = \sqrt{25 + 0} = \sqrt{25} = 5 \text{ satuan} \end{aligned}$$



b. Arah resultan  $R$  terhadap  $v_1$  ditentukan dengan persamaan

$$\begin{aligned} \frac{R}{\sin \alpha} &= \frac{v_2}{\sin \beta} \\ \sin \beta &= \frac{v_2}{R} \sin \alpha = \frac{4}{5} \sin 90^\circ = 0,8 \\ \beta &= 53^\circ \end{aligned}$$

Jadi, nilai resultan vektor adalah 5 satuan dan arahnya  $53^\circ$  terhadap  $v_1$ .

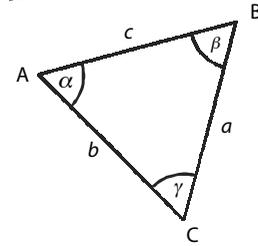
## 4. Menguraikan Vektor

Sebuah vektor dapat diuraikan ke dalam komponen-komponennya. Di sini, hanya dibahas sebuah vektor yang diuraikan ke dalam komponen-komponennya yang saling tegak lurus, yaitu pada sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ . Vektor-vektor tersebut dinamakan vektor komponen tegak dari vektor yang bersangkutan.

Misalnya, sebuah vektor  $F$  seperti pada **Gambar 2.11** dapat diuraikan ke dalam komponen yang saling tegak lurus, yaitu masing-masing  $F_x$  dan  $F_y$ . Adapun  $F_x$  adalah komponen  $F$  pada sumbu- $x$  dan  $F_y$  adalah komponen  $F$  pada sumbu- $y$ . Vektor  $F$  membentuk sudut  $\alpha$  terhadap sumbu- $x$  positif. Besar  $F_x$  dan  $F_y$  diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.



**Ingatlah**



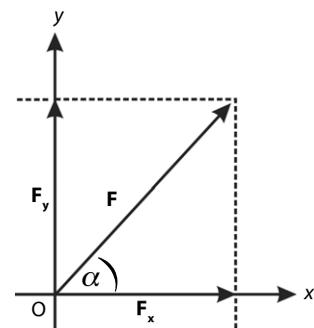
Pada segitiga ABC berlaku:

- Aturan sinus:  
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$
- Aturan cosinus:  
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$
  
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$
  
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$



## Tantangan untuk Anda

Dua vektor kecepatan  $v_1$  dan  $v_2$  masing-masing besarnya 3 m/s dan 8 m/s. Kedua vektor memiliki titik pangkal yang sama. Tentukan resultan kedua vektor itu, jika sudut yang mengapit kedua vektor adalah  $120^\circ$ .



**Gambar 2.11**

Vektor  $F$  diuraikan menjadi komponen-komponennya pada sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ , yaitu  $F_x$  dan  $F_y$ .

$$F_x = F \cos \alpha ; \quad F_y = F \sin \alpha$$

sehingga

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (2-4)$$

Arah vektor dapat diperoleh dengan persamaan

$$\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x} \quad (2-5)$$

### Contoh 2.3

Sebuah vektor gaya  $\mathbf{F}$  nilainya 20 N dan membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap sumbu- $x$  positif. Tentukan nilai komponen-komponen vektor gaya  $\mathbf{F}$  itu terhadap sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ .

**Jawab:**

Diketahui:

$$F = 20 \text{ N} \quad \alpha = 30^\circ$$

$$F_x = F \cos \alpha = (20 \text{ N}) \cos 30^\circ = (20 \text{ N}) \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = 10 \sqrt{3} \text{ N}$$

$$F_y = F \sin \alpha = (20 \text{ N}) \sin 30^\circ = (20 \text{ N}) \left( \frac{1}{2} \right) = 10 \text{ N}$$

Jadi,  $F_x = 10\sqrt{3}$  N dan  $F_y = 10$  N.

### Contoh 2.4

Sebuah vektor  $\mathbf{F}$  dengan panjang 30 satuan, membentuk sudut  $210^\circ$  terhadap sumbu- $x$  positif. Tentukan komponen-komponen vektor  $\mathbf{F}$  terhadap sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ .

**Jawab:**

Diketahui:

$$F = 30 \text{ satuan}; \quad \alpha = 210^\circ$$

$$F_x = F \cos \alpha = F \cos 210^\circ \\ = (30) (\cos (-30^\circ))$$

$$= (30) \left( -\frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = -15 \sqrt{3} \text{ satuan}$$

$$F_y = F \sin \alpha = F \sin 210^\circ \\ = (30 \text{ satuan}) (\sin (-30^\circ))$$

$$= (30 \text{ satuan}) \left( -\frac{1}{2} \right) = -15 \text{ satuan}$$



### Tantangan untuk Anda

Tentukan besar komponen  $x$  dan  $y$  dari sebuah vektor perpindahan 30 m dengan sudut  $2\pi/3$ .

## 5. Menjumlahkan Vektor dengan Cara Analisis

Untuk menentukan resultan beberapa vektor, dapat digunakan cara analisis. Dengan cara ini, sangat mungkin diperoleh resultan vektor yang lebih teliti jika dibandingkan dengan menggunakan metode poligon. Langkah-langkah yang harus diperhatikan adalah penguraian terlebih dahulu komponen vektor dalam sumbu- $x$  ( $V_x$ ) dan sumbu- $y$  ( $V_y$ ). Selanjutnya, komponen-komponen vektor terhadap sumbu- $x$  dijumlahkan, yaitu  $R_x = \sum V_x$  dan komponen-komponen vektor terhadap sumbu- $y$  dijumlahkan, yaitu  $R_y = \sum V_y$ .

Nilai resultan dapat dihitung dengan persamaan

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

arah resultan  $R$  terhadap sumbu- $x$  dapat ditentukan dengan persamaan

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x}$$

### Contoh 2.5

Empat buah vektor titik pangkalnya berimpit, besarnya masing-masing 20, 24, 20, dan 12 satuan. Keempat vektor ini membentuk sudut terhadap sumbu- $x$  masing-masing  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ , dan  $240^\circ$ . Hitunglah nilai dan arah resultannya.

**Jawab:**

Diketahui:

$$V_1 = 20 \text{ satuan}, \alpha = 0^\circ$$

$$V_2 = 24 \text{ satuan}, \alpha = 60^\circ$$

$$V_3 = 20 \text{ satuan}, \alpha = 120^\circ$$

$$V_4 = 12 \text{ satuan}, \alpha = 240^\circ$$

Besar tiap-tiap komponen vektor dihitung.

$$V_{1x} = V_1 \cos 0^\circ = (20)(1) = 20 \text{ satuan}$$

$$V_{1y} = V_1 \sin 0^\circ = (20)(0) = 0$$

$$V_{2x} = V_2 \cos 60^\circ = 24 \left( \frac{1}{2} \right) = 12 \text{ satuan}$$

$$V_{2y} = V_2 \sin 60^\circ = 24 \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = 12\sqrt{3} \text{ satuan}$$

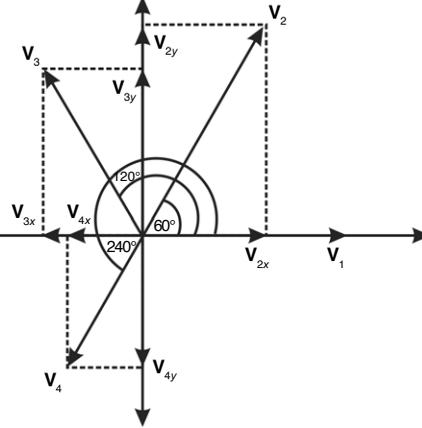
$$V_{3x} = V_3 \cos 120^\circ = 20 \left( -\frac{1}{2} \right) = -10 \text{ satuan}$$

$$V_{3y} = V_3 \sin 120^\circ = 20 \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = 10\sqrt{3} \text{ satuan}$$

$$V_{4x} = V_4 \cos 240^\circ = 12 \left( -\frac{1}{2} \right) = -6 \text{ satuan}$$

$$V_{4y} = V_4 \sin 240^\circ = 12 \left( -\frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = -6\sqrt{3} \text{ satuan}$$

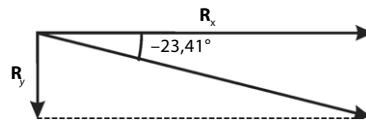
$$R_x = V_{1x} + V_{2x} + V_{3x} + V_{4x} = 20 + 12 + (-10) + (-6) = 6 \text{ satuan}$$



$$R_y = V_{1y} + V_{2y} + V_{3y} + V_{4y} = 0 + 12\sqrt{3} + (-10\sqrt{3}) + (-6\sqrt{3}) = -4\sqrt{3} \text{ satuan}$$

Besar resultan diperoleh dengan persamaan

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{6^2 + (-4\sqrt{3})^2} = \sqrt{304} = 17,4 \text{ satuan}$$



Arah resultan diperoleh dengan persamaan

$$\tan \theta = \frac{R_y}{R_x} = \frac{-4\sqrt{3}}{6} = -0,43$$

$$\theta = -23,41^\circ$$

Jadi, nilai resultan 17,4 satuan dan arahnya membentuk sudut  $23,41^\circ$  terhadap sumbu- $x$ .

### Tugas Anda 2.2

Perhatikan operasi vektor berikut.

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

Apakah  $\mathbf{V}$  selamanya harus lebih besar daripada  $\mathbf{V}_1$  dan  $\mathbf{V}_2$ ?

Diskusikan dengan teman Anda.

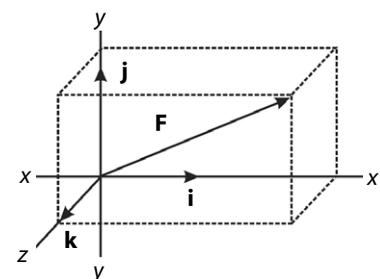
## 6. Vektor Satuan

Sebuah vektor yang terletak di dalam ruang tiga dimensi memiliki komponen-komponen terhadap sumbu- $x$ , sumbu- $y$ , dan sumbu- $z$ . Vektor satuan  $\mathbf{i}$  yang besarnya 1 satuan, arahnya sejajar dengan sumbu- $x$  positif. Vektor satuan  $\mathbf{j}$  dan vektor satuan  $\mathbf{k}$  masing-masing arahnya sejajar terhadap sumbu- $y$  dan sumbu- $z$  positif. Perhatikan **Gambar 2.12** yang melukiskan sistem koordinat kartesian 3 dimensi.

Sebuah vektor  $\mathbf{F}$  terletak pada ruang, lalu diproyeksikan menjadi komponen-komponen vektor  $F_x$ ,  $F_y$ , dan  $F_z$ . Secara matematis. Vektor  $\mathbf{F}$  pada **Gambar 2.12** dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari tiga buah vektor, yaitu

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (2-6)$$

Besar vektor  $\mathbf{F}$  dapat dihitung dengan menentukan komponen-komponen vektor yang saling tegak lurus satu sama lain melalui persamaan



**Gambar 2.12**

Vektor  $\mathbf{F}$  dan vektor satuannya dalam koordinat kartesian tiga dimensi

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (2-7)$$

Dalam analisis vektor satuan, jika dua buah vektor sama, besar komponen-komponennya juga harus sama. Misalnya,

$$A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} = B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}$$

Besar resultan penjumlahan dan pengurangan vektor tersebut dapat dinyatakan dengan aturan sebagai berikut.

$$A + B = (A_x + B_x)\mathbf{i} + (A_y + B_y)\mathbf{j} + (A_z + B_z)\mathbf{k}$$

$$A - B = (A_x - B_x)\mathbf{i} + (A_y - B_y)\mathbf{j} + (A_z - B_z)\mathbf{k}$$

### Contoh 2.6

Diketahui dua buah vektor berikut.

$$\mathbf{A} = 3\mathbf{i} - 6\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 5\mathbf{k}$$

Tentukan:

- a.  $\mathbf{A} + \mathbf{B}$  dan  $\mathbf{A} - \mathbf{B}$       b. Besar vektor  $\mathbf{A} + \mathbf{B}$  dan  $\mathbf{A} - \mathbf{B}$

Jawab:

- a. Resultan penjumlahan dan pengurangan

$$\begin{aligned} \mathbf{A} + \mathbf{B} &= (3\mathbf{i} - 6\mathbf{j} + 2\mathbf{k}) + (\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 5\mathbf{k}) \\ &= (3 + 1)\mathbf{i} + (-6 + 3)\mathbf{j} + (2 - 5)\mathbf{k} \\ &= 4\mathbf{i} - 3\mathbf{j} - 3\mathbf{k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A} - \mathbf{B} &= (3\mathbf{i} - 6\mathbf{j} + 2\mathbf{k}) - (\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 5\mathbf{k}) \\ &= (3 - 1)\mathbf{i} + (-6 - 3)\mathbf{j} + (2 + 5)\mathbf{k} \\ &= 2\mathbf{i} - 9\mathbf{j} + 7\mathbf{k} \end{aligned}$$

- b. Besar vektor  $\mathbf{A} + \mathbf{B}$  dan vektor  $\mathbf{A} - \mathbf{B}$

$$A + B = \sqrt{4^2 + (-3)^2 + (-3)^2} = \sqrt{34} \text{ satuan}$$

$$A - B = \sqrt{2^2 + (-9)^2 + 7^2} = \sqrt{134} \text{ satuan}$$

### Kata Kunci

- besaran skalar
- besaran vektor
- metode jajargenjang
- metode poligon
- vektor resultan
- cara analisis vektor satuan

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Diketahui empat buah vektor berikut.
 

$\mathbf{a} = 3\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$	$\mathbf{c} = 4\mathbf{i} - 5\mathbf{j}$
$\mathbf{b} = 2\mathbf{i} - 4\mathbf{j}$	$\mathbf{d} = 2\mathbf{i} - \mathbf{j}$

 Gunakan metode poligon untuk melukis vektor-vektor berikut.
 

a. $\mathbf{a} + \mathbf{b}$	d. $\mathbf{b} - \mathbf{d}$
b. $\mathbf{a} + \mathbf{c}$	e. $\mathbf{a} - \mathbf{c}$
c. $\mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{d}$	f. $\mathbf{a} - \mathbf{b}$
2. Diketahui vektor  $\mathbf{v}$ . Lukislah vektor-vektor berikut.
 

a. $-\mathbf{v}$	c. $-2\mathbf{v}$
b. $2\mathbf{v}$	d. $1,5\mathbf{v}$
3. Tentukan besar dan arah vektor, serta gambarkan jika komponennya sebagai berikut.
 

a. $v_x = 4 \text{ cm}$ dan $v_y = 6 \text{ cm}$
b. $v_x = 6 \text{ N}$ dan $v_y = -8 \text{ N}$
4. Tentukan besar komponen  $x$  dan  $y$  dari sebuah vektor perpindahan 30 m dan membentuk sudut  $120^\circ$  terhadap sumbu- $x$ .
5. Dua vektor gaya  $\mathbf{F}_1$  dan  $\mathbf{F}_2$  masing-masing besarnya 3 N dan 4 N dan bekerja pada suatu benda dengan titik tangkap berimpit. Jika sudut apit antara kedua vektor itu  $60^\circ$ , tentukan besar dan arah resultan vektor terhadap vektor gaya  $\mathbf{F}_1$ .
6. Dua buah vektor pada bidang  $xy$  masing-masing besarnya 20 satuan dan membentuk sudut masing-masing  $170^\circ$  dan  $50^\circ$  terhadap sumbu- $x$ , hitung besar resultannya.
7. Dua buah vektor masing-masing besarnya 3 dan 4 satuan. Tuliskan bahwa dari kedua vektor tersebut dapat menghasilkan vektor resultan sebesar 7 satuan, 1 satuan, dan 5 satuan, tetapi tidak mungkin 8 satuan.
8. Sebuah mobil bergerak sejauh 4 km ke timur, 6 km ke selatan, 4 km ke barat, dan 14 km ke utara. Hitung besar resultan dari vektor perpindahan tersebut.

9. Uraikan vektor berikut terhadap komponen-komponen  $x$  dan  $y$  (catatan: sudut diukur dari sumbu- $x$ ).
- $V_1 = 5$  satuan;  $\alpha = 53^\circ$
  - $V_2 = 200$  satuan;  $\alpha = 110^\circ$
10. Tiga buah vektor  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ , dan  $\mathbf{c}$  terletak pada satu bidang dan memiliki titik tangkap yang sama. Besar vektor ini berturut-turut adalah 3, 2, dan 4 satuan. Berapakah sudut apit antara vektor  $\mathbf{a}$  dan  $\mathbf{b}$  agar jumlah kedua vektor ini sama dengan besar vektor  $\mathbf{c}$ .

## B. Perkalian Vektor

Pada Subbab A, Anda telah mempelajari penjumlahan vektor. Selain operasi penjumlahan, operasi perkalian juga dapat diterapkan pada vektor. Perkalian vektor tidak sama dengan perkalian bilangan biasa. Pada subbab ini, Anda akan mempelajari dua jenis perkalian vektor tersebut, yaitu perkalian titik vektor dan perkalian silang vektor.

### 1. Perkalian Titik Vektor

Perkalian titik antara dua vektor  $\mathbf{A}$  dan vektor  $\mathbf{B}$  merupakan *besaran skalar yang besarnya sama dengan hasil kali kedua vektor terhadap cosinus sudut apitnya*. Perhatikan **Gambar 2.13**.  $\theta$  adalah sudut apit antara dua vektor.

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta$$

$AB \cos \theta = BA \cos \theta$  maka  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$ . Perkalian titik dua vektor disebut juga sebagai perkalian skalar.

Untuk memudahkan perhitungan perkalian titik dua vektor, perlu dipahami sifat-sifat perkalian titik sesama vektor. Perkalian titik antara dua vektor satuan akan bernilai satu jika kedua vektor tersebut sejenis dan bernilai nol jika kedua vektor tersebut tidak sejenis.

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = (1)(1) \cos 0^\circ = 1$$

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{i} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = (1)(1) \cos 90^\circ = 0$$

Sudut antara vektor satuan  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{i}$  adalah  $0^\circ$  maka  $(\mathbf{i})(\mathbf{i}) \cos 0^\circ = 1$ , sedangkan sudut antara vektor satuan  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$  adalah  $90^\circ$  maka  $(\mathbf{i})(\mathbf{j}) \cos 90^\circ = 0$ . Ketentuan ini memenuhi sifat perkalian titik sesama vektor. Secara matematis, perkalian titik vektor  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$  dapat diperoleh sebagai berikut

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}), \text{ maka}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \quad (2-7)$$

### Contoh 2.7

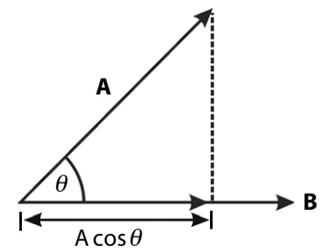
Tentukan hasil perkalian titik antara dua vektor satuan  $\mathbf{A} = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$  dan  $\mathbf{B} = 4\mathbf{i} + 2\mathbf{j} - \mathbf{k}$ .

Jawab:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} &= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z = (2)(4) + (3)(2) + (5)(-1) \\ &= 8 + 6 - 5 = 9 \end{aligned}$$

### 2. Perkalian Silang Vektor

Perkalian silang dua buah vektor  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  menghasilkan vektor yang arahnya tegak lurus bidang yang dibentuk oleh dua buah vektor tersebut, dan besarnya sama dengan hasil kali kedua vektor dengan sinus sudut apitnya.



**Gambar 2.13**

Perkalian dua vektor merupakan proyeksi vektor pertama ke vektor kedua.



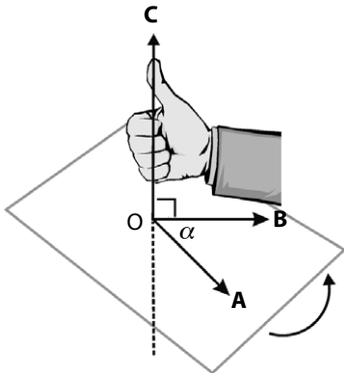
### Ingatlah

$\theta$  adalah sudut yang besarnya selalu antara  $0$  dan  $180^\circ$  ( $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ ).



### Tantangan untuk Anda

Hasil perkalian titik antara vektor  $\mathbf{x}$  dan vektor  $\mathbf{y}$  adalah 2,55. Kedua vektor tersebut, yaitu  $\mathbf{x} = \mathbf{i} + \mathbf{j}$  dan  $\mathbf{y} = 2\mathbf{j} + 3\mathbf{k}$ . Hitunglah sudut yang dibentuk oleh kedua vektor tersebut.



**Gambar 2.14**  
Perkalian silang vektor **A**  
dan vektor **B**.

Perhatikan **Gambar 2.14**.  $\alpha$  adalah sudut apit yang terletak di antara vektor **A** dan vektor **B**, sedangkan vektor **A** dan vektor **B** terletak pada satu bidang. Perkalian silang  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  adalah

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

$$|\mathbf{C}| = AB \sin \alpha .$$

Arah vektor **C** adalah sesuai dengan aturan tangan kanan di mana ujung vektor **A** menuju ujung vektor **B** searah dengan lipatan keempat jari ketika arah jempol menunjukkan arah  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ .

Pada perkalian silang vektor, tidak berlaku sifat komutatif sehingga  $\mathbf{A} \times \mathbf{B} \neq \mathbf{B} \times \mathbf{A}$ . Akan tetapi, berlaku sifat anti-komutatif, yaitu  $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$ . Untuk menentukan nilai resultan vektor dan persamaan perkalian vektor, dapat digunakan sifat-sifat perkalian silang sesama satuan, antara lain:

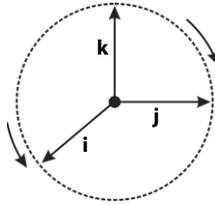
1. perkalian silang antara dua vektor satuan yang sama besar dan searah bernilai nol;
2. perkalian antara dua vektor satuan yang berbeda akan bernilai positif jika searah jarum jam, sebaliknya akan bernilai negatif jika arahnya berlawanan dengan arah jarum jam.



### Ingatlah

Untuk menyatakan nilai suatu besaran vektor, selain dapat ditandai dengan cetak miring, dapat juga dituliskan dengan tanda mutlak

$$|\mathbf{A}| = A$$



$$\begin{array}{lll} \mathbf{i} \times \mathbf{i} = 0 & \mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} & \mathbf{j} \times \mathbf{i} = -\mathbf{k} \\ \mathbf{j} \times \mathbf{j} = 0 & \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i} & \mathbf{i} \times \mathbf{k} = -\mathbf{j} \\ \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0 & \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} & \mathbf{k} \times \mathbf{j} = -\mathbf{i} \end{array}$$

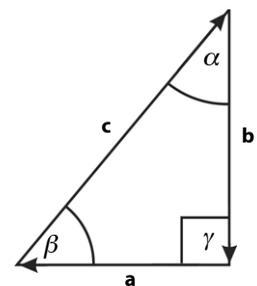
Anda dapat menggunakan sifat perkalian silang untuk menentukan besar perkalian silang sesama vektor satuan melalui sudut  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ .

1. Jika kedua vektor saling tegak lurus maka  $\theta = 90^\circ$ ,  $\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}$
2. Jika kedua vektor sama dan segaris maka  $\theta = 0$ ,  $\mathbf{i} \times \mathbf{i} = 0$

### Contoh 2.8

Diketahui vektor **a**, **b**, dan **c** seperti pada gambar berikut. Besar vektor-vektor tersebut masing-masing 3, 4, dan 5 satuan. Tentukanlah:

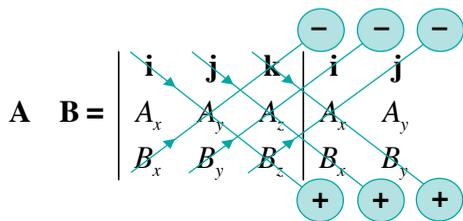
- $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ ;
- $\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}$ ;
- $\mathbf{b} \cdot \mathbf{c}$ ;
- $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ ;
- $\mathbf{a} \times \mathbf{c}$ ;
- $\mathbf{b} \times \mathbf{c}$ ;



Jawab:

- $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = ab \cos \gamma = (3)(4)(0) = 0$
- $\mathbf{a} \cdot \mathbf{c} = ac \cos (180^\circ - \beta) = ac (-\cos \beta) = (3)(5) \left(-\frac{3}{5}\right) = -9$
- $\mathbf{b} \cdot \mathbf{c} = bc \cos (180^\circ - \alpha) = bc (-\cos \alpha) = (4)(5) \left(-\frac{4}{5}\right) = -16$
- $\mathbf{a} \times \mathbf{b} = ab \sin \gamma = (3)(4) 1 = 12$
- $\mathbf{a} \times \mathbf{c} = ac \sin \beta = (3)(5) \frac{4}{5} = 12$
- $\mathbf{b} \times \mathbf{c} = bc \sin \alpha = (4)(5) \frac{3}{5} = 12$

Cara lain yang lebih sederhana untuk mengingat rumus perkalian silang dua vektor **A** dan **B**, yaitu menggunakan metode determinan. Untuk determinan matriks  $3 \times 3$ , dapat digunakan metode berikut.



$$\begin{aligned} \mathbf{A} \times \mathbf{B} &= \mathbf{i} A_y B_z + \mathbf{j} A_z B_x + \mathbf{k} A_x B_y - \mathbf{k} A_y B_x - \mathbf{i} A_z B_y - \mathbf{j} A_x B_z \\ &= (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k} \end{aligned}$$

### Mari Mencari Tahu



Dalam Fisika, banyak konsep yang erat kaitannya dengan perkalian vektor titik dan silang. Carilah konsep-konsep Fisika apa saja yang memerlukan pemahaman perkalian vektor.

### Kata Kunci

- perkalian titik vektor
- perkalian silang vektor
- sudut apit
- komutatif
- metode determinan

## Tes Kompetensi Subbab B

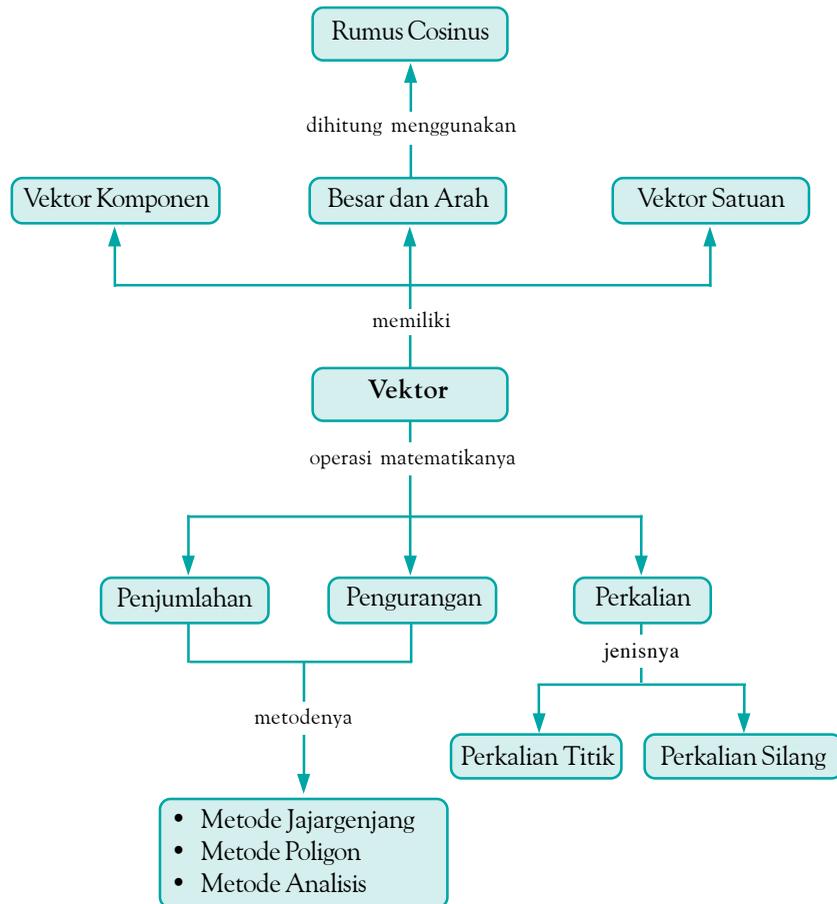
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Tentukan hasil perkalian titik antara dua vektor satuan  $\mathbf{A} = \mathbf{i} + 2\mathbf{j} + 3\mathbf{k}$  dan  $\mathbf{B} = 3\mathbf{i} + 2\mathbf{j} - \mathbf{k}$
- Hitunglah hasil perkalian silang antara dua vektor berikut.
  - $\mathbf{A} = (2\mathbf{i} + \mathbf{k})$  dan  $\mathbf{B} = (4\mathbf{i} + 5\mathbf{j})$
  - $\mathbf{F}_1 = \mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}$  dan  $\mathbf{F}_2 = 3\mathbf{i} + \mathbf{j} + 2\mathbf{k}$
- Diketahui 3 buah vektor
 
$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 4\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - \mathbf{k} \\ \mathbf{b} &= -\mathbf{i} - 2\mathbf{j} + 3\mathbf{k} \\ \mathbf{c} &= 3\mathbf{i} - 2\mathbf{j} - 3\mathbf{k} \end{aligned}$$
 Hitunglah besar vektor **r** dan sudut antara vektor-vektor tersebut dengan sumbu-*z*, jika  $\mathbf{r} = 2\mathbf{a} + \mathbf{b} - \mathbf{c}$ . Hitung juga sudut antara vektor **a** dan **b**.
- Diketahui vektor berikut.
  - $\mathbf{x} = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j}$
  - $\mathbf{y} = 3\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$
  - $\mathbf{z} = \mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}$
 Hitunglah:
  - $\mathbf{x} \cdot \mathbf{x}$ ;
  - $(\mathbf{x} + \mathbf{y}) \cdot \mathbf{z}$ ;
  - $\mathbf{x} \times \mathbf{x}$
  - $(\mathbf{x} + \mathbf{y}) \times \mathbf{z}$
- Bagaimana cara mengetahui bahwa dua buah vektor saling tegak lurus? Gunakan perkalian silang vektor untuk membuktikannya.

## Rangkuman

- Besaran vektor adalah besaran yang memiliki besar dan arah. Contohnya, kecepatan, gaya, percepatan, dan perpindahan.
- Besaran skalar adalah besaran yang memiliki besar dan tidak berarah. Contohnya, panjang, suhu, jarak, dan massa.
- Vektor dapat dijumlahkan, dikurangkan, dan dikalikan dengan vektor lain.
- Penjumlahan selisih vektor dapat menggunakan metode jajargenjang, poligon, dan metode analisis.
- Sebuah vektor **F** dapat diuraikan ke dalam komponennya, misalnya  $F_x$  dan  $F_y$  pada bidang koordinat kartesian.  $F_x$  adalah komponen vektor **F** pada sumbu-*x* dan  $F_y$  adalah komponen vektor **F** pada sumbu-*y*.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda telah memperoleh pengetahuan baru, di antaranya adalah Anda dapat melakukan penjumlahan vektor. Pengetahuan apalagi yang Anda peroleh setelah

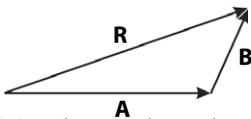
mempelajari bab ini? Apakah Anda mendapat kesulitan dalam memahami materi pada bab ini? Jika ada, diskusikan kesulitan tersebut dengan teman Anda atau tanyakan kepada guru.

## Tes Kompetensi Bab 2

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

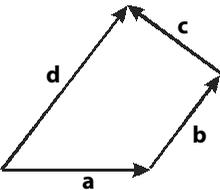
- Pernyataan yang benar tentang besaran vektor dan besaran skalar adalah ....
  - sama-sama memiliki besar dan arah
  - sama-sama memiliki besar saja
  - besaran skalar memiliki besar dan arah, sedangkan besaran vektor memiliki arah saja
  - besaran vektor memiliki besar saja, sedangkan besaran skalar memiliki arah saja
  - besaran vektor memiliki besar dan arah, sedangkan besaran skalar memiliki besar saja

- Besaran yang merupakan besaran vektor adalah ....
  - suhu
  - tahanan jenis
  - ketinggian
  - volume
  - usaha
- Metode yang bukan metode untuk menjumlahkan dua buah vektor atau lebih adalah ....
  - metode jajargenjang
  - metode poligon
  - metode analisis
  - metode lingkaran
  - metode segi banyak
- Perhatikan gambar berikut



Metode yang digunakan untuk menjumlahkan vektor **A** dan **B** adalah ....

- metode jajargenjang
  - metode analisis
  - metode poligon
  - metode persegi
  - metode lingkaran
- Perhatikan gambar berikut.



Persamaan yang benar dari gambar tersebut adalah ....

- $\mathbf{a} = \mathbf{b} + \mathbf{c} + \mathbf{d}$
- $\mathbf{b} = \mathbf{c} + \mathbf{d} + \mathbf{a}$
- $\mathbf{c} = \mathbf{d} + \mathbf{a} + \mathbf{b}$
- $\mathbf{d} = \mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{c}$
- $\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{c} + \mathbf{d}$

- Diketahui dua buah vektor:

$$\mathbf{A} = 3\mathbf{i} - 6\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 5\mathbf{k}$$

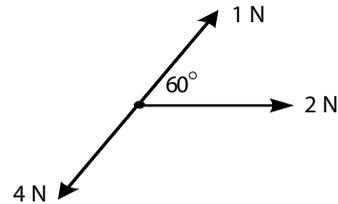
Penjumlahan vektor **A** dan vektor **B** adalah ....

- $3\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$
- $\mathbf{i} - 6\mathbf{j} - 5\mathbf{k}$
- $4\mathbf{i} - 3\mathbf{j} - 3\mathbf{k}$
- $2\mathbf{i} - 9\mathbf{j} + 7\mathbf{k}$
- $4\mathbf{i} - 9\mathbf{j} - 3\mathbf{k}$

- Dua buah vektor **D** dan **E** dijumlahkan. Jika besar vektor **D** dan **E** masing-masing 4 satuan dan 5 satuan serta sudut apitnya  $60^\circ$ , vektor resultan dari penjumlahan tersebut adalah ... satuan.

- $\sqrt{41}$
- $\sqrt{51}$
- $\sqrt{61}$
- $\sqrt{71}$
- $\sqrt{81}$

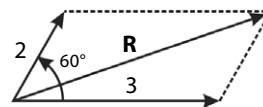
- Sebuah benda diberi 3 buah gaya. Besar dan arah setiap gaya digambarkan sebagai berikut.



Besarnya resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut adalah ....

- 1
- $\sqrt{2}$
- $\sqrt{3}$
- 2
- $\sqrt{5}$

- Perhatikan gambar berikut.



Besarnya vektor **R** adalah ....

- $\sqrt{17}$
- $\sqrt{18}$
- $\sqrt{19}$
- $\sqrt{20}$
- $\sqrt{21}$

- Vektor **a** besarnya 4 satuan dan membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap sumbu-*x* positif. Vektor **b** besarnya 2 satuan dan membentuk sudut  $-120^\circ$  terhadap sumbu-*x* positif. Besarnya vektor **a** dikurangi vektor **b** adalah ....

- 2
- 4
- 6
- 8
- 10

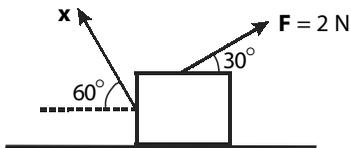
- Sebuah vektor **S** diproyeksikan terhadap sumbu-*x* bernilai 6 satuan dan terhadap sumbu-*y* bernilai 8 satuan. Besarnya vektor **S** tersebut adalah ....

- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

- Vektor **x** besarnya 3 satuan dan membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu-*x* positif. Adapun vektor **y** besarnya 3 satuan dan berarah  $-45^\circ$  terhadap sumbu-*x* positif. Jika kedua vektor tersebut dijumlahkan, sudut yang dibentuk resultan vektor tersebut terhadap sumbu-*x* positif adalah ....

- $-30^\circ$
- $0^\circ$
- $30^\circ$
- $45^\circ$
- $60^\circ$

13. Sebuah vektor gaya  $F$  nilainya 5 N dan membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu- $x$  positif. Nilai komponen-komponen vektor gaya  $F$  terhadap sumbu- $x$  dan sumbu- $y$  adalah ....
- $\frac{5}{2}\sqrt{2}$  N dan  $\frac{5}{2}\sqrt{2}$  N
  - $5\sqrt{2}$  N dan  $5\sqrt{2}$  N
  - $5\sqrt{3}$  N dan  $5\sqrt{3}$  N
  - $5\sqrt{3}$  N dan 5 N
  - 5 N dan  $5\sqrt{3}$  N
14. Perhatikan gambar berikut.



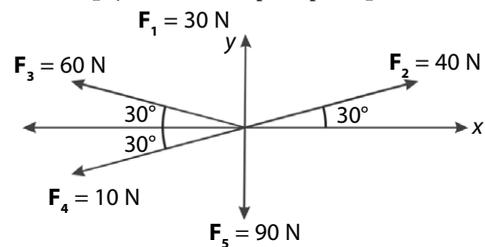
- Supaya benda tetap diam, besar gaya  $x$  adalah ....
- 2
  - $2\sqrt{2}$
  - $2\sqrt{3}$
  - 4
  - $2\sqrt{5}$
15. Diketahui 2 buah vektor sebagai berikut.  
 $A = 2i + 3j$   
 $B = 4i + 6j + 8k$   
 Vektor  $C$  merupakan vektor hasil penjumlahan di vektor  $A$  dan vektor  $B$ . Besar vektor  $C$  adalah ....
- $\sqrt{178}$
  - $\sqrt{179}$
  - $\sqrt{180}$
  - $\sqrt{181}$
  - $\sqrt{182}$
16. Diketahui 2 buah vektor sebagai berikut.  
 $P = i + j + k$   
 $Q = 2i + j + 3k$   
 Perkalian silang antara vektor  $P$  dan vektor  $Q$  adalah ....
- $2i - j - k$
  - $2i + j + k$
  - $2i + j - k$
  - $2i - j + k$
  - $i - 2j + k$

**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.**

- Berilah contoh besaran Fisika yang termasuk besaran vektor dan besaran skalar.
- Gambarkan sebuah vektor yang besarnya 6 satuan dan membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu- $y$  negatif (-).
- Diketahui sudut antara dua buah vektor  $A$  dan  $B$  adalah  $45^\circ$ . Jika resultan penjumlahan kedua vektor tersebut adalah 10 satuan dan vektor  $A$  nilainya 3 satuan, hitunglah besarnya vektor  $B$ .
- Seseorang menyeberangi sungai yang lebar menggunakan sampan dengan kecepatan 20 km/jam ke arah selatan. Jika kecepatan arus sungai 10 km/jam ke barat, hitung resultan kecepatan dan arah sampan tersebut.
- Hitunglah nilai dan arah resultan dari tiga vektor berikut.  
 $P = 10$  satuan;  $\alpha_1 = 30^\circ$ ;  $Q = 5$  satuan;  $\alpha_2 = 45^\circ$   
 $R = 7$  satuan;  $\alpha_3 = 60^\circ$   
 $\alpha$  = sudut yang dibentuk dengan sumbu- $x$  positif.

17. Diketahui vektor  $x = j + k$  dan vektor  $y = i + j$ . Vektor  $z$  merupakan vektor hasil perkalian antara vektor  $x$  dan vektor  $y$ . Besarnya vektor  $z$  adalah ....
- 1
  - $\sqrt{2}$
  - $\sqrt{3}$
  - 2
  - $\sqrt{5}$
18. Dari pernyataan-pernyataan berikut, pernyataan yang benar adalah ....
- penjumlahan 2 buah vektor akan menghasilkan sebuah konstanta
  - penjumlahan 2 buah vektor akan menghasilkan sebuah vektor yang nilainya selalu lebih besar daripada vektor pertama
  - perkalian silang dua buah vektor menghasilkan konstanta
  - perkalian titik dua buah vektor menghasilkan sebuah vektor
  - perkalian titik dua buah vektor menghasilkan sebuah konstanta
19.  $A = i + 3j + 5k$  dan  $B = 3i + j + 5k$  maka  $A \cdot B = \dots$
- 27
  - 28
  - 29
  - 30
  - 40
20. Diketahui 3 buah vektor:  
 $A = i + j + 2k$   
 $B = 3i + j + k$   
 $C = 3i + 2j + k$   
 Nilai  $(A \times B) \cdot C$  adalah ....
- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5

6. Lima buah gaya tersusun seperti pada gambar berikut.



Tentukanlah:

- harga resultan dari gaya-gaya itu;
- arah resultan terhadap sumbu- $x$  positif.

# Bab 3



Sumber: [www.google-images.com](http://www.google-images.com)

Pengaturan kecepatan yang tepat pada sebuah kereta api akan mengefektifkan waktu tempuh yang diharapkan.

## Gerak Lurus

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep dan prinsip dasar kinematika dan dinamika benda titik.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menganalisis besaran Fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan

Pernahkah Anda bepergian menggunakan alat transportasi kereta api? Sesuailah waktu keberangkatan dan kedatangan kereta api tersebut dengan jadwalnya?

Kereta api merupakan alat transportasi yang lintasan gerakannya relatif lurus. Agar dapat bergerak dari satu stasiun ke stasiun lainnya dengan tepat waktu, di antaranya masinis harus memperhitungkan perubahan kelajuan gerak kereta api yang dikemudikannya setiap waktu.

Salah satu persaingan negara-negara maju di bidang transportasi adalah menciptakan teknologi kereta api yang nyaman dan berkecepatan tinggi agar dapat mengefektifkan waktu. Tahukah Anda, bagaimana hubungan antara kecepatan, waktu, perubahan kecepatan, dan jarak tempuh? Untuk menjawabnya, Anda harus mempelajari bab ini dengan saksama.

- A. Gerak, Jarak, dan Perpindahan**
- B. Kelajuan dan Kecepatan**
- C. Percepatan**
- D. Gerak Lurus Beraturan**
- E. Gerak Lurus Berubah Beraturan**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Gerak Lurus, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apakah perbedaan antara jarak dan perpindahan?
2. Apa yang dimaksud dengan kecepatan?
3. Apa yang dimaksud dengan kelajuan?
4. Apa yang Anda ketahui tentang gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan?
5. Jika Anda menjatuhkan sebuah bola dan selembar kertas dari ketinggian yang sama secara bersamaan dan mengabaikan gesekan udara, kedua benda akan tiba di tanah secara bersama-sama. Setujukah Anda dengan pernyataan tersebut? Kemukakan alasannya.



Sumber: [www.portalbrasil.com](http://www.portalbrasil.com)

**Gambar 3.1**

Pesawat bergerak terhadap landasan. Dapatkah pesawat tersebut dikatakan diam?

## A. Gerak, Jarak, dan Perpindahan

Ketika Anda berjalan dari suatu tempat ke tempat lain, berarti Anda melakukan perpindahan. Demikian juga gerak benda-benda ataupun hewan, seperti ikan, burung, sepeda, kereta api, dan pesawat terbang merupakan beberapa contoh gerak dalam kehidupan sehari-hari. Jadi, suatu benda dikatakan bergerak jika benda tersebut mengalami perubahan kedudukan terhadap acuan tertentu. Misalnya, sebuah pesawat sedang terbang meninggalkan landasan. Landasan maupun pesawat dapat dijadikan sebagai titik acuan.

Jika landasan dijadikan sebagai acuan, pesawat dikatakan telah bergerak terhadap landasan karena kedudukan pesawat terhadap landasan setiap waktu selalu berubah, yaitu semakin jauh dari landasan. Akan tetapi, jika pesawat dijadikan acuan terhadap pilot yang mengemudikannya, pilot dikatakan tidak bergerak karena kedudukan pilot terhadap pesawat yang dikemudikan setiap waktu tidak berubah. Titik-titik yang dilalui pesawat disebut lintasan. Lintasan pesawat sering terlihat dari asap yang ditinggalkannya.

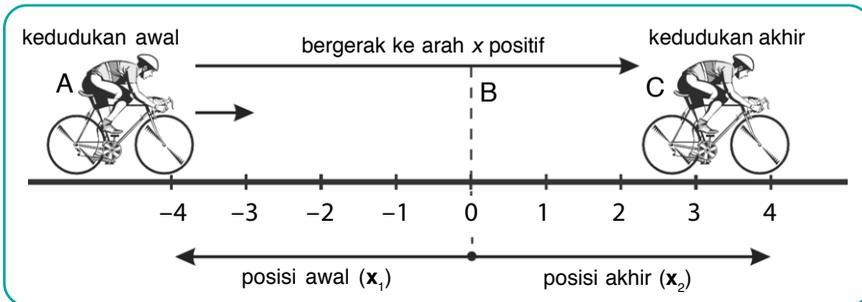
Jadi, jika suatu benda berubah kedudukannya dalam selang waktu tertentu terhadap titik acuan, benda tersebut dikatakan sedang bergerak. Suatu benda disebut bergerak lurus jika lintasannya berupa garis lurus. Ilmu yang mempelajari gerak tanpa memerhatikan penyebabnya disebut kinematika, sedangkan ilmu yang mempelajari gerak dengan memerhatikan atau melibatkan gaya sebagai penyebab benda berpindah disebut dinamika.

Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu. Dalam ilmu Fisika, jarak dan panjang lintasan memiliki pengertian yang sama. Panjang lintasan dan jarak keduanya merupakan besaran skalar, yaitu besaran yang hanya memiliki besar saja. Sebagai contoh, Anda berangkat dari rumah ke sekolah. Pada lintasan yang sama, jarak yang ditempuh dari rumah ke sekolah ketika Anda berangkat adalah sama dengan jarak yang ditempuh dari sekolah ke rumah ketika Anda pulang. Oleh karena jarak tidak memiliki arah, jarak selalu bernilai positif. Dalam hal ini, jarak termasuk besaran skalar.

Perpindahan adalah perubahan kedudukan suatu benda setelah bergerak selama selang waktu tertentu. Perpindahan merupakan besaran vektor sehingga selain memiliki besar juga memiliki arah. Oleh karena itu, perpindahan dapat berharga positif atau negatif.

### 1. Perpindahan Sepanjang Sumbu- $x$

Pada **Gambar 3.2**, seorang pengendara sepeda bergerak sepanjang sumbu- $x$  positif dengan posisi awal di titik A (titik  $-4$  m). Setelah sampai di C (titik  $+4$  m), pengendara sepeda itu berhenti.



**Gambar 3.2**  
Perpindahan sepanjang sumbu-x positif.

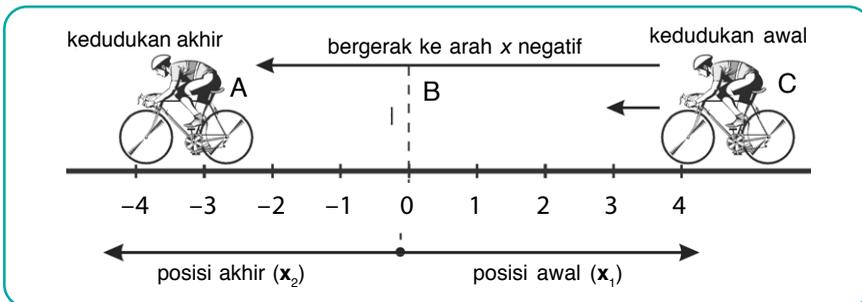
Posisi awal di titik A (pada titik  $x_1 = -4$  m) dan posisi akhir di titik C (pada titik  $x_2 = +4$  m). Perpindahan  $\Delta x$  dari titik A ke C melewati titik B adalah

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$= +4 \text{ m} - (-4 \text{ m}) = 8 \text{ m}$$

Dapat dikatakan bahwa pengendara sepeda telah berpindah dari titik A ke titik C (ke kanan) sejauh 8 m. Jarak yang ditempuh sepeda dari titik A ke titik C adalah 8 m.

Perpindahan sepanjang sumbu-x negatif selalu memiliki arah ke kiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Perpindahan merupakan besaran vektor, dan jarak merupakan besaran skalar.

**Gambar 3.3**  
Perpindahan sepanjang sumbu-x negatif.

Posisi awal sepeda di titik C (titik  $+4$  m), kemudian meluncur dan berhenti di titik A (titik  $-4$  m). Perpindahan  $\Delta x$  dari titik C ke titik A dengan melewati titik B adalah

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$= -4 \text{ m} - (+4 \text{ m}) = -8 \text{ m}$$

Dapat dikatakan bahwa pengendara sepeda telah berpindah dari titik C ke titik A (ke kiri) sejauh 8 m. Jarak yang ditempuh sepeda dari titik C ke titik A adalah 8 m.

Dari penjelasan tersebut, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

- Jarak merupakan panjang lintasan gerak sebuah benda yang tidak memiliki arah dan selalu bertanda positif.
- Perpindahan hanya ditentukan oleh kedudukan awal dan kedudukan akhir benda.
- Perpindahan dapat bertanda (+) atau negatif (-) bergantung pada arah perpindahan itu.

## Tantangan untuk Anda

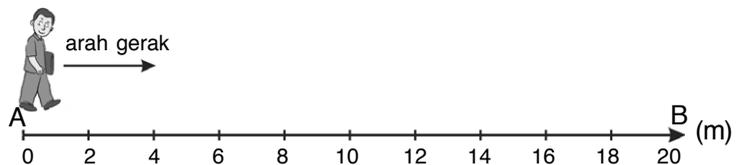
Sebutkan peristiwa-peristiwa di sekitar Anda yang melibatkan konsep perpindahan dan jarak.

### Contoh 3.1

Perhatikan gambar di samping.

Seseorang berjalan dari titik A menuju titik B. Kemudian, ia kembali ke tempat semula, yaitu titik A. Tentukanlah:

- jarak (s) yang ditempuh orang itu;
- perpindahan  $\Delta x$  orang tersebut.



Jawab:

- a.  $s = AB + BA = 20 \text{ m} + 20 \text{ m} = 40 \text{ m}$   
Jadi, jarak yang ditempuh orang tersebut adalah 40 m.
- b.  $\Delta x = AB + BA$   
besarnya adalah  
 $\Delta x = 20 \text{ m} + (-20 \text{ m}) = 0 \text{ m}$   
Jadi, orang tersebut tidak mengalami perpindahan posisi.

## Kata Kunci

- jarak
- perpindahan

## Contoh 3.2

Sebuah bola tenis dari kedudukan awal di titik A menggelinding sepanjang lintasan hingga ke titik B yang berjarak 6 m, kemudian jatuh dari ketinggian 8 m sampai di titik C dan berhenti, seperti pada gambar berikut.

Tentukanlah:

- a. jarak ( $s$ ) yang ditempuh bola;  
b. besar perpindahan bola.

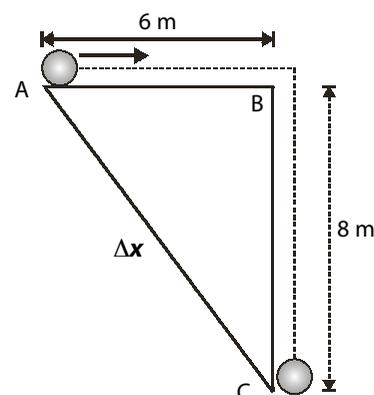
Jawab:

- a.  $s = AB + BC$   
 $= 6 \text{ m} + 8 \text{ m}$   
 $= 14 \text{ m}$

Jadi, jarak yang ditempuh bola sepanjang lintasan ABC adalah 14 m.

- b.  $\Delta x = AB + BC$   
 $\Delta x = \sqrt{AB^2 + BC^2}$   
 $= \sqrt{(6)^2 + (8)^2} = 10 \text{ m}$

Jadi, perpindahan bola dari awal, di titik A, sampai kedudukan akhir di titik C adalah 10 m.



## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Jelaskan perbedaan antara jarak dan perpindahan.
2. Empat orang siswa berjalan di lintasan seperti pada gambar berikut.  

Tentukan perpindahan setiap siswa jika:

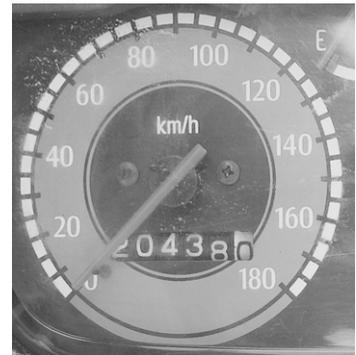
  - a. Iskandar berjalan dari A ke D;
  - b. Joko berjalan dari C ke A;
  - c. Nelli berjalan dari E ke C;
  - d. Neneng berjalan dari B ke E.
3. Lapangan sepakbola berukuran panjang 100 m dan lebar 60 m. Sebelum bermain bola, Rulli melakukan pemanasan dengan berlari mengitari lapangan sebanyak 3 putaran. Hitung jarak dan perpindahan yang telah ditempuhnya.
4. Seekor katak mula-mula berada pada koordinat  $(-3, 1) \text{ m}$ , kemudian melompat hingga posisinya memiliki koordinat  $(2, 13) \text{ m}$ . Tentukan jarak dan perpindahan katak tersebut.

## B. Kelajuan dan Kecepatan

Sering terjadi kekeliruan dalam memahami pengertian kecepatan dan kelajuan. Dalam ilmu Fisika, kecepatan dan kelajuan memiliki makna berbeda.

Kata “kelajuan” dalam bahasa Inggris adalah *speed*, sedangkan kecepatan adalah *velocity*. Kecepatan selalu berhubungan dengan perpindahan. Oleh karena perpindahan merupakan besaran vektor, kecepatan dapat bernilai positif atau negatif, bergantung pada arah perpindahan.

Bagaimana dengan kelajuan? Kelajuan tidak berhubungan dengan perpindahan, melainkan berhubungan dengan jarak. Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur kelajuan adalah *speedometer* pada kendaraan bermotor, seperti **Gambar 3.4**. *Speedometer* menunjukkan kelajuan motor pada suatu waktu. Oleh karena jarak merupakan besaran skalar maka, kelajuan merupakan besaran skalar.



**Gambar 3.4**  
Alat ukur kelajuan (*speedometer*) pada sepeda motor.

### 1. Kelajuan Rata-Rata (Besaran Kecepatan Rata-Rata)

Pada umumnya, sebuah kendaraan yang sedang bergerak mengalami kelajuan yang berbeda setiap saat. Hal ini bergantung pada tingkat kemacetan di jalan raya. Anda akan merasa nyaman ketika naik kendaraan di jalan bebas hambatan. Bandingkan ketika Anda naik kendaraan di dalam kota yang sempit dan ramai. Jalan sempit dan ramai menyebabkan kelajuan kendaraan terganggu. Kadang-kadang, kelajuan kendaran tinggi, rendah, bahkan berhenti misalnya saat terhalang pintu lintasan kereta api.

Misalnya, dalam perjalanan tersebut, Anda menempuh jarak 120 km dalam waktu 2 jam maka kelajuan rata-ratanya adalah

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{waktu tempuh}} = \frac{120 \text{ km}}{2 \text{ jam}} = 60 \text{ km/jam}$$

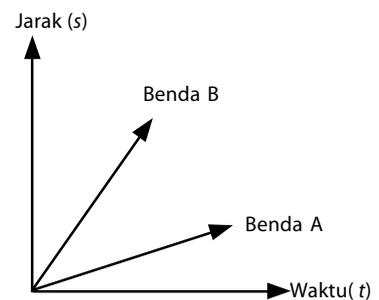
Kelajuan rata-rata adalah jarak total yang ditempuh setiap selang waktu tertentu. Jika kelajuan rata-rata dilambangkan dengan  $\bar{v}$ , jarak yang ditempuh dilambangkan dengan  $s$ , dan waktu tempuh  $t$ , secara matematis persamaannya dapat ditulis

$$\bar{v} = \frac{s}{t} \quad (3-1)$$

Kelajuan rata-rata termasuk besaran skalar karena tidak bergantung pada arah perpindahan dari sebuah benda dan hanya bergantung pada jarak yang ditempuhnya.

**Gambar 3.5** adalah grafik jarak terhadap waktu ( $s - t$ ) dua benda yang bergerak dengan kecepatan konstan.

Dengan melihat kemiringan garis, Anda dapat menentukan bahwa benda B lebih cepat daripada benda A.



**Gambar 3.5**  
Grafik jarak  $s$  terhadap waktu  $t$  dari benda A dan benda B.

### Mari Mencari Tahu



Kadang-kadang, Anda sulit membayangkan kecepatan sebuah benda yang bergerak. Buatlah daftar yang terdiri atas minimal 10 benda yang bergerak serta tuliskan kecepatannya. Sebagai contoh, kecepatan mobil di jalan tol dapat mencapai 80 km/jam.

### Contoh 3.3

Seorang atlet berlari menempuh jarak 5.000 m. Waktu yang dibutuhkannya 50 menit. Berapa kelajuan rata-rata atlet tersebut?

**Jawab:**

Diketahui:

$$s = 5.000 \text{ m}; \quad t = 50 \text{ menit.}$$

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{5.000 \text{ m}}{50 \text{ menit}} = 100 \text{ m/menit} = 1,7 \text{ m/s}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh laju rata-rata atlet adalah 1,7 m/s. Hal ini tidak berarti bahwa atlet tersebut selama berlari selalu memiliki kelajuan sebesar 1,7 m/s.

### Contoh 3.4

Azizah pergi ke sekolah mengendarai sepeda dengan kelajuan tetap 20 m/s selama 5 s pertama. Lima belas sekon berikutnya, kelajuan sepedanya 10 m/s hingga tiba di sekolah. Tentukanlah:

- jarak yang ditempuh Azizah dari rumah ke sekolah;
- besar kecepatan rata-rata selama perjalanan.

**Jawab:**

Diketahui:

$$v_1 = 20 \text{ m/s}; t_1 = 5 \text{ s}$$

$$v_2 = 10 \text{ m/s}; t_2 = 15 \text{ s}$$

- Jarak yang ditempuh selama selang waktu  $t_1$  dan  $t_2$ :

$$s_1 = v_1 t_1 = (20 \text{ m/s})(5 \text{ s}) = 100 \text{ m}$$

$$s_2 = v_2 t_2 = (10 \text{ m/s})(15 \text{ s}) = 150 \text{ m}$$

$$\text{Jarak dari rumah ke sekolah} = s_1 + s_2 = 100 + 150 = 250 \text{ m}$$

Jadi, jarak yang ditempuh selama selang waktu  $t_1$  dan  $t_2$  adalah 250 m

- $\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{100 \text{ m} + 150 \text{ m}}{5 \text{ s} + 15 \text{ s}} = 12,5 \text{ m/s}$

Jadi, kelajuan rata-rata selama perjalanan adalah 12,5 m/s.



### Tantangan untuk Anda

Dengan mengendarai mobil, Melisa menempuh jarak sejauh  $z$  km dengan kecepatan  $x$  km/jam. Jika Melisa pulang kembali dengan menempuh jarak yang sama dengan kecepatan  $y$  km/jam, berapakah kecepatan pulang dan pergi Melisa?

## 2. Kelajuan Sesaat (Besar Kecepatan Sesaat)

Kelajuan rata-rata berbeda dengan kelajuan sesaat. Kelajuan rata-rata sebuah benda tidak dilihat dari kedudukan benda tersebut berada, tetapi ditinjau dari seluruh perjalanan benda tersebut dalam selang waktu tertentu.

Kelajuan sesaat bergantung pada kedudukan benda saat itu. Misalnya, dalam perjalanan Banjarmasin–Martapura, kelajuan sebuah bus sepanjang lintasan tidak selalu sama. Pada saat melalui jalan raya, kelajuan bus dapat melebihi 60 km/jam. Ketika menuju tujuan (hendak berhenti), bus bergerak dengan kelajuan yang lebih kecil. Bahkan, saat istirahat, kelajuan bus tersebut sama dengan nol. Kelajuan sesaat sebuah kendaraan dapat dilihat pada *speedometer* saat itu. Perubahan jarum mencerminkan perubahan kelajuan dari sebuah benda.

Untuk mengetahui kelajuan kendaraan pada suatu saat, digunakan nilai limit dari kelajuan rata-rata pada selang waktu yang sangat kecil, yaitu mendekati nol.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (3-2)$$

## 3. Kecepatan Rata-Rata

Kecepatan rata-rata suatu benda bergantung pada besar dan arah perpindahan serta selang waktu yang dibutuhkan. Sebuah kendaraan yang bergerak ke barat atau ke timur dengan kelajuan yang sama tidak berarti memiliki kecepatan yang sama pula karena kecepatan sangat bergantung pada arah perpindahan. Jadi, kecepatan kendaraan pada contoh tersebut berbeda karena arah perpindahannya berbeda.

Oleh karena perpindahan merupakan besaran vektor, kecepatan rata-rata juga termasuk besaran vektor. Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{selang waktu}}$$

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

(3-3)



### Tantangan untuk Anda

Seekor semut berjalan di lintasan lurus yang dianggap sebagai sumbu- $x$ .  
 Persamaan perpindahan semut pada sumbu- $x$  adalah  $x = 4t^2 + 10t - 2$ , dengan  $x$  dalam mm dan  $t$  dalam sekon.  
 Hitung kecepatan rata-rata semut tersebut pada selang waktu antara  $t = 1$  s dan  $t = 2$  s.

Keterangan:

$\Delta x$  = perpindahan (m)

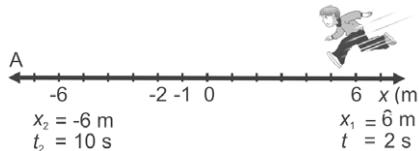
$\Delta t$  = selang waktu (s)

$\bar{v}$  = kecepatan rata-rata (m/s)

### Contoh 3.5

Teuku berlari sepanjang lintasan seperti pada gambar berikut.

Setelah berlari 2 s, kedudukan Teuku adalah  $x_1 = 6$  m, dan setelah 10 s kedudukannya menjadi  $x_2 = -6$  m.



Hitunglah perpindahan  $\Delta x$  dan kecepatan rata-rata lari Teuku.

Jawab:

- $\Delta x = x_2 - x_1 = (-6 \text{ m}) - (6 \text{ m}) = -12 \text{ m}$   
 Jadi, perpindahan yang dicapai Teuku adalah  $-12 \text{ m}$ .
- $v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(-6 \text{ m}) - (6 \text{ m})}{10 \text{ s} - 2 \text{ s}} = -1,5 \text{ m/s}$   
 Jadi, kecepatan rata-rata lari Teuku adalah  $-1,5 \text{ m/s}$ .



### Kata Kunci

- speed
- velocity
- kelajuan rata-rata

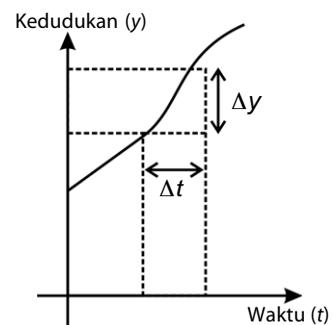
### Mari Mencari Tahu



Pada Contoh 3.5, perpindahan dan kecepatan rata-rata bernilai negatif (-). Diskusikan dengan teman Anda makna tanda tersebut.

### 4. Kecepatan Sesaat

Sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan tetap sulit dijumpai karena pada umumnya kecepatan gerak benda selalu berubah. Kecepatan sesaat adalah kecepatan gerak sebuah benda di suatu titik pada lintasannya pada saat tertentu. Untuk mengetahui kecepatan sesaat sebuah benda yang bergerak, perhatikan grafik kedudukan terhadap waktu (Gambar 3.6). Jika perpindahan kedudukan sebuah benda dalam selang waktu yang sangat kecil, yaitu  $\Delta t$ , kecepatan sesaat partikel adalah sebagai berikut.



Gambar 3.6 Grafik kecepatan sesaat

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

(3-4)

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Siregar berlari menempuh jarak 1 putaran sepanjang 1.600 m dalam waktu 192 s. Tentukan kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata Siregar.
- Yasril bergerak sepanjang sumbu- $x$ . Setelah bergerak selama  $t_1 = 4$  s, kedudukan partikel  $x_1 = 20$  m. Setelah bergerak selama  $t_2 = 6$  s, kedudukan partikel  $x_2 = 6$  m. Hitung perpindahan dan kecepatan rata-rata pada selang waktu tersebut.
- Seekor kelinci berjalan sepanjang garis lurus dengan persamaan  $x = 4t^2 - 6t - 5$  dengan rata-rata  $x$  dalam m dan  $t$  dalam s. Hitung kecepatan rata-rata kelinci pada selang waktu:
  - antara  $t = 1$  s dan  $t = 2$  s;
  - antara  $t = 3$  s dan  $t = 4$  s.



## C. Percepatan

Masih ingatkah Anda pengertian percepatan? Lakukan kegiatan berikut ini.



### Aktivitas Fisika 3.1

#### Percepatan Benda Jatuh Bebas

##### Tujuan Percobaan

Memahami gerak benda yang mengalami percepatan.

##### Alat-Alat Percobaan

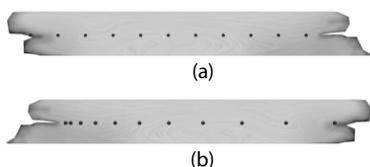
1. Pewaktu ketik (*ticker timer*)
2. Pita pewaktu ketik
3. Benda (bola, penghapus papan tulis, atau bolpoin)

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susun alat seperti pada gambar berikut .



2. Nyalakan pewaktu ketik.
3. Lepaskan benda agar terjatuh menuju lantai. Upayakan agar pita tidak terhambat pewaktu ketik
4. Bagaimana jejak pewaktu ketik pada pita? Apa yang menyebabkan benda jatuh?
5. Kesimpulan apa yang Anda peroleh dari percobaan tersebut?



**Gambar 3.7**

Hasil ketikan pada pewaktu ketik:  
(a) untuk gerak lurus beraturan (kecepatan tetap);  
(b) untuk gerak lurus berubah beraturan (percepatan tetap).

Berdasarkan **Aktivitas Fisika 3.1**, dapat Anda amati bahwa pada setiap selang waktu yang sama terdapat perubahan jarak yang ditempuh. Contoh hasil rekaman pewaktu ketik dapat dilihat pada **Gambar 3.7**. **Gambar 3.7(a)** menunjukkan gerakan pewaktu ketik yang tetap atau bergerak dengan kecepatan tetap. **Gambar 3.7(b)** menunjukkan gerak yang mengalami perubahan kecepatan atau percepatan.

Percepatan dapat berharga positif atau negatif. Percepatan yang berharga negatif disebut *perlambatan*, misalnya pada gerak vertikal ke atas dan pada pengereman mobil yang sedang bergerak. Percepatan (*acceleration = a*) secara matematis dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$\text{Percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{selang waktu}}$$

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

(3-5)

Keterangan:

$a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$\Delta v$  = kecepatan ( $\text{m/s}$ )

$\Delta t$  = selang waktu ( $\text{s}$ )

#### 1. Percepatan Rata-Rata

Percepatan rata-rata adalah hasil bagi perubahan kecepatan dengan perubahan waktu.

$$\text{Percepatan rata-rata} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{selang waktu}}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3-6)$$

Keterangan:

$\Delta v$  = perubahan kecepatan

$\bar{a}$  = percepatan rata-rata

$\Delta t$  = selang waktu

Untuk melihat percepatan sebuah benda, dapat digunakan sebuah troli yang dihubungkan oleh tali dengan beban  $w$  melalui sebuah katrol tetap. Perhatikan **Gambar 3.8**. Bagaimana gerak troli jika beban dilepaskan?

Troli terletak di atas bidang datar licin dengan posisi awal dalam keadaan diam. Setelah beban dilepaskan, beban  $w$  akan menarik troli melalui tali secara perlahan. Gaya tarik tali menyebabkan kereta mulai bergerak dan semakin lama semakin cepat. Dalam hal ini, terjadi perubahan kecepatan setiap selang waktu tertentu secara beraturan. Perubahan kecepatan dibagi selang waktu disebut percepatan.

Hubungan antara perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu secara grafis berupa garis lurus (linear), seperti pada **Gambar 3.9**. Gambar tersebut memperlihatkan grafik kecepatan terhadap waktu dari troli yang bergerak. Mula-mula, troli diam ( $v = 0$ ). Kemudian, bergerak dengan kecepatan yang berubah seiring waktu. Perhatikan **Gambar 3.9**. Ketika  $t_1$ , troli dalam keadaan diam. Setelah bergerak selama  $(t_2 - t_1)s$ , besar kecepatan troli menjadi  $v_2$ . Selama selang waktu tersebut, besar kecepatan telah berubah dari  $v_1$  ke  $v_2$ . Oleh karena besar kecepatan  $v_2$  lebih besar daripada  $v_1$ , troli bergerak dipercepat. Ketika  $t_3$ , kecepatan troli menjadi  $v_3$ . Dari gambar, terlihat bahwa selama pergerakannya dari A ke B, kemudian ke C, besar kecepatan troli terus meningkat. Grafik tersebut berupa garis lurus. Bentuk grafik seperti ini bermakna bahwa perubahan besar kecepatan ( $\Delta v$ ) troli selama selang waktu ( $\Delta t$ ) adalah konstan. Telah disebutkan bahwa percepatan ( $a$ ) merupakan perubahan kecepatan ( $\Delta v$ ) pada setiap selang waktu ( $\Delta t$ ). Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut.

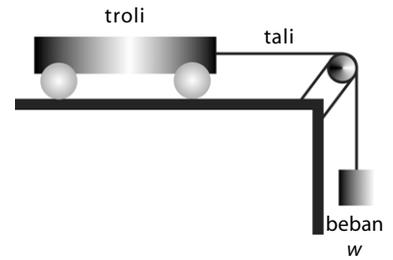
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2} \quad (3-7)$$

Keterangan:

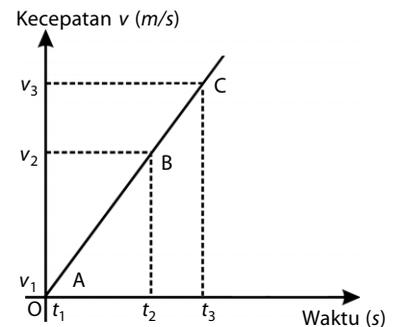
$\bar{a}$  = percepatan rata-rata ( $m/s^2$ )

$v_1$  = kecepatan pada  $t_1$  ( $m/s$ )

$v_2$  = kecepatan pada  $t_2$  ( $m/s$ )



**Gambar 3.8**  
Troli dihubungkan dengan beban melalui tali.



**Gambar 3.9**  
Kecepatan sesaat sebagai fungsi waktu.

### Contoh 3.6

Seorang pengendara sepeda pada detik pertama memiliki kecepatan 10 m/s dan pada detik kedua kecepatannya berubah menjadi 2 m/s. Tentukan percepatan rata-rata sepeda itu.

**Jawab:**

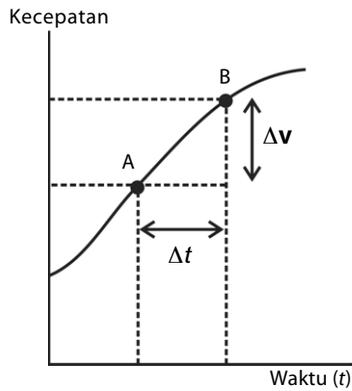
Diketahui:

$t_1 = 1$  s;  $v_1 = 10$  m/s;

$t_2 = 2$  s;  $v_2 = 2$  m/s.

Percepatan rata-rata diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (3-7)**.

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{2 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{2 \text{ s} - 1 \text{ s}} = -8 \text{ m/s}^2$$



**Gambar 3.10**

Grafik kecepatan terhadap waktu.

Jadi, percepatan rata-rata sepeda tersebut adalah  $-8 \text{ m/s}^2$ . Percepatan berharga negatif ( $-$ ), artinya sepeda tersebut mengalami gerak diperlambat.

## 2. Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat berhubungan dengan besar dan arah kecepatan sesaat. Percepatan adalah hasil bagi perubahan kecepatan dengan perubahan waktu. Oleh karena kecepatan merupakan besaran vektor, percepatan sesaat juga termasuk besaran vektor.

Untuk menghitung besar percepatan sesaat ( $a$ ) gerak suatu benda, dibutuhkan waktu yang sangat singkat, yaitu nilai  $\Delta t$  mendekati nol. Secara matematis, persamaan percepatan sesaat ( $a$ ) memiliki penalaran yang sama dengan kecepatan sesaat yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3-8)$$

Keterangan:

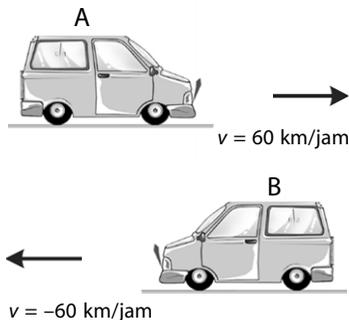
$a$  = percepatan sesaat ( $\text{m/s}^2$ )

$\Delta v$  = perubahan kecepatan ( $\text{m/s}$ )

$\Delta t$  = selang waktu ( $\text{s}$ )

### Kata Kunci

- ticker timer
- percepatan
- perlambatan



**Gambar 3.11**

Perlajuan berbeda dengan percepatan.

## 3. Besar Percepatan

Pengertian besar percepatan tidak sama dengan percepatan. Percepatan dari sebuah benda yang bergerak memiliki besar dan arah. Oleh karena itu, percepatan termasuk besaran vektor, sedangkan besar percepatan hanya bergantung pada perubahan laju benda yang bergerak dibagi dengan perubahan waktu dan tidak bergantung pada arah. Oleh karena itu, nilai besar percepatan sebuah benda yang bergerak selalu berharga positif ( $+$ ).

Besar percepatan sebuah benda yang bergerak dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Besar percepatan} = \frac{\text{perubahan besar kecepatan}}{\text{selang waktu}} \quad (3-9)$$

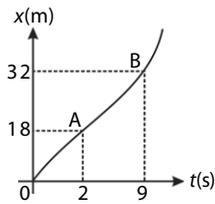
Untuk membedakan antara besar percepatan dan percepatan sebuah benda yang bergerak, perhatikan **Gambar 3.11**. Mobil A bergerak dengan kecepatan  $60 \text{ km/jam}$  (bergerak ke kanan), sedangkan mobil B bergerak dengan kecepatan  $-60 \text{ km/jam}$  (bergerak ke kiri). Kecepatan kedua mobil tersebut berbeda karena arah geraknya berbeda, tetapi besar kecepatan kedua mobil itu sama, yaitu  $60 \text{ km/jam}$ .

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Jelaskan yang dimaksud dengan:
  - kecepatan;
  - kelajuan;
  - kelajuan rata-rata;
  - kecepatan sesaat;
  - kecepatan rata-rata.
- Jelaskan pengertian:
  - percepatan;
  - percepatan rata-rata;
  - percepatan sesaat;
  - perlajuan.
- Sebuah bus bergerak dengan kelajuan  $72 \text{ km/jam}$ , tiba-tiba di rem hingga berhenti dalam waktu  $10 \text{ s}$ . Berapakah percepatan bus (dalam  $\text{m/s}^2$ )
- Sebuah partikel bergerak sepanjang sumbu- $x$ . Pada awal gerak, kedudukan benda di  $x_1 = 4 \text{ m}$ . Empat menit kemudian, partikel berada di  $x_2 = -6 \text{ m}$ . Berapakah kecepatan rata-rata partikel itu?

5. Tentukan kecepatan rata-rata sebuah benda yang bergerak dari posisi A ke posisi B dari grafik berikut.



## D. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Dalam kehidupan sehari-hari, jarang dijumpai benda yang bergerak beraturan karena pada umumnya gerak dari sebuah benda diawali dengan percepatan dan diakhiri dengan perlambatan. Hal ini terjadi karena ada hambatan-hambatan. Sebagai contoh, hambatan yang terjadi di jalan raya yang disebabkan kendaraan yang tidak seimbang dengan luas jalan. Fenomena tersebut menyebabkan gerak kendaraan akan selalu berubah. Jadi, gerak lurus beraturan merupakan keadaan ideal yang jarang dijumpai. Akan tetapi, beberapa contoh pendekatan gerak lurus beraturan dapat diungkapkan, misalnya gerak mobil di jalan tol dengan kecepatan tetap dan gerak pesawat terbang pada ketinggian tertentu. Contoh tersebut hanya terjadi dalam selang waktu tertentu. Jika dalam selang waktu yang sama pesawat terbang menempuh jarak yang sama, gerak pesawat itu disebut gerak lurus beraturan.

Hubungan antara nilai perpindahan ( $s$ ) dan nilai kecepatan  $v$  dinyatakan dengan persamaan

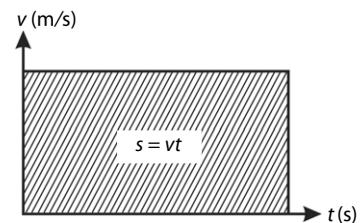
$$s = vt \quad (3-10)$$

Jika pada gerak lurus beraturan dibuatkan grafik hubungan kecepatan terhadap waktu ( $v - t$ ), jarak tempuh benda dapat dinyatakan sebagai luas di bawah grafik kecepatan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.12**.

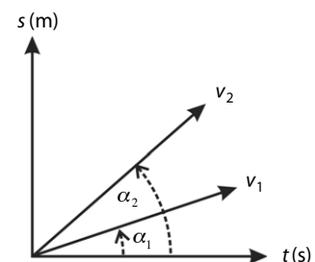
Dari **Persamaan (3-10)**, diperoleh grafik perpindahan terhadap waktu ( $s - t$ ), seperti pada **Gambar 3.13**. Kemiringan grafik menunjukkan nilai kecepatan sebuah benda. Dari grafik tersebut, sudut  $\alpha_2$  lebih besar daripada sudut  $\alpha_1$ . Hal ini berarti bahwa,  $v_2$  lebih besar daripada  $v_1$ . Hubungan antara sudut dan besar kecepatan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\tan \alpha = \frac{s}{t} = v$$

Jadi, semakin besar sudut yang dibentuk antara besar kecepatan benda dengan waktu  $t$ , semakin besar pula kecepatan gerak lurus beraturan tersebut.



**Gambar 3.12**  
Grafik kecepatan terhadap waktu pada gerak lurus beraturan.

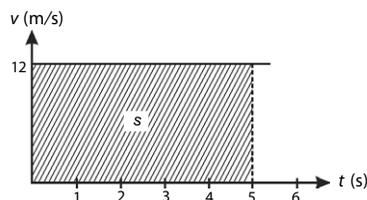


**Gambar 3.13**  
Grafik jarak terhadap waktu

### Contoh 3.7

Gambar berikut menunjukkan grafik ( $v - t$ ) sebuah benda yang bergerak lurus beraturan.

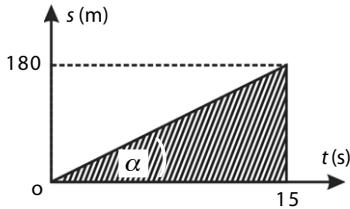
- Berapakah besar kecepatan benda?
- Berapakah besarnya perpindahan benda setelah bergerak 5 s?





## Tantangan untuk Anda

Gambar berikut menunjukkan grafik ( $s - t$ ) dari sebuah benda yang bergerak lurus beraturan.



Tentukan:

- kecepatan gerak benda;
- besarnya perpindahan benda setelah bergerak selama 10 s.



## Tantangan untuk Anda

Jarak kota Banda Aceh ke kota Medan adalah 360 km. Sebuah mobil bergerak dari kota Banda Aceh ke kota Medan dengan kecepatan rata-rata 20 km/jam. Satu jam kemudian, mobil lain bergerak dari kota Medan ke kota Banda Aceh dengan kecepatan 20 km/30 menit. Setelah berapa kilometerkah dari kota Medan kedua mobil itu bertemu?



Jawab:

- Grafik memotong sumbu- $y$  pada titik 12. Jadi, kecepatan benda 12 m/s.
- Perpindahan benda = luas bidang arsiran

$$\begin{aligned} s &= vt \\ &= (12 \text{ m/s})(5 \text{ s}) \\ &= 60 \text{ m} \end{aligned}$$

### Contoh 3.8

Dua buah mobil bergerak di lintasan lurus dengan arah berlawanan. Mobil pertama bergerak dari kiri dengan kecepatan 30 km/jam. Sepuluh menit kemudian, mobil kedua bergerak dari kanan dengan kecepatan 60 km/jam. Jika jarak antara kedua mobil itu mula-mula 23 km, kapan kedua mobil itu akan bertemu?

Jawab:

Diketahui:

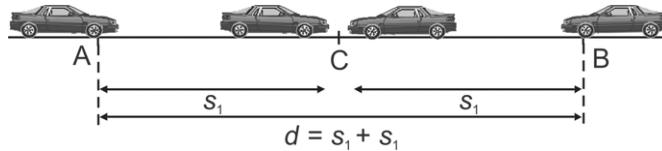
$$v_1 = 30 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ km/menit}$$

$$v_2 = 60 \text{ km/jam} = 1 \text{ km/menit}$$

Misalnya, kedua mobil bertemu di C. Mobil 1 telah bergerak selama  $t$  menit, sedangkan mobil 2 telah bergerak selama  $(t - 10)$  menit, masing-masing telah menempuh jarak

$$\begin{aligned} s_1 &= v_1 t_1 \\ &= (0,5 \text{ km/menit})(t \text{ menit}) \\ &= 0,5t \text{ km;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_2 &= v_2 t_2 \\ &= (1) \text{ km/menit} (t - 10) \text{ menit} \\ &= (t - 10) \text{ km.} \end{aligned}$$



Syarat kedua mobil bertemu adalah

$$\begin{aligned} s_1 + s_2 &= d \\ 0,5t + (t - 10) &= 23 \text{ km} \end{aligned}$$

$$1,5t = 33$$

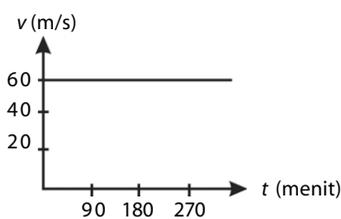
$$t = 22 \text{ menit atau } t - 10 = 12 \text{ menit.}$$

Jadi, kedua mobil bertemu setelah mobil 1 bergerak selama 22 menit dan mobil 2 bergerak selama 12 menit.

## Tes Kompetensi Subbab D

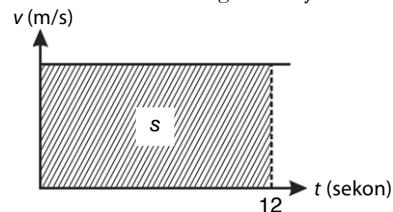
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Sebuah sepeda motor bergerak dengan kecepatan 108 km/jam. Berapa meter perpindahan sepeda motor tersebut setelah 120 detik?
- Gambar berikut memperlihatkan grafik dari sebuah kendaraan yang bergerak dengan kecepatan tetap.



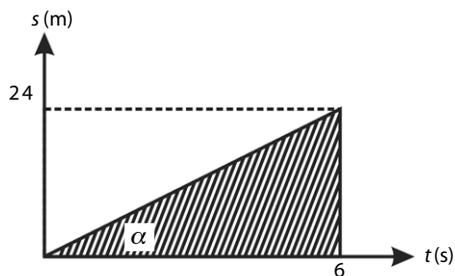
Hitunglah jarak yang ditempuh setelah bergerak selama 4,5 jam.

- Gambar berikut memperlihatkan grafik perjalanan Bakri ke sekolah dengan kelajuan tetap.



Jika luas daerah yang diarsir 240 m, berapa kelajuan Bakri tersebut?

4. Gambar berikut memperlihatkan grafik perjalanan sebuah mobil yang bergerak lurus beraturan.



Tentukan:

- kecepatan mobil;
  - perpindahan mobil setelah bergerak selama 3 s.
5. Dua pembalap sepeda bergerak di lintasan lurus. Pembalap pertama bergerak dari A dengan kelajuan 60 km/jam. Sepuluh menit kemudian, pembalap kedua bergerak dari B dengan kelajuan 40 km/jam. Jika jarak AB = 36 km, kapan dan di mana kedua pembalap itu bertemu?

## E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Dalam kehidupan sehari-hari, banyak dijumpai beberapa contoh gerak lurus berubah beraturan, bahkan Anda dapat mengamati dengan mudah. Ambil sebuah bola, kemudian lemparkan bola itu vertikal ke atas. Selama bergerak vertikal ke atas, bola mengalami perlambatan secara beraturan menurut selang waktu tertentu. Pada titik tertinggi, besar kecepatannya nol. Pada saat bola kembali jatuh ke tanah, besar kecepatannya bertambah secara beraturan menurut selang waktu tertentu. Jadi, gerak lurus berubah beraturan adalah gerak dengan lintasan lurus dan percepatan tetap.

**Gambar 3.14** menunjukkan grafik sebuah benda yang bergerak lurus berubah beraturan dari keadaan awal  $v_0$ . Setelah  $t$  sekon, besar kecepatan benda itu berubah menjadi  $v_t$ . Dari persamaan percepatan diperoleh

$$a = \frac{\Delta v}{t} \quad (3-11)$$

Telah Anda ketahui bahwa  $\Delta v = v_t - v_0$  dan  $\Delta t = t - t_0 = t$  sehingga

**Persamaan (3-11)** menjadi  $a = \frac{v_t - v_0}{t}$  atau  $at = v_t - v_0$ .

Jadi,

$$v_t = v_0 + at \quad (3-12)$$

Keterangan:

$v_t$  = besar kecepatan pada  $t$  sekon (m/s)

$v_0$  = besar kecepatan awal (m/s)

$a$  = besar percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$t$  = waktu (s)

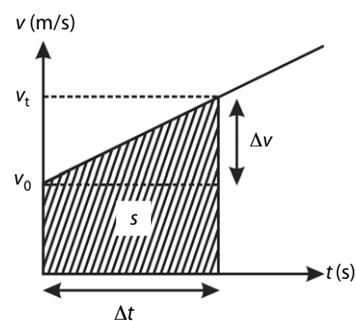
Dari **Gambar 3.14**, dapat disimpulkan bahwa besarnya perpindahan yang dicapai oleh benda sama dengan luas bidang kurva yang diarsir (bentuk trapesium), yang dibatasi oleh kurva dan sumbu  $t$  sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

Jarak yang ditempuh ( $s$ ) = luas bidang arsiran (trapesium)

$s$  = luas trapesium

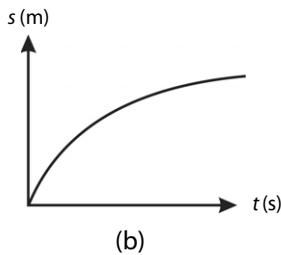
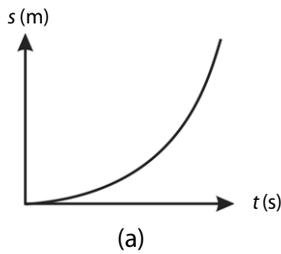
$$s = (v_0 + v_t) \frac{1}{2} t = \{(v_0 + (v_0 + at))\} \frac{1}{2} t = (2v_0 + at) \frac{1}{2} t$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (3-13)$$



**Gambar 3.14**

Grafik  $v - t$  pada gerak lurus berubah beraturan.



**Gambar 3.15**  
 Grafik  $s - t$  dari  
 (a) percepatan  $a > 0$   
 (b) percepatan  $a < 0$



### Tantangan untuk Anda

Sebutkan contoh-contoh gerak yang termasuk GLB dan GLBB, masing-masing tiga buah.



Keterangan:

$s$  = jarak tempuh (m);  $t$  = waktu (s)  
 $v_0$  = besar kecepatan awal (m/s);  $a$  = besar percepatan (m/s<sup>2</sup>)

Persamaan jarak tempuh ( $s$ ) sebuah benda yang bergerak lurus beraturan merupakan fungsi kuadrat dari waktu ( $t$ ). Jika dibuat grafik hubungan ( $s$ ) terhadap ( $t$ ), akan diperoleh grafik berupa parabola seperti pada **Gambar 3.15**.

Dalam menyelesaikan soal, kadang-kadang Anda menjumpai soal dengan variabel  $t$  yang tidak diketahui. Untuk hal ini, digunakan rumus persamaan GLBB dengan mengeliminasi variabel  $t$  tersebut. **Persamaan (3-12)** dan **Persamaan (3-13)** dapat digabung untuk membentuk suatu persamaan tanpa variabel  $t$ .

$$v_t = v_0 + at \quad (3-14)$$

$$t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

Nilai  $t$  dimasukkan ke dalam **Persamaan (3-13)** sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} s &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= v_0 \left( \frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left( \frac{v_t - v_0}{a} \right)^2 \\ &= \frac{v_0 v_t - v_0^2}{a} + \frac{1}{2} a \left( \frac{v_t^2 - 2v_0 v_t + v_0^2}{a^2} \right) \\ &= \frac{2v_0 v_t - 2v_0^2}{2a} + \frac{v_t^2 - 2v_0 v_t + v_0^2}{2a} \end{aligned}$$

$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} \text{ atau } 2as = v_t^2 - v_0^2 \quad (3-15)$$

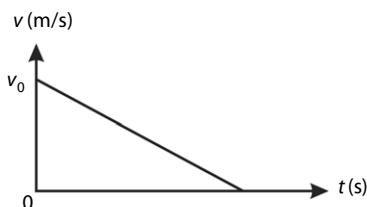
Jika percepatan pada gerak lurus berubah beraturan berharga negatif, gerak itu disebut juga gerak lurus diperlambat beraturan. Dalam kehidupan sehari-hari, jarang dijumpai gerak semacam itu, tetapi dalam pendekatannya, Anda dapat mengambil contoh gerak vertikal ke atas.

Persamaan gerak diperlambat beraturan dapat ditulis sebagai berikut.

$$v_t = v_0 - at \quad (3-16)$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 \quad (3-17)$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2as \quad (3-18)$$



**Gambar 3.16**  
 Grafik  $v - t$  gerak lurus diperlambat beraturan.

Grafik kecepatan terhadap waktu pada gerak lurus diperlambat beraturan dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.

### Contoh 3.9

Sebuah bola mula-mula dalam keadaan diam, kemudian pada bola tersebut diberikan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$ . Tentukanlah:

- kecepatan bola setelah bergerak 2 s,
- jarak yang ditempuh bola selama 2 s.

**Jawab:**

Diketahui:

$$a = 3 \text{ m/s}^2; t = 2 \text{ s}$$

- $v_t = v_0 + at = 0 + (3 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s}) = 6 \text{ m/s}$   
Jadi, setelah 2 s, kecepatan bola adalah 6 m/s.
- $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 0 + \frac{1}{2} (3 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2 = 6 \text{ m}$   
Jadi, selama 2 s, jarak yang ditempuh bola adalah 6 m.

### Contoh 3.10

Sebuah truk sedang bergerak, kemudian direm sehingga kelajuannya berkurang secara beraturan dari 54 km/jam menjadi 18 km/jam sepanjang lintasan 50 m.

- Hitunglah perlambatan yang dialami truk.
- Berapa jauh truk bergerak sampai berhenti sejak pengereman?

**Jawab:**

Diketahui:

$$v_t = 18 \text{ km/jam} = 5 \text{ m/s}$$

$$v_0 = 54 \text{ km/jam} = 15 \text{ m/s}$$

$$s = 50 \text{ m}$$

- Untuk menghitung perlambatan yang dialami truk, digunakan **Persamaan (3–15)**.
$$2as = v_t^2 - v_0^2$$
$$a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s}$$
$$a = \frac{(5 \text{ m/s})^2 - (15 \text{ m/s})^2}{2(50 \text{ m})}$$
$$a = \frac{25 \text{ m}^2/\text{s}^2 - 225 \text{ m}^2/\text{s}^2}{100 \text{ m}}$$
$$a = \frac{-200 \text{ m}^2/\text{s}^2}{100 \text{ m}}$$
$$a = -2 \text{ m/s}^2 \text{ (tanda negatif menunjukkan bahwa truk mengalami perlambatan).}$$
- Untuk menghitung jarak yang ditempuh truk dari mulai pengereman sampai truk berhenti, digunakan **Persamaan (3–15)**. Pada kasus ini,  $v_t = 0$  (truk berhenti).
$$2as = v_t^2 - v_0^2$$
$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$$
$$s = \frac{0^2 - (15 \text{ m/s})^2}{2(-2 \text{ m/s}^2)}$$
$$s = \frac{-225 \text{ m}^2/\text{s}^2}{-4 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$
$$s = 56,25 \text{ m}$$

## 1. Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak sebuah benda yang jatuh dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal. Contoh, buah durian jatuh dari pohonnya. Akan lebih sempurna jika gerak jatuh bebas tanpa dipengaruhi gaya gesekan udara. Artinya, tidak ada gaya luar yang mendorong atau menghambat gerak jatuh sebuah benda. Contoh gerak jatuh bebas yang dipengaruhi gaya apung dan gesekan udara diperlihatkan pada **Gambar 3.17**. Gaya apung dan gaya gesekan udara bekerja



## Pembahasan Soal

Sebuah mobil bergerak dengan kelajuan 10 m/s. Tiba-tiba mobil tersebut direm sehingga mengalami perlambatan 5 m/s<sup>2</sup>. Jarak yang ditempuh mobil sampai berhenti adalah ....

- A. 10 m      D. 25 m  
B. 15 m      E. 30 m  
C. 20 m

UMPTN, 1999

**Pembahasan**

Diketahui:

$$v_0 = 10 \text{ m/s}$$

$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

Mobil direm hingga berhenti, berarti

$$v_t = 0$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2as$$

$$s = \frac{(10 \text{ m/s})^2 - (0)^2}{2(5 \text{ m/s}^2)}$$

$$s = \frac{100 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2(5 \text{ m/s}^2)}$$

$$= 10 \text{ m}$$

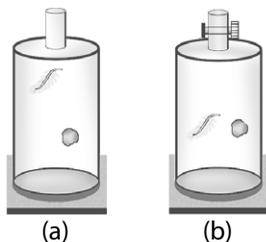
Jadi, jarak yang ditempuh mobil sampai berhenti adalah 10 m.

Jawaban: a



**Gambar 3.17**

Sekelompok penerjun membentuk pola diamond.



**Gambar 3.18**

- (a) Bulu ayam dan batu dijatuhkan di dalam tabung berisi udara.  
 (b) Bulu ayam dan batu dijatuhkan di dalam tabung hampa udara.

pada parasut untuk menghindari gerak jatuh bebas ideal. Jadi, gerak jatuh bebas dapat didefinisikan sebagai gerak jatuh tanpa kecepatan awal dari ketinggian tertentu dan hanya dipengaruhi gaya gravitasi bumi.

Gerak jatuh secara ideal dapat dipahami dengan mengamati benda yang dijatuhkan dalam ruang hampa udara sehingga tidak ada pengaruh gaya apung dan gesekan udara. Gerak jatuh dalam ruang hampa udara membuktikan bahwa benda jatuh tidak ditentukan oleh bentuk dan massanya. Percobaan ini telah dilakukan oleh **Galileo Galilei**.

Perhatikan **Gambar 3.18(a)**. Di dalam tabung berisi udara, sehelai bulu ayam dan sebuah batu dari posisi yang sama dijatuhkan secara bersamaan. Terlihat bahwa batu lebih dulu menyentuh dasar tabung daripada bulu ayam. Keterlambatan bulu ayam disebabkan gaya gesekan udara dan gaya apung yang bekerja pada permukaan bidang bulu ayam lebih besar daripada batu sehingga batu jatuh ke dasar tabung dengan kecepatan lebih tinggi.

Pada **Gambar 3.18(b)**, sehelai bulu ayam dan sebuah batu yang sama dijatuhkan dalam tabung hampa udara. Ternyata, bulu ayam dan batu menyentuh dasar tabung pada saat yang bersamaan. Dari kedua percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa besarnya gerak jatuh bebas setiap selang waktu dipengaruhi oleh percepatan gravitasi ( $g$ ).

Jika sebuah benda jatuh bebas dengan kecepatan awal  $v_0 = 0$ , persamaan kecepatan benda tersebut adalah sebagai berikut.

$$v_t = v_0 + at$$

$$v_t = 0 + gt$$

$$v_t = gt$$

(3-19)

Jarak vertikal ke bawah yang ditempuh benda setelah  $t$  sekon dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = 0 + \frac{1}{2} g t^2$$

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

(3-20)

Keterangan:

$v$  = besarnya kecepatan benda pada  $t$  sekon (m/s)

$s$  = jarak yang ditempuh benda selama  $t$  sekon (m)

$t$  = waktu tempuh (s)

Pada **Gambar 3.19**, sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian  $h_0$  meter di atas tanah. Untuk sampai di permukaan tanah, benda tersebut membutuhkan waktu tempuh  $t$  sekon. Dengan demikian, dari **Persamaan (3-20)** diturunkan persamaan sebagai berikut.

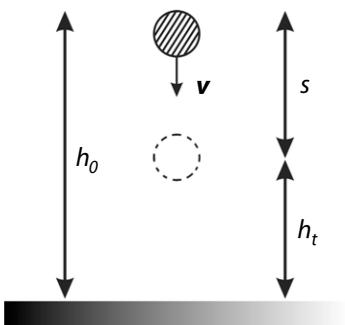
$$h_t = h_0 - s$$

Ketika benda mencapai tanah,  $h_t = 0$  maka

$$0 = h_0 - s$$

$$h_0 = s$$

$$h_0 = \frac{1}{2} g t^2$$



**Gambar 3.19**

Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian  $h$ .

$$t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \quad (3-21)$$

Keterangan:

$t$  = waktu tempuh (s)

$h$  = ketinggian benda mula-mula (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Laju benda saat menyentuh tanah adalah

$$\begin{aligned} v_B &= v_0 + at \\ &= 0 + g \left( \sqrt{\frac{2h}{g}} \right) \end{aligned}$$

$$v_B = \sqrt{2gh} \quad (3-22)$$

Arah kecepatan benda pada gerak jatuh bebas selalu menuju pusat Bumi.

### Contoh 3.11

Sebuah mangga jatuh bebas dari pohonnya. Tinggi pohon mangga tersebut adalah 20 m. Jika percepatan gravitasi di tempat itu  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- waktu yang diperlukan untuk sampai di tanah;
- kecepatan saat tiba di tanah.

Jawab:

Diketahui:

$$h = 20 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\text{a. } h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$t^2 = \frac{2h}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(20 \text{ m})}{10 \text{ m/s}^2}}$$

$$= \sqrt{4 \text{ s}^2} = 2 \text{ s}$$

Jadi, waktu untuk sampai di tanah adalah 2 s.

$$\begin{aligned} \text{b. } v_t &= gt \\ &= (10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s}) \\ &= 20 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan saat tiba di tanah 20 m/s.

### Contoh 3.12

Cecep terjun bebas dari ketinggian 50 m di atas kolam. Berapa ketinggian Cecep dari permukaan kolam setelah 2 s?

Jawab:

Diketahui:

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$h_0 = 50 \text{ m}$$

Untuk mengetahui ketinggian posisi Cecep dari permukaan kolam, digunakan

**Persamaan (3-13)** yaitu  $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ .

Pada kasus ini,  $s$  bukan ketinggian Cecep dari permukaan air, tetapi jarak yang telah ditempuh Cecep ketika jatuh bebas selama 2s. Perhatikan gambar berikut.

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$s = 0 + \frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2$$

$$s = 20 \text{ m}$$



### Informasi untuk Anda

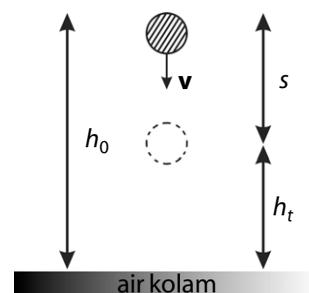


Konon, **Galileo** menjatuhkan benda-benda yang beratnya berbeda-beda dari puncak Menara Condong Pisa, kemudian membandingkan gerak jatuhnya. **Galileo** menemukan bahwa benda-benda yang beratnya berbeda-beda tersebut, ketika dilepaskan pada saat yang sama, jatuh benda bersamaan dan mengenai tanah pada saat yang sama.

### Information for You

**Galileo** is said to have dropped objects of various weight from the top of the Leaning Tower of Pisa and compared their falls. He found that objects of various weights, when released at the same time, fall together and hit the ground at the same time.

Sumber: *Conceptual Physics*, 1998



Tinggi Cecep dari permukaan ( $h$ ) adalah

$$h_t = h_o - s$$

$$h_t = 50 \text{ m} - 20 \text{ m}$$

$$h_t = 30 \text{ m}$$

Jadi, ketinggian Cecep tersebut dari kolam setelah 2 s adalah 30 m.

## 2. Gerak Vertikal ke Atas



**Gambar 3.20**

Gerak vertikal ke atas merupakan gerak diperlambat.

Sebuah bola dilemparkan vertikal ke atas seperti pada **Gambar 3.20**. Selama perjalanan di sepanjang lintasan lurus, bola tersebut selalu mengalami percepatan gravitasi Bumi yang arahnya ke bawah. Gerak vertikal ke atas maupun gerak vertikal ke bawah memiliki percepatan gravitasi yang sama besar.

Gerak vertikal ke atas berupa gerak diperlambat, karena semakin ke atas kecepatannya semakin berkurang. Pada ketinggian maksimum, kecepatan bola menjadi nol ( $v_t = 0$ ). Pada keadaan itu, bola berhenti sesaat, lalu jatuh bebas ke bawah. Rumus yang digunakan pada gerak lurus berlaku juga untuk gerak vertikal ke atas dan gerak jatuh bebas.

Pada gerak vertikal ke atas, berlaku persamaan berikut.

$$v_t = v_o - gt \quad (3-23)$$

$$h = v_o t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3-24)$$

$$v_t^2 = v_o^2 - 2gh \quad (3-25)$$

Keterangan:

$h$  = ketinggian benda dari kedudukan awal (m)

$v_o$  = kecepatan awal (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$t$  = waktu tempuh (s)

$v_t$  = kecepatan pada  $t$  sekon (m/s)

Sebuah benda yang dilemparkan vertikal ke atas, lalu jatuh dan kembali ke titik semula memiliki jarak tempuh yang sama dengan panjang lintasan yang dilalui benda selama bergerak. Akan tetapi, benda tidak memiliki harga perpindahan atau besar perpindahannya sama dengan nol.

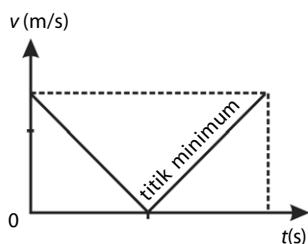
**Gambar 3.21** memperlihatkan grafik hubungan kecepatan terhadap waktu dari sebuah benda yang bergerak vertikal ke atas, lalu jatuh kembali ke titik semula. Titik balik menunjukkan bahwa kecepatan benda di puncak lintasan gerak adalah nol.

Waktu yang dibutuhkan sepanjang lintasan adalah sebagai berikut.

$$h = v_o t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = v_o t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$t_{\text{bolak-balik}} = \frac{2v_o}{g} \quad (3-26)$$



**Gambar 3.21**

Grafik  $v - t$  dari benda yang dilemparkan ke atas, lalu jatuh kembali ke titik semula.

Telah disebutkan bahwa gerak vertikal ke atas merupakan gerak diperlambat. Hal ini disebabkan adanya gaya tarik bumi terhadap benda

yang berlawanan arah dengan arah pergerakan benda. Pada suatu saat, kecepatan benda yang bergerak vertikal ke atas akan sama dengan nol. Pada saat itu, dikatakan bahwa benda telah mencapai ketinggian maksimum. Bagaimana menghitung ketinggian maksimum benda yang bergerak vertikal ke atas?

Perhatikan **Persamaan (3-23)** yang dituliskan kembali sebagai berikut.

$$v_t = v_0 - gt$$

Oleh karena pada ketinggian maksimum kecepatan benda sama dengan nol maka

$$v_t = v_0 - gt$$

$$0 = v_0 - gt$$

$$t = \frac{v_0}{g}$$

Persamaan tersebut merupakan waktu yang diperlukan benda untuk mencapai ketinggian maksimum. Dapat dilihat juga bahwa waktu ini merupakan setengah kali  $t$  bolak balik **Persamaan (3-26)**.

Jika persamaan ini disubstitusikan ke dalam **Persamaan (3-24)**, akan diperoleh ketinggian maksimum ( $h_{\text{maks}}$ ) yang dapat dicapai benda.

$$h_{\text{maks}} = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$h_{\text{maks}} = v_0 \left( \frac{v_0}{g} \right) - \frac{1}{2} g \left( \frac{v_0}{g} \right)^2$$

$$h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{g}$$

$$h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (3-27)$$

Keterangan:

$h_{\text{maks}}$  = tinggi maksimum (m)

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

### Contoh 3.13

Sebuah bola dilemparkan vertikal dengan kecepatan awal 20 m/s. Jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:

- waktu yang dibutuhkan sampai di titik tertinggi.
- tinggi maksimum yang dicapai bola.

**Jawab:**

Diketahui:

$$v_0 = 20 \text{ m/s}; \quad v_t = 0.$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2;$$

- Untuk menghitung waktu yang dibutuhkan bola untuk sampai di titik tertinggi, digunakan **Persamaan (3-23)**.

$$v_t = v_0 - gt$$

$$t = \frac{v_0 - v_t}{g}$$

$$t = \frac{(20 \text{ m/s}) - 0}{10 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$$

$$t = 2 \text{ s}$$

Jadi, waktu yang diperlukan bola untuk sampai di titik tertinggi adalah 2 s.



### Pembahasan Soal

Pada waktu bersamaan, dua buah bola dilempar ke atas dengan kelajuan masing-masing  $v_1 = 10 \text{ m/s}$  (bola I) dan  $v_2 = 20 \text{ m/s}$  (bola II). Jarak antara kedua bola pada saat bola I mencapai titik tertinggi adalah ....

- 30 m
- 25 m
- 20 m
- 15 m
- 10 m

UMPTN, 1997

#### Pembahasan

Tinggi maksimum bola I:

$$h_{1\text{maks}} = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{(10 \text{ m/s})^2}{2(10 \text{ m/s}^2)}$$

$$= 5 \text{ m}$$

Waktu yang diperlukan bola I untuk mencapai tinggi maksimum adalah

$$t_1 = \frac{v_1}{g} = \frac{10 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}^2}$$

Ketinggian bola II pada saat  $t_1 = 1 \text{ s}$  adalah

$$h_2 = v_2 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$= (20 \text{ m/s})(1 \text{ s}) - \frac{1}{2} (10 \text{ m/s}^2) (1 \text{ s})^2$$

$$= 20 \text{ m} - 5 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

Jarak bola II dengan bola I adalah

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

$$= 15 \text{ m} - 5 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

**Jawaban: e**



## Pembahasan Soal

Benda a dan B masing-masing massanya  $m_A$  dan  $m_B$ . Pada saat bersamaan, dilepaskan dari ketinggian yang sama. Jika waktu untuk sampai di tanah masing-masing  $t_A$  dan  $t_B$ , pernyataan yang benar adalah ....

- $t_A > t_B$ , jika  $m_A > m_B$
- $t_A < t_B$ , jika  $m_A < m_B$
- $t_A \approx t_B$ , tidak dipengaruhi massa
- $t_A > t_B$ , jika  $m_A < m_B$
- $t_A < t_B$ , jika  $m_A > m_B$

UMPTN, 1997

### Pembahasan

Persamaan umum gerak jatuh bebas adalah

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

sehingga

$$y = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

Dari persamaan tersebut, jelas bahwa waktu yang diperlukan benda untuk sampai di tanah tidak dipengaruhi oleh massa, tetapi hanya bergantung pada ketinggian dengan mengabaikan gesekan udara diabaikan.

Jawaban: c

- Tinggi maksimum yang dicapai dapat diselesaikan dengan dua cara

Cara 1:

$$\begin{aligned} h_{\text{maks}} &= v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \\ &= (20 \text{ m/s})(2 \text{ s}) - \frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2 \\ &= 40 \text{ m} - 20 \text{ m} = 20 \text{ m} \end{aligned}$$

Cara 2:

$$\begin{aligned} h_{\text{maks}} &= \frac{v_0^2}{2g} \\ &= \frac{(20 \text{ m/s})^2}{2(10 \text{ m/s}^2)} = 20 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, tinggi maksimum yang dicapai bola adalah 20 m.

## Contoh 3.14

Dari permukaan tanah, sebuah benda bergerak vertikal ke atas dengan kecepatan awal 30 m/s ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

- Berapa detik benda kembali ke tanah?
- Berapa tinggi maksimum yang dicapai benda?
- Berapa kecepatan dan tinggi benda setelah 2 s?
- Berapa kecepatan dan tinggi benda setelah 4 s?

Jawab:

$$\text{a. } t_{\text{ABA}} = \frac{2v_0}{g} = \frac{2(30 \text{ m/s})}{10 \text{ m/s}^2} = 6 \text{ s}$$

Benda kembali ke tanah dalam 6 s.

$$\text{b. } h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(30 \text{ m/s})^2}{2(10 \text{ m/s}^2)} = 45 \text{ m}$$

Tinggi maksimum yang dicapai benda adalah 45 m.

$$\begin{aligned} \text{c. } v_t &= v_0 - gt \\ &= (30 \text{ m/s}) - (10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s}) = 10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kecepatan benda setelah 2 s adalah 10 m/s.

$$\begin{aligned} h &= v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \\ &= (30 \text{ m/s})(2 \text{ s}) - \frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2 = 40 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi benda setelah 2 s adalah 40 m.

$$\begin{aligned} \text{d. } v_t &= v_0 - gt \\ &= (30 \text{ m/s}) - (10 \text{ m/s}^2)(4 \text{ s}) = -10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kecepatan benda setelah 4 s adalah -10 m/s.

$$\begin{aligned} h &= v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \\ &= (30 \text{ m/s})(4 \text{ s}) - \frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(4 \text{ s})^2 = 40 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, tinggi benda setelah 4 s adalah 40 m.

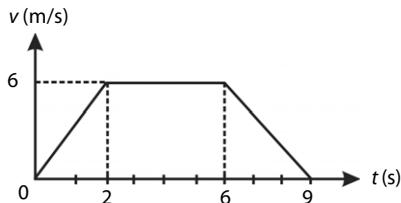
Dari jawaban c dan jawaban d dapat disimpulkan bahwa pada detik ke-2 dan ke-4, ketinggian maupun besar kecepatan benda sama. Akan tetapi, pada detik ke-4 benda sudah bergerak ke bawah.

## Tes Kompetensi Subbab E

Kerjakanlah dalam buku latihan.

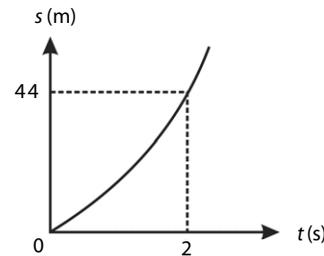
- Dari keadaan diam, sebuah benda bergerak dengan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$ .
  - Berapakah kecepatan benda setelah 4 s?
  - Berapakah besarnya perpindahan benda setelah 4 s?

2. Kelajuan sebuah sepeda motor berkurang secara beraturan dari 72 km/jam menjadi 54 km/jam sepanjang lintasan 50 m.
  - a. Berapakah perlambatan yang dialami sepeda motor tersebut?
  - b. Seberapa jauh sepeda motor tersebut bergerak sampai berhenti?
3. Gerak suatu benda ditunjukkan pada grafik kecepatan terhadap waktu ( $vt$ ) sebagai berikut.



- a. Berapakah kecepatan benda pada saat  $t = 8$  s?
  - b. Berapakah besarnya perpindahan benda setelah bergerak 9 s?
4. Sebuah pesawat mendarat pada landasan dengan kecepatan 240 km/jam. Pada saat roda pesawat menyentuh landasan, pesawat direm sehingga pesawat memiliki perlambatan  $10 \text{ m/s}^2$ . Tentukanlah panjang minimum landasan yang dibutuhkan.
  5. Buah kelapa jatuh bebas dari ketinggian 80 meter. Tentukanlah waktu yang dibutuhkan oleh buah kelapa untuk mencapai tanah ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).
  6. Sebuah bola dilemparkan vertikal ke atas dari sebuah menara yang tingginya 40 m dengan kecepatan awal  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ . Berapakah waktu yang dibutuhkan oleh bola tersebut untuk sampai di tanah?

7. Sebuah parasut dijatuhkan dari suatu ketinggian. Setelah jatuh bebas sejauh 60 m, parasut tersebut baru berkembang. Parasut turun diperlambat dengan perlambatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Ketika menyentuh tanah, ternyata kecepatan parasut tepat nol. Berapa lama parasut berada di udara? Hitung ketinggian parasut saat ia dilepaskan. ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).
8. Gambar berikut menunjukkan grafik  $s - t$  dari gerak sebuah benda, dengan  $s$  merupakan fungsi kuadrat dari  $t$ .



Kecepatan awal benda tersebut adalah  $20 \text{ m/s}$ .

- a. Apakah jenis gerak benda itu?
  - b. Berapakah percepatan benda?
  - c. Berapakah kecepatan benda setelah 4 s?
  - d. Buatlah sketsa grafik  $v - t$  dari gerak benda itu.
9. Sebuah benda ditembakkan vertikal ke atas dari ketinggian 75 m dengan kecepatan awal  $10 \text{ m/s}$ . Jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , setelah berapa lama benda jatuh di tanah?
  10. Sebuah benda ditembakkan vertikal ke atas dari ketinggian 40 m dengan kecepatan awal  $10 \text{ m/s}$ . Jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , berapakah kecepatan benda saat mengenai tanah?

## Rangkuman

1. Suatu benda dikatakan bergerak jika benda tersebut mengalami perubahan kedudukan terhadap acuan tertentu.
2. Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu.
3. Kecepatan selalu berhubungan dengan perpindahan. Dirumuskan sebagai

$$v = \frac{s}{t}$$

5. Kelajuan adalah jarak total yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Kelajuan rata-rata dirumuskan sebagai

$$v = \frac{s}{t}$$

6. Kelajuan sesaat adalah besarnya kecepatan suatu benda pada selang waktu tertentu yang sangat kecil. Kelajuan sesaat dirumuskan sebagai

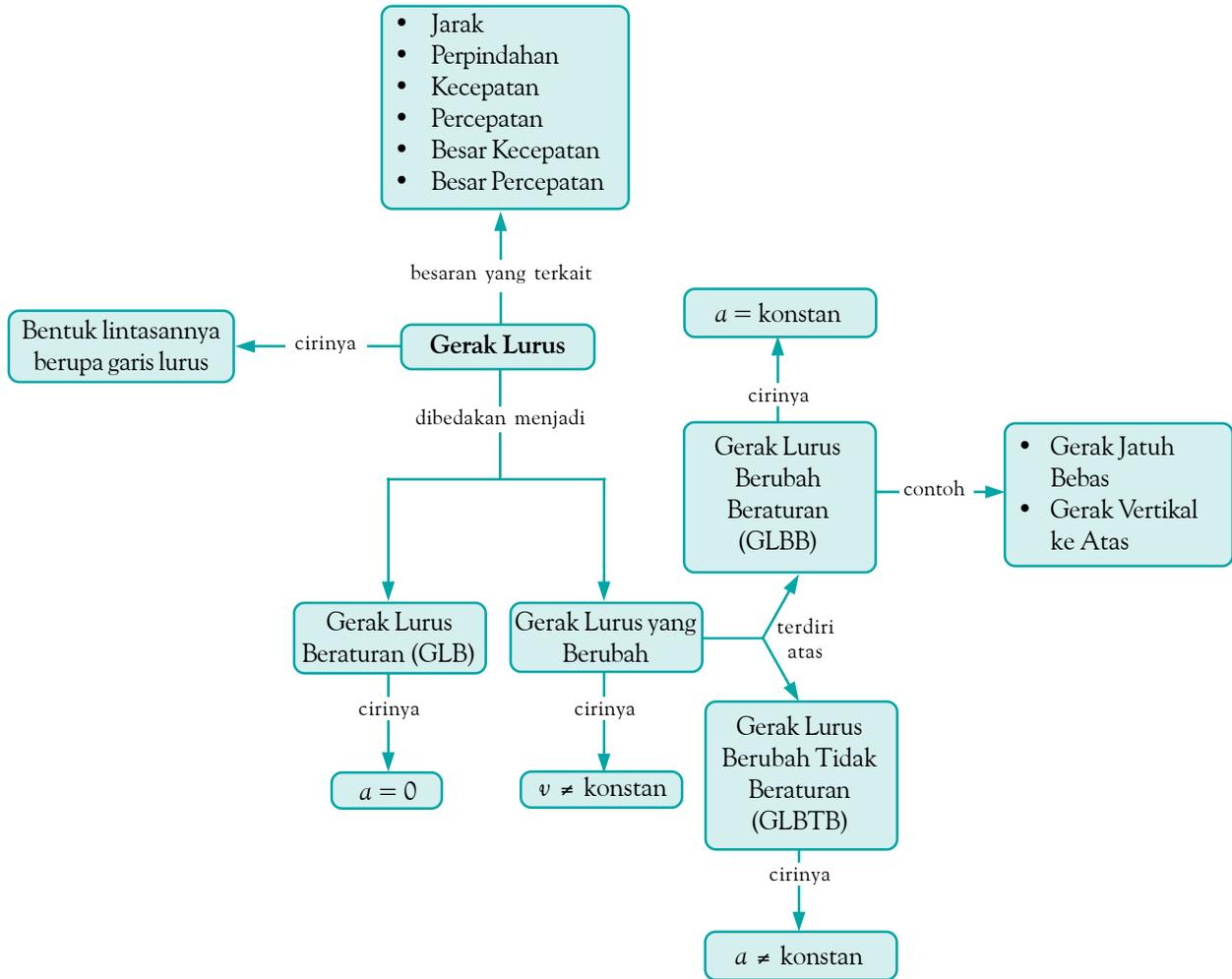
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

7. Percepatan didefinisikan sebagai perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu. Percepatan dituliskan sebagai berikut

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

8. Gerak lurus beraturan adalah gerak benda yang lintasannya berupa garis lurus dan kecepatannya tetap ( $\Delta v = 0$ ).
9. Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak benda yang lintasannya berupa garis lurus dan percepatannya tetap.

## Peta Konsep



## Refleksi

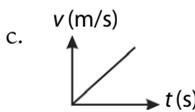
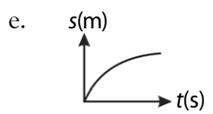
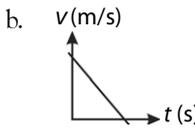
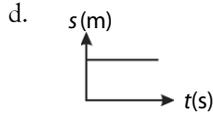
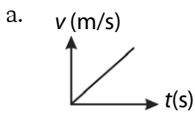
Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda memperoleh manfaat, di antaranya Anda mengetahui besaran-besaran yang terdapat pada sebuah benda yang sedang bergerak. Ceritakan di depan kelas manfaat yang Anda peroleh setelah mempelajari bab ini. Bagian

manakah dari materi bab ini yang Anda anggap sulit? Diskusikan dengan teman Anda atau tanyakan kepada guru Anda materi yang Anda anggap sulit tersebut. Lengkapilah rangkuman jika Anda menganggap ada materi yang belum terangkum.

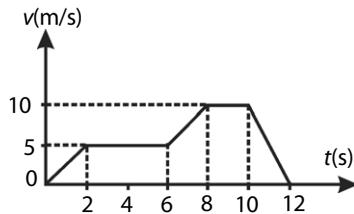
## Tes Kompetensi Bab 3

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Gerak sebuah benda yang bergerak lurus dengan percepatan tetap disebut ....
  - gerak lurus beraturan
  - gerak lurus berubah tak beraturan
  - gerak lurus tak beraturan
  - gerak lurus dengan kecepatan tetap
  - gerak lurus berubah beraturan
- Gambar yang menggambarkan grafik gerak lurus beraturan adalah ....  
( $v$  = laju;  $s$  = jarak;  $t$  = waktu)



- Sebuah mobil bergerak lurus dengan grafik kecepatan terhadap waktu seperti pada gambar berikut.



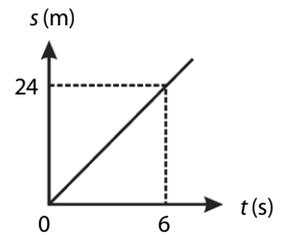
Pada interval waktu 10 hingga 12 s, mobil bergerak ....

- lurus diperlambat dengan perlambatan  $10 \text{ m/s}^2$
  - lurus dipercepat dengan percepatan  $10 \text{ m/s}^2$
  - lurus diperlambat dengan perlambatan  $5 \text{ m/s}^2$
  - lurus dipercepat dengan percepatan  $5 \text{ m/s}^2$
  - lurus beraturan dengan kecepatan tetap  $10 \text{ m/s}$
- Sebuah benda terletak pada titik A(4, 3), kemudian berpindah ke titik B(6, 7). Besarnya perpindahan benda itu adalah ....
    - 4
    - $2\sqrt{5}$
    - $2\sqrt{3}$
    - 3
    - 2
  - Jarak kota J dan P adalah 800 km. Mobil A bergerak dari kota J dengan laju tetap 88 km/jam menuju kota P. Dalam waktu yang sama, dari kota P mobil B bergerak menuju kota J dan berpapasan 5 jam kemudian, maka laju mobil B adalah ....
    - 35 m/s
    - 30 m/s
    - 25 m/s
    - 20 m/s
    - 15 m/s
  - Sebuah mobil berjalan dengan kecepatan tetap, selama 30 menit menempuh jarak 36 km. Kecepatan mobil tersebut adalah ...
    - 20 m/s
    - 25 m/s
    - 30 m/s
    - 32 m/s
    - 40 m/s

- Pada pukul 09.00 sebuah sepeda motor dengan kecepatan 60 km/jam berangkat dari kota A menuju kota B. Pada pukul 9.30, dari tempat yang sama sebuah mobil berangkat menuju kota B dengan kecepatan 90 km/jam. Mobil menyusul sepeda motor pada pukul ....
  - 11.00
  - 10.45
  - 10.30
  - 11.15
  - 10.00

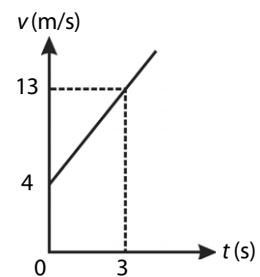
- Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan awal 5 m/s, dipercepat dengan percepatan tetap  $2 \text{ m/s}^2$  selama 8 s. Kecepatan kendaraan tersebut menjadi ....
  - 15 m/s
  - 18 m/s
  - 21 m/s
  - 25 m/s
  - 30 m/s

- Gambar berikut menunjukkan grafik perpindahan benda terhadap waktu yang bergerak lurus. Pernyataan yang tidak benar adalah ....



- setelah 5 s benda berpindah 20 m
- kecepatan benda 4 m/s
- benda bergerak lurus beraturan
- percepatan benda  $4 \text{ m/s}^2$
- perpindahan benda setelah 7 s adalah 28 m

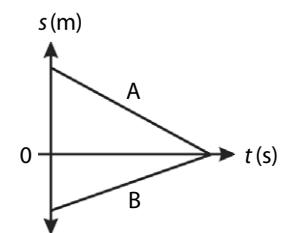
- Benda yang bergerak lurus ditunjukkan dengan grafik berikut.



Percepatan benda tersebut adalah ....

- $2 \text{ m/s}^2$
  - $3 \text{ m/s}^2$
  - $4 \text{ m/s}^2$
  - $5 \text{ m/s}^2$
  - $6 \text{ m/s}^2$
- Sebuah kendaraan melaju dari keadaan diam dengan percepatan tetap  $3 \text{ m/s}^2$ . Jarak yang ditempuh kendaraan tersebut setelah berjalan 10 s adalah ....
    - 30 m
    - 150 m
    - 180 m
    - 200 m
    - 300 m

- Gambar berikut menunjukkan grafik  $s - t$  gerak lurus dari dua benda A dan B.



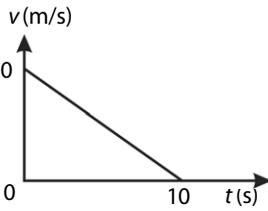
Dapat dikatakan bahwa ....

- A dan B berangkat dari tempat yang sama
- kedua benda bertemu di titik acuan
- $v_B > v_A$
- kedua benda bergerak searah
- $v_B = v_A$

13. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 21 m/s dan percepatan 2 m/s<sup>2</sup>. Kecepatan benda setelah 10 s adalah ....

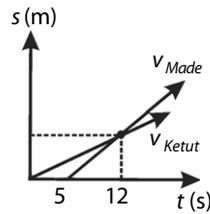
- a. 53 m/s                      d. 41 m/s  
b. 49 m/s                      e. 37 m/s  
c. 45 m/s

14. Gambar berikut menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu dari sebuah benda yang gerak lurus berubah beraturan. Kecepatan benda pada detik ke-6 adalah ....



- a. 40 m/s                      d. 30 m/s  
b. 36 m/s                      e. 20 m/s  
c. 32 m/s

15. Ketut dan Made masing-masing mengendarai sepeda. Kecepatan sepeda mereka ditunjukkan oleh gambar berikut. Made akan menyusul Ketut setelah Ketut bergerak bergerak selama ....



- a. 3 s                              d. 7 s  
b. 4 s                              e. 8 s  
c. 5 s

16. Sebuah kelapa lepas dari tangkainya dan jatuh bebas dari ketinggian 20 m di atas tanah. Jika percepatan gravitasi di tempat itu 10 m/s<sup>2</sup>, waktu yang diperlukan dan kecepatannya saat sampai di tanah adalah ....

- a. 2 s dan 20 m/s              d. 5 s dan 10 m/s  
b. 3 s dan 20 m/s              e. 6 s dan 30 m/s  
c. 4 s dan 30 m/s

17. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dari puncak menara yang tingginya 60 m. Di tempat tersebut, percepatan gravitasi 10 m/s<sup>2</sup>. Jika kecepatan awal peluru 20 m/s, tinggi maksimum yang dapat dicapai peluru dihitung dari tanah adalah ....

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

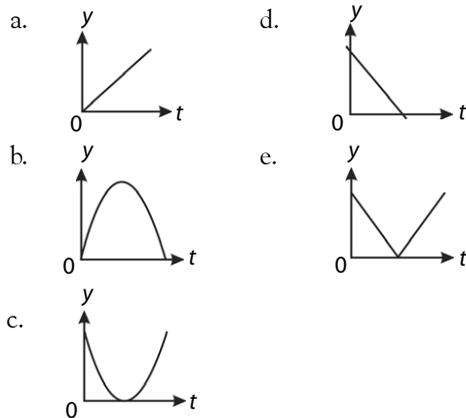
- Benda bergerak dari posisi -3 m ke posisi +6 m, kemudian bergerak ke posisi 0. Jika waktu total yang dibutuhkan adalah 30 s, tentukan kecepatan rata-rata gerak benda tersebut.
- Sebuah mobil mula-mula bergerak dari kota Palembang menuju ke kota Padang dengan kecepatan 10 m/s, kemudian dipercepat dengan percepatan tetap 4 m/s<sup>2</sup>. Tentukanlah:
  - kecepatan mobil setelah 15 s;
  - jarak yang ditempuh mobil setelah 20 s.
- Dua benda A dan B berangkat dari titik yang sama. A bergerak dengan percepatan 2 m/s<sup>2</sup> dan B bergerak dengan percepatan 3 m/s<sup>2</sup>. Kapan dan di manakah benda A mengejar benda B?
- Dua benda terletak sebidang dan segaris, masing-masing terpisah sejauh 500 m. Kemudian, kedua benda bergerak saling mendekati dengan kecepatan tetap 8 m/s dan 12 m/s. Tentukanlah:
  - setelah berjalan berapa sekon A bertemu dengan B;
  - jarak yang ditempuh A untuk bertemu dengan B.
- Kecepatan kereta api Lodaya berkurang dari 25 m/s menjadi 10 m/s, sepanjang jarak 500 m. Berapa jauh lagi kereta api bergerak sampai berhenti dan berapa lama waktu yang diperlukan untuk menghentikannya?

- a. 80 m                              d. 100 m  
b. 90 m                              e. 120 m  
c. 95 m

18. Batu dengan massa 3 kg dan besi dengan massa 5 kg dilepaskan dari tempat dan ketinggian yang sama terhadap tanah. Jika gaya gesekan udara dan gaya Archimedes dianggap nol, pernyataan yang benar adalah ....

- a. batu jatuh lebih awal daripada besi  
b. besi jatuh lebih awal daripada batu  
c. batu dan besi jatuh bersamaan  
d. benda jatuh bergantung massanya  
e. benda jatuh tidak bergantung ketinggiannya

19. Jika sebuah benda dilemparkan vertikal ke atas, grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dan waktu ( $t$ ) sampai benda kembali ke tanah adalah ....



20. Sebuah keran meneteskan air setiap 1 detik. Pada saat tetes pertama mengenai tanah, tetes ke-5 mulai jatuh. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tinggi kran adalah ....

- a. 80 m                              d. 50 m  
b. 75 m                              e. 35 m  
c. 60 m

6. Dari ketinggian 160 m, sebuah benda ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Pada saat yang sama, benda lain ditembakkan pula vertikal ke atas dari tanah dengan kecepatan 40 m/s (vertikal di bawah benda yang pertama). Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , pada ketinggian berapa kedua benda bertemu?

7. Seorang anak berada di atas menara yang tingginya 80 m. Ia melemparkan bola tenis vertikal ke bawah dengan kecepatan awal 2 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukanlah:

- a. waktu yang diperlukan bola tenis sampai di tanah;  
b. kecepatan bola tenis saat sampai di tanah.

8. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 150 m. Pada saat bersamaan, dari bawah ditembakkan pula benda lain vertikal ke atas dengan kecepatan 30 m/s.

- a. Kapan kedua benda tersebut bertumbukan?  
b. Di manakah kedua benda tersebut bertumbukan diukur dari tanah?

9. Sebuah kotak dilepaskan dari suatu ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal. Selang 2 detik dari tempat yang sama, ditembakkan sebuah peluru vertikal ke bawah. Setelah 5 detik, peluru mengenai kotak. Tentukanlah:

- a. kecepatan awal benda peluru;  
b. kecepatan kotak saat ditumbuk peluru.

# Bab 4



Sumber: CDImage

Roller coaster, pada kecepatan tertentu di lintasan yang menghadap ke tanah penumpangnya tidak terjatuh.

## Gerak Melingkar

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep dan prinsip dasar kinematika dan dinamika benda titik.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menganalisis besaran Fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan.

Pernahkah Anda melihat kereta luncur (*roller coaster*)? Mengapa orang yang naik kereta luncur tidak terpental keluar ketika kereta luncur bergerak pada rel yang melingkar?

Gerak benda-benda yang lintasannya berupa lingkaran disebut gerak melingkar. Sebuah benda dikatakan melakukan gerak melingkar beraturan jika lintasannya berupa lingkaran dan kelajuan benda tersebut konstan.

Gerak melingkar sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, antara lain gerak pentil roda sepeda yang sedang berputar, gerakan kereta luncur mengitari lintasan rel yang berbentuk lingkaran, sampai gerakan benda-benda yang relatif besar, yaitu gerakan planet-planet mengitari Matahari melalui lintasannya atau orbitnya.

Apakah gerak melingkar itu? Adakah hubungan antara gerak lurus yang telah Anda pelajari dan gerak melingkar? Jika Anda ingin mengetahui jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut, pelajari bab ini dengan baik.

- A. Gerak Melingkar Beraturan**
- B. Percepatan Sentripetal**
- C. Aplikasi Gerak Melingkar**
- D. Gerak Melingkar Berubah Beraturan**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Gerak Melingkar, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang Anda ketahui tentang gerak melingkar?
2. Apakah yang dimaksud dengan frekuensi, periode, dan laju linear?
3. Pada gerak melingkar, dikenal satuan rpm, apa yang Anda ketahui tentang satuan tersebut?
4. Pada gerak lurus, dikenal percepatan. Adapun pada gerak melingkar dikenal percepatan sudut. Apakah perbedaan antara dua istilah tersebut?
5. Sebutkan benda-benda di sekitar Anda yang merupakan contoh gerak melingkar?

## A. Gerak Melingkar Beraturan

Apakah yang dimaksud dengan gerak melingkar beraturan? Agar Anda memahaminya, lakukan kegiatan berikut.



### Aktivitas Fisika 4.1

#### Gerak Melingkar

##### Tujuan Percobaan

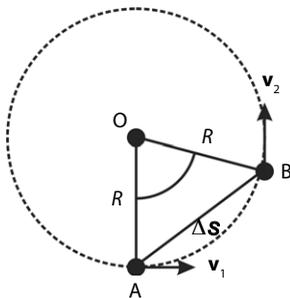
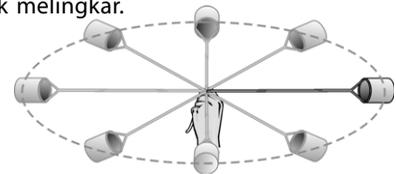
Mengamati keadaan benda yang bergerak melingkar.

##### Alat-Alat Percobaan

1. Kaleng cat bekas
2. Tali secukupnya
3. Air

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Isilah kaleng bekas cat dengan air sampai kaleng cat terisi setengah.
2. Ikatlah tali pada pegangan kaleng tersebut.
3. Putar kaleng cat yang berisi air dengan tali sebagai pengikatnya dan tangan sebagai poros putaran, seperti diperlihatkan pada gambar.
4. Amati keadaan air dalam kaleng cat. Mengapa air tidak tumpah? Atau mengapa air tumpah?



**Gambar 4.1**

Uraian sebuah vektor perpindahan.

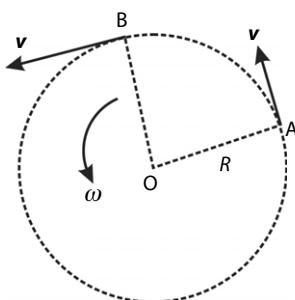
Perhatikan **Gambar 4.1**. Sebuah partikel bergerak pada lintasan sepanjang busur lingkaran yang berjari-jari  $R$ . Saat berada di titik A, partikel memiliki kecepatan  $v_1$ . Kemudian, partikel bergerak hingga berada di titik B dengan kecepatan  $v_2$ . Kelajuan partikel di titik A dan di titik B sama besarnya, tetapi kecepataannya tidak sama. Hal ini disebabkan kecepatan merupakan besaran vektor.

Pada **Gambar 4.1**, terlihat bahwa arah kecepatan partikel di posisi A berbeda dengan arah kecepatan partikel ketika berada di posisi B. Jadi, walaupun nilai  $v_1$  sama besarnya dengan nilai  $v_2$ , tetapi arah kecepatan partikel di setiap titik pada lintasannya tidak sama.

### 1. Laju Linear

Sebuah partikel yang bergerak melingkar seperti pada **Gambar 4.2** menempuh lintasan sepanjang keliling lingkaran  $2\pi R$  dengan kelajuan tetap  $v$ , dan waktu tempuh  $T$ . Waktu yang diperlukan partikel untuk menempuh satu kali putaran disebut periode atau waktu putar, diberi lambang  $T$ , dan banyaknya putaran yang dilakukan partikel dalam satu sekon disebut frekuensi, diberi lambang  $f$ . Hubungan antara periode dan frekuensi memenuhi persamaan

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \quad (4-1)$$



**Gambar 4.2**

Gerak melingkar dari sebuah partikel.

Laju linear partikel secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$\text{laju linear} = \frac{\text{panjang lintasan}}{\text{waktu tempuh}}$$

Dalam satu periode, partikel menempuh sudut sebesar  $2\pi$ . Dengan demikian, laju linearnya adalah

$$v = \frac{2\pi R}{T} \quad (4-2)$$

Besaran  $T$  dapat diganti dengan frekuensi  $f$  sehingga persamaannya menjadi

$$v = 2\pi Rf \quad (4-3)$$

Keterangan:

$v$  = laju linear (m/s);  $T$  = periode (s)  
 $R$  = jari-jari lintasan (m);  $f$  = frekuensi (Hz)

### Contoh 4.1

Dalam waktu 20 s, sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan dapat melakukan 4 kali lingkaran penuh. Tentukan periode dan frekuensi gerak benda tersebut.

Jawab:

$$T = \frac{\text{waktu yang dibutuhkan}}{\text{jumlah lingkaran penuh}} = \frac{20\text{ s}}{4} = 5\text{ s}$$

Frekuensi dihitung menggunakan Persamaan (4-1).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5\text{ s}} = 0,2\text{ Hz}$$

Jadi, periodenya adalah 5 s dan frekuensi adalah 0,2 Hz.

### Contoh 4.2

Sebuah batu diikat dengan seutas tali, kemudian diputar sehingga bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari lingkaran 2 m. Batu melakukan  $\frac{1}{2}$  kali putaran setiap detik. Berapakah laju linear batu tersebut?

Jawab:

Diketahui:  $R = 2\text{ m}$  dan  $f = \frac{1}{2}$  kali

Untuk menghitung periode, digunakan Persamaan (4-1)

$$T = \frac{1}{f} = 2\text{ s}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{(2)(3,14)(2\text{ m})}{(2\text{ s})} = 6,28\text{ m/s}$$

Jadi, laju linear batu tersebut adalah 6,28 m/s.

## 2. Kecepatan Sudut (Kecepatan Anguler)

Perhatikan kembali Gambar 4.2. Sebuah partikel bergerak melingkar beraturan dengan sudut tempuh  $\theta$  dalam selang waktu  $\Delta t$ . Gerak partikel pada selang waktu yang sama akan menempuh besar sudut yang sama sehingga persamaan kecepatan sudut dapat ditulis

$$\text{kecepatan sudut} = \frac{\text{besar sudut tempuh}}{\text{waktu tempuh}}$$

## Ingatlah



Arah kecepatan linear pada setiap titik selalu menyinggung lingkaran dan arahnya selalu berubah.

## Tokoh



### Johannes Kepler (1571–1630)



Sumber: *Jendela IPTEK, "Gerak dan Gaya"*

**Johannes Kepler** lahir di Weil (dekat Stuttgart), Jerman. Ia alumnus Universitas Tübingen dan pernah bekerja di sekolah Lutheran di Graz, Austria. Setelah itu, ia bergabung dengan sebuah asosiasi bersama seorang astronom terkenal, **Tycho Brahe**. Kemudian, **Kepler** menjadi asisten **Brahe** di Praha, Republik Ceko. Hasil karyanya adalah hukum gerak planet, yang kemudian digunakan oleh **Newton** untuk merumuskan hukum gravitasinya. Salah satu hukum tersebut adalah orbit planet berbentuk elips. Pada saat itu, para astronom percaya bahwa orbit sebuah planet berbentuk lingkaran. Kepercayaan ini telah berlangsung selama 2.000 tahun. Namun, berdasarkan perhitungan **Kepler** ketika melakukan observasi terhadap penelitian yang dilakukan oleh **Brahe** untuk orbit planet Mars, bentuk orbitnya tidak berbentuk lingkaran melainkan berbentuk elips.



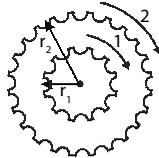
## Informasi untuk Anda

Penggunaan variabel kecepatan sudut dan kecepatan linear di antaranya adalah mengenai hubungan roda-roda bergerigi. Roda-roda bergerigi dihubungkan untuk mempercepat, memperlambat, atau membalik putaran roda. Di antaranya adalah

1. Susunan seporos:

$$\omega_1 = \omega_2$$

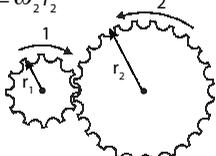
$$\frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2}$$



2. Susunan bersinggungan:

$$v_1 = v_2$$

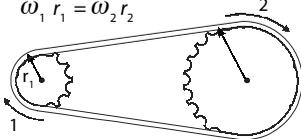
$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$



3. Susunan terhubung sabuk:

$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$



### Information for You

Uses of angular and linear velocity variable is about gear connection. Gears connected to quicken, to slowing down or returning. There is:

1. One axis formation
2. Contact formation
3. Incircuit belt formation.

Dalam satu periode, partikel menempuh sudut sebesar  $2\pi$ . Dengan demikian, kecepatan sudutnya adalah

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4-4)$$

Keterangan:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$T$  = periode (s)

Untuk satu putaran atau satu periode ( $T$ ), besar sudut yang ditempuh adalah  $2\pi$  radian atau  $360^\circ$ . Dengan demikian,

$$2\pi \text{ radian} = 360^\circ$$

$$\pi \text{ radian} = 180^\circ$$

$$1 \text{ radian} = \frac{180}{\pi} = 57,32^\circ$$

Kecepatan sudut dapat ditulis dalam putaran/menit, biasa disebut *cpm*, artinya *cycle per minute* atau dalam *cps* (*cycle per second*). Dalam menyelesaikan soal, kadang-kadang Anda menemukan persepsi yang keliru, misalnya pengertian dari frekuensi sudut. Arti frekuensi sudut di sini bukan banyaknya putaran yang ditempuh setiap satuan waktu, tetapi besar kecepatan sudut setiap satuan waktu. Lebih mudah jika Anda melihat satuannya, yaitu rad/s.

### 3. Hubungan Laju Linear dan Kecepatan Sudut

Hubungan antara laju linear dan kecepatan sudut (angular) diperoleh dengan menggabungkan **Persamaan (4-2)** dan **Persamaan (4-4)** sehingga diperoleh

$$v = \frac{2\pi R}{T} \text{ dan } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Dari kedua persamaan tersebut, diperoleh

$$v = \omega R \quad (4-5)$$

Keterangan:

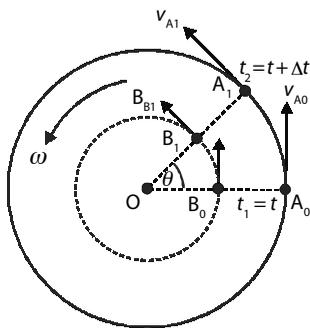
$v$  = kecepatan linear (m/s)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$R$  = jari-jari (m)

Perhatikan **Persamaan (4-5)**. Dari persamaan tersebut dapat dikatakan bahwa untuk kecepatan sudut  $\omega$  tertentu, kecepatan linear  $v$  dipengaruhi oleh jarak terhadap pusat putaran ( $R$ ).

**Gambar 4.3** merupakan skema sebuah piringan yang sedang berputar. Sumbu putarnya terletak di titik pusat piringan  $O$ . Piringan tersebut sedang berputar dengan kecepatan sudut yang konstan. Artinya, setiap selang waktu yang sama, titik  $A$  atau titik  $B$  menempuh sudut putaran yang sama. Titik  $A_0$  dan  $B_0$  merupakan titik-titik yang terletak pada piringan tersebut sedemikian sehingga  $OB_0 < OA_0$ . Dengan kata lain, titik  $A_0$  memiliki lintasan lingkaran yang jari-jarinya lebih besar daripada jari-jari lintasan titik  $B_0$ . Besar kecepatan linear sebuah titik pada piringan yang sedang berotasi dipengaruhi oleh jarak titik tersebut dari titik pusat. Dari **Gambar 4.3**, dapat disimpulkan bahwa kecepatan linear titik  $A_0$  lebih besar daripada kecepatan linear titik  $B_0$ . Semakin dekat sebuah titik dari pusat putaran, semakin kecil kecepatan linearnya. Adapun kecepatan sudut titik  $A_0$  sama dengan kecepatan sudut titik  $B_0$ .



**Gambar 4.3**

Kecepatan linear dipengaruhi oleh jarak benda terhadap pusat putaran pada kecepatan sudut tertentu.

### Contoh 4.3

Sebuah benda bergerak melingkar dengan kecepatan 240 rpm (rotasi per menit). Hitunglah:

- periode putarnya;
- kecepatan sudut;
- laju linear jika jari-jari roda sepeda 20 cm.

Jawab:

240 rpm = 240 putaran/menit = 4 putaran/s  $\rightarrow f = 4$  Hz

- Periode ( $T$ ) adalah kebalikan dari frekuensi.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4 \text{ Hz}} = 0,25 \text{ s}$$

- Kecepatan sudut ( $\omega$ ) dihitung dengan menggunakan **Persamaan (4-4)**.

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi f \\ &= 2\pi (4 \text{ Hz}) = 8\pi \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- Jari-jari ( $R$ ) = 20 cm = 0,2 m

Laju linear ( $v$ ) dihitung menggunakan **Persamaan (4-5)**.

$$\begin{aligned}v &= \omega R \\ &= (8\pi)(0,2 \text{ m}) = 1,6\pi \text{ m/s}\end{aligned}$$

Jadi, periode putarannya 0,25 s, kecepatan sudutnya  $8\pi$  rad/s, dan laju linearnya adalah  $1,6\pi$  m/s.

### Kata Kunci

- laju linear
- kecepatan sesaat

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

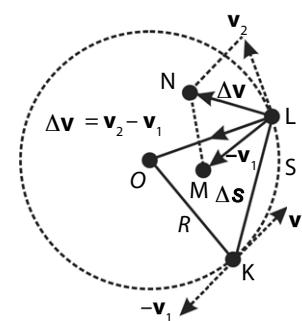
- Untuk mengitari lintasan lingkaran sebanyak 30 kali putaran, sebuah benda memerlukan waktu 36 menit. Berapa periode dan frekuensi gerakan benda tersebut?
- Sebuah roda turbin pembangkit listrik memiliki garis tengah 3 m, dan berputar pada 60 rpm. Berapakah:
  - frekuensinya;
  - periodenya;
  - kecepatan sudutnya;
  - laju linear pada pinggir roda?
- Eduardus mengitari lintasan melingkar dengan mengendarai sepeda motor yang radiusnya 300 m dengan kelajuan 72 km/jam. Hitung kecepatan sudut sepeda motor tersebut dalam rad/s.
- Jelaskan pengertian kecepatan linear dan kecepatan sudut.
- Sebuah batu diikat dengan tali, kemudian diputar. Jika panjang tali 1 meter dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu putaran adalah 1 sekon, berapakah kecepatan linear batu tersebut?

## B. Percepatan Sentripetal

Sebuah benda yang melakukan gerak melingkar beraturan memiliki percepatan yang arahnya menuju titik pusat lingkaran. Percepatan ini disebut percepatan sentripetal. Pada gerak lurus beraturan, arah kecepatan benda tetap sehingga vektor kecepatannya juga tetap. Pada gerak melingkar beraturan, percepatan yang dimiliki berfungsi mengubah arah gerak, dari gerak lurus menjadi gerak melingkar beraturan. Oleh sebab itu, percepatan pada gerak melingkar selalu menuju ke pusat yang disebut percepatan sentripetal atau percepatan radial dan diberi lambang  $a_{sp}$ .

Pada gerak melingkar, arah kecepatan linear pada setiap titik selalu menyinggung lingkaran dan arahnya selalu berubah. Perubahan vektor kecepatan ini disebabkan adanya percepatan sentripetal.

Pada **Gambar 4.4**, jika kecepatan benda pada titik K dan L berturut-turut  $v_1$  dan  $v_2$  maka beda kecepatan  $\Delta v = v_2 - v_1$ . Segitiga LMN sebangun dengan segitiga OKL sehingga akan diperoleh perbandingan berikut.



**Gambar 4.4**

Arah kecepatan linear pada gerak melingkar.



Percepatan pada gerak melingkar selalu menuju ke pusat lingkaran.

$$LM : R = LN : \Delta s$$

$$v : R = \Delta v : \Delta s$$

Selanjutnya, akan diperoleh persamaan  $\frac{\Delta v}{\Delta s} = \frac{v}{R}$  atau  $\Delta v = \frac{v}{R} \Delta s$  sehingga percepatan rata-rata menjadi  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ . Untuk selang waktu  $\Delta t$  mendekati nol, titik K hampir berimpit dengan titik L sehingga  $\Delta v$  mendekati nol. Adapun  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  tidak sama dengan tak hingga tetapi memiliki harga yang disebut percepatan sesaat ( $a$ ) yang besarnya dituliskan sebagai berikut.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta v}{\Delta t} \right) = \frac{v}{R} \left( \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \right);$$

Oleh karena,  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v$  maka percepatan sesaat ( $a$ ) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (4-6)$$



### Tantangan untuk Anda

Dapatkan suatu benda dipercepat jika kelajuannya konstan?

Besar percepatan sentripetal pada gerak melingkar beraturan selalu tetap di setiap titik dan arahnya selalu menuju ke pusat lingkaran. Percepatan sentripetal ini berbanding lurus dengan kuadrat kelajuan linear benda. Oleh karena kelajuan linear sebanding dengan kelajuan angular, besar percepatan sentripetal juga merupakan fungsi kuadrat terhadap kelajuan angularnya.

$$a_{sp} = \frac{v^2}{R} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R \quad (4-7)$$

Jika  $\omega$  pada **Persamaan (4-4)** disubstitusikan ke **Persamaan (4-7)**, **Persamaan (4-7)** dapat dituliskan sebagai berikut.

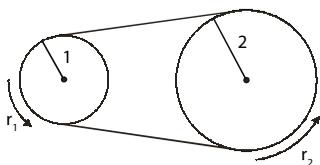
$$a_{sp} = \omega^2 R = \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

$$a_{sp} = 4\pi^2 f^2 R$$

Oleh karena  $f = \frac{1}{T}$ , persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

$$a_{sp} = 4\pi^2 f^2 R \quad (4-8)$$

### Tugas Anda 4.1



Dua buah roda dihubungkan seperti pada gambar. Jari-jari roda pertama 5 cm jari-jari roda kedua 10 cm. Berapakah kecepatan roda 2 jika kecepatan sudut roda pertama adalah 200 rpm?

Keterangan:

- $a_{sp}$  = besar percepatan sentripetal (m/s<sup>2</sup>)
- $v$  = besar kecepatan linear (m/s)
- $R$  = jari-jari lintasan (m)
- $f$  = frekuensi (Hz)

### Contoh 4.4

Sebuah piringan hitam sedang berputar dengan kecepatan sudut 30 rpm. Berapakah percepatan sebuah titik putih yang berada 5 cm dari pusat piringan tersebut?

**Jawab:**

Diketahui:  $\omega = 30 \text{ rpm}$ ;  $R = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$

$30 \text{ rpm} = 30 \text{ putaran/menit} = \frac{30}{60} \text{ putaran/s} = 0,5 \text{ putaran/s}$

Jadi, frekuensi putaran piringan tersebut adalah

$f = 0,5 \text{ Hz}$

jari-jari  $R = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$

Percepatan sentripetal dapat dihitung dengan **Persamaan (4–8)**.

$a_{sp} = 4\pi^2 f^2 R = 4\pi^2 (0,5 \text{ Hz})^2 (5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 0,49 \text{ m/s}^2$

Jadi, percepatannya adalah  $0,49 \text{ m/s}^2$ .

### Kata Kunci

- kecepatan sentripetal
- kecepatan sesaat

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Sebuah kipas angin berdiameter 40 cm berputar pada 1.200 rpm. Berapa percepatan sentripetal yang dialami ujung-ujung kipas?
2. Sebuah batu diikat dengan tali yang panjangnya 1 m. Dalam 30 detik, batu melakukan 40 putaran. Hitunglah percepatan sentripetal batu tersebut.
3. Sebuah piringan dengan jari-jari 5 cm diputar dengan kecepatan sudut 20 rad/s. Tentukan percepatan sentripetal sebuah titik bermassa 2 g yang berada di pinggir piringan tersebut.
4. Sebuah benda bergerak melingkar dengan percepatan sentripetal  $20 \text{ m/s}^2$ . Benda tersebut bergerak 5 cm dari pusat lingkaran. Jika jarak benda menjadi 2 kali semula, hitunglah percepatan sentripetalnya.
5. Sebuah benda bergerak melingkar. Dalam waktu 2 sekon, benda tersebut telah melakukan 6 putaran. Berapakah jarak benda tersebut terhadap pusat lingkaran jika percepatan sentripetalnya  $15 \text{ m/s}^2$ ?

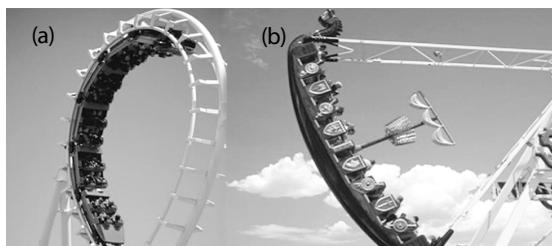
## C. Aplikasi Gerak Melingkar

### 1. Gerak Melingkar pada Bidang Vertikal

Di Dunia Fantasi, Taman Impian Jaya Ancol Jakarta, terdapat sejumlah permainan yang menggunakan prinsip gerak melingkar pada bidang vertikal, antara lain *Swing Boat* (kora-kora) dan *Roller Coaster* (kereta luncur).

Perhatikan **Gambar 4.5**. Pada kereta luncur, usaha yang diberikan terhadap kereta luncur dari mesin. Energi kinetik sebelum lintasan melingkar harus menghasilkan kecepatan minimum yang dapat menahan penumpang sehingga tidak jatuh ketika kereta berada di atas lintasan.

Berbeda dengan kincir raksasa, kora-kora tidak melakukan gerak satu lingkaran penuh, tetapi gerak melingkar maksimumnya hanya setengah lingkaran kemudian bolak-balik seperti sebuah bandul. Di lintasan terbawahnya, terdapat suatu ban yang mendorong kora-kora agar dapat selalu berayun dengan sempurna.



Sumber: CD Image

### Kata Kunci

- arah radial
- gaya sentripetal

**Gambar 4.5**

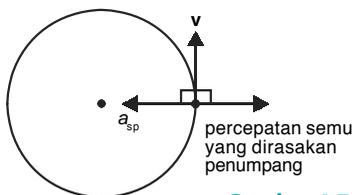
- a. Kereta luncur (*roller coaster*)
- b. *Swing boat* (kora-kora)



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.6**

Gerak penumpang pada permainan ontang-anting.



**Gambar 4.7**

Diagram vektor gerak penumpang

## 2. Gerak Melingkar pada Arah Horizontal

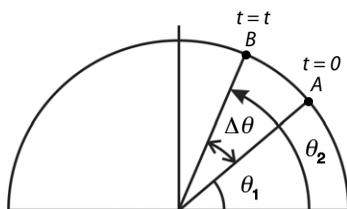
Anda masih ingat dengan percobaan yang dilakukan pada **Aktivitas Fisika 4.1**? Sesungguhnya, gerakan yang menerapkan prinsip yang sama dapat Anda lihat pada skala yang lebih besar, misalnya pada permainan ontang-anting. Perhatikan **Gambar 4.6**. Jika Anda sedang menunggangi permainan ini, Anda akan merasakan seolah-olah sedang bergerak dipercepat meninggalkan poros putaran.

Untuk menyederhanakan persoalan, misalnya ontang-anting tersebut sedang bergerak berlawanan arah jarum jam dengan kelajuan linear sesaat yang tetap, seperti diperlihatkan pada **Gambar 4.7**. Anda yang sedang menaiki ontang-anting menghadap ke arah luar lintasan melingkar, kecepatan sesaat pada titik itu adalah menyinggung lingkaran. Jika tidak ada yang menarik Anda (tali), Anda akan bergerak terbang meninggalkan lintasan ontang-anting. Sebenarnya, Anda sedang bergerak dipercepat menuju ke arah pusat lingkaran.

### Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Jelaskanlah mengapa penumpang *roller coaster* tidak jatuh ketika sedang bergerak membentuk lingkaran.
2. Ketika naik permainan ontang-anting, mengapa Anda merasa seakan-akan terlempar dan dipercepat menuju ke luar lintasan ontang-anting?
3. Tuliskanlah aplikasi gerak melingkar lainnya di sekitar Anda.



**Gambar 4.8**

Sebuah titik berpindah dari A menuju B.

## D. Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Amatilah sebuah pentil pada roda sepeda. Misalnya, pentil sepeda Anda sedang berputar mulai dari 5 putaran/menit menjadi 100 putaran/menit, artinya pentil roda tersebut mengalami perubahan kecepatan sudut ( $\omega$ ). Besarnya perubahan kecepatan sudut pada setiap titik adalah tetap. Sama dengan gerak lurus berubah beraturan, percepatan didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan kecepatan dan selang waktu terjadinya perubahan tersebut.

$$\text{Percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{selang waktu}}$$

Dalam gerak melingkar berubah beraturan, percepatan sudutnya konstan, dapat ditulis hubungan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \text{ atau } \alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t - t_0} \quad (4-9)$$

Anda ketahui bahwa  $\Delta\omega = \omega_t - \omega_0$  dan  $t = t - t_0 = t$

maka persamaannya menjadi  $\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t}$  atau

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t \quad (4-10)$$

Perpindahan yang dilakukan partikel besarnya adalah  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$  dalam

selang waktu  $\Delta t$ . Berarti, besar kecepatan sudut rata-rata adalah  $\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ . Besaran  $\bar{\omega}$  merupakan besar kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata dapat didefinisikan sebagai nilai tengah dari kecepatan awal dan kecepatan akhir. Dengan demikian, persamaan  $\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{2}(\omega_0 + \omega) = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

atau dapat dituliskan juga dalam bentuk berikut.

$$\Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)\Delta t$$

Dengan memasukkan persamaan  $\omega = \omega_0 + \alpha t$  akan diperoleh

$$2\Delta\theta = \omega_0 t + (\omega_0 + \alpha t)t$$

$$2\Delta\theta = 2\omega_0 t + \alpha t^2$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (4-11)$$

Dengan demikian, **Persamaan (4-11)** menjadi

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (4-12)$$

Keterangan:

$\theta$  = besar sudut yang ditempuh (rad)

$\omega_0$  = kecepatan sudut awal (rad/s)

$\alpha$  = percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)

$t$  = waktu (s)

Jika Anda perhatikan, pada gerak lurus berubah beraturan ternyata memiliki kesamaan hubungan matematis dengan gerak melingkar berubah beraturan. Oleh karena itu, Anda dapat menyelesaikan persoalan yang menyangkut kecepatan sudut, percepatan sudut, dan besar sudut yang ditempuh dengan persoalan yang sama dengan gerak lurus beraturan.

**Tabel 4.1**

Perbandingan Gerak Melingkar Berubah Beraturan dengan Gerak Lurus Berubah Beraturan

Gerak Translasi Berubah Beraturan (Percepatan Konstan)	Gerak Melingkar Berubah Beraturan (Perubahan Sudut Konstan)
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$

### Contoh 4.5

Sebuah roda gila mesin diesel berputar 360 rpm (rotasi per menit), kemudian dimatikan sehingga roda berputar diperlambat sampai berhenti dalam waktu 12 sekon. Jika percepatan sudut konstan, berapa kali roda berputar sebelum berhenti?

**Jawab:**

Diketahui: Kecepatan sudut awal ( $\omega_0$ ) = 360 rpm = 6 putaran/s,

Waktu sampai berhenti,  $t = 12$  s.

Perlambatan roda diperoleh dengan persamaan

$$\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{\Delta t}$$
$$= \frac{(0 - 6) \text{ putaran/s}}{12 \text{ s}} = -\frac{1}{2} \text{ putaran/s}^2$$

Jumlah putaran dihitung dengan **Persamaan (4-12)**.

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$
$$\theta - \theta_0 = (6 \text{ putaran})(12 \text{ s}) + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{2}\right) (12)^2$$

$$\theta = 72 - 36 = 36 \text{ putaran}$$

## Mari Mencari Tahu



Pada balapan *moto GP*, para pembalap memiringkan kendaraan dan badannya ketika melalui tikungan. Mengapa demikian? Apa yang terjadi jika pembalap itu tidak memiringkan badannya?

## Tes Kompetensi Subbab D

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Sebuah titik materi bergerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan sudut awal 20 rad/s. Setelah bergerak 8 s, titik materi tersebut berhenti. Tentukanlah:
  - percepatan yang dialami titik materi;
  - besar sudut yang ditempuh.
- Sebuah motor listrik dari keadaan diam bergerak rotasi dengan kecepatan sudut konstan sebesar 5 rad/s<sup>2</sup> selama 8 s. Kemudian, motor listrik dihentikan dengan perlambatan konstan dalam 10 putaran. Tentukanlah:
  - perubahan sudut motor listrik;
  - waktu yang diperlukan sebelum motor berhenti.
- Sebuah mesin memerlukan waktu 5 s untuk berubah dari kecepatan sudut 400 rpm menjadi 800 rpm.
  - Berapakah percepatan sudutnya?
  - Berapa banyak putaran yang dilakukan dalam waktu tersebut?
- Sebuah roda berputar dari keadaan diam ke 210 rpm (rotasi per menit) dalam waktu 0,75s. Hitunglah:
  - percepatan sudut roda;
  - banyak putaran yang dibuat roda;
  - komponen percepatan tangensial dan sentripetal dari sebuah titik yang berjarak 12 cm dari pusat roda ketika roda berputar dengan kecepatan sudut 180 rpm.

## Rangkuman

- Gerak benda yang lintasannya berupa lingkaran disebut gerak melingkar.
- Frekuensi ( $f$ ) pada gerak melingkar didefinisikan sebagai banyaknya putaran yang dilakukan partikel dalam setiap satuan waktu.
- Periode ( $T$ ) pada gerak melingkar didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan partikel untuk menempuh satu kali putaran.
- Hubungan antara frekuensi ( $f$ ) dan periode ( $T$ ) pada gerak melingkar dituliskan sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f}$$

- Kecepatan sudut didefinisikan sebagai berikut.
$$\text{Kecepatan sudut} = \frac{\text{Besarnya sudut tempuh}}{\text{Waktu tempuh}}$$
- Percepatan sentripetal pada gerak melingkar arahnya menuju titik pusat lingkaran.

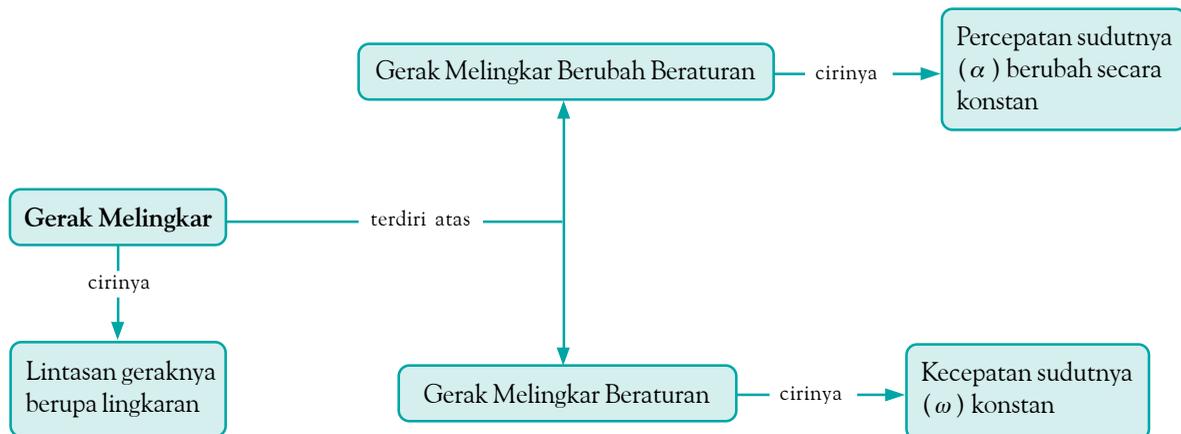
$$a_{sp} = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 f^2 R$$

7. Di taman permainan banyak diterapkan prinsip gerak melingkar, di antaranya adalah kora-kora dan kereta luncur pada arah vertikal. Selain itu, permainan ontang-anting juga menerapkan prinsip gerak melingkar pada arah horizontal.

8. Dalam gerak melingkar berubah beraturan percepatan sudutnya konstan, yaitu

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentunya Anda dapat menyebutkan contoh-contoh benda yang bergerak melingkar yang ada di lingkungan Anda. Dapatkah Anda menyebutkan manfaat lain? Dari bab ini, bagian manakah

dari materi bab ini yang Anda pahami? Agar semua materi pada bab ini Anda pahami, cobalah diskusikan dengan teman Anda atau minta penjelasan kepada guru.

**A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.**

- Benda dikatakan bergerak melingkar jika ....
  - kecepatannya tetap
  - lintasannya berupa lingkaran
  - lintasannya berupa garis lurus
  - lintasannya tak menentu
  - percepatannya tetap
- Arah kecepatan linear pada benda yang sedang bergerak melingkar adalah ....
  - menuju pusat lingkaran
  - berasal dari pusat lingkaran
  - menyinggung lintasan dan tegak lurus jari-jari lingkaran
  - menjauhi pusat lingkaran
  - berlawanan dengan arah gerak
- Banyaknya putaran setiap sekon pada gerak melingkar disebut ....
  - periode
  - frekuensi
  - kecepatan sudut
  - percepatan sudut
  - panjang lintasan
- Sebuah benda bergerak melingkar selama 30 menit, benda tersebut telah melakukan 3.600 putaran. Waktu yang diperlukan benda untuk melakukan satu putaran adalah ....
  - 0,1 sekon
  - 0,2 sekon
  - 0,3 sekon
  - 0,4 sekon
  - 0,5 sekon
- Perhatikan gambar berikut.
 

Pernyataan yang benar dari gambar tersebut adalah .....

  - kecepatan linear di A lebih besar daripada kecepatan linear di B
  - kecepatan linear di B lebih besar daripada kecepatan linear di A
  - kecepatan linear di O lebih besar daripada kecepatan linear di B dan A
  - kecepatan sudut di A lebih kecil daripada kecepatan sudut di B dan O
  - kecepatan linear di B lebih besar daripada kecepatan sudut di O dan A
- Sebuah benda bergerak melingkar dengan kecepatan 720 rpm. Pernyataan yang benar adalah ....
  - kecepatan tersebut merupakan kecepatan linear
  - frekuensi putarannya adalah 6 putaran/sekon
  - frekuensi putarannya adalah 12 putaran/sekon
  - periode putarannya adalah 0,6 sekon
  - kecepatan sudutnya 6 rotasi/sekon
- Titik A terletak di tepi piringan yang sedang berputar. Adapun titik B terletak di tengah-tengah jari-jari piringan tersebut. Perbandingan kecepatan linear titik A dan titik B adalah ....
 

a. 1 : 1	d. 2 : 3
b. 1 : 2	e. 2 : 5
c. 2 : 1	
- Sebuah benda yang melakukan gerak melingkar beraturan memiliki ....
  - kecepatan linear tetap
  - percepatan tetap
  - kecepatan sudut tetap
  - percepatan dengan arah menjauhi pusat
  - besar percepatannya sebanding dengan kecepatannya
- Percepatan sentripetal pada benda yang bergerak melingkar beraturan berfungsi ....
  - menambah kecepatan benda
  - mempertahankan arah kecepatan
  - mengubah arah kecepatan
  - memberikan gaya tambahan
  - mempertahankan kelajuan benda
- Jarum *speedometer* sebuah sepeda motor menunjukkan angka 1.200 rpm, berarti kecepatan sudut putaran mesin motor tersebut adalah ....
 

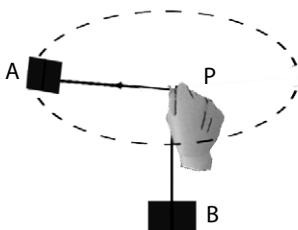
a. $20\pi$ rad/s	d. $80\pi$ rad/s
b. $40\pi$ rad/s	e. $100\pi$ rad/s
c. $60\pi$ rad/s	
- Jika suatu titik bergerak melingkar dengan periode tetap sebesar  $\frac{1}{5}$  detik, titik tersebut bergerak melingkar ....
  - satu putaran selama 5 detik dengan laju tetap
  - 5 putaran setiap detik dengan laju anguler berubah
  - 5 putaran setiap detik dengan laju anguler tetap
  - putaran setiap detik dengan laju anguler berubah
  - 5 putaran setiap detik, setelah itu diam
- Dalam gerak melingkar beraturan, hubungan antara  $v$ ,  $\omega$ , dan  $R$  dinyatakan dengan persamaan ....
 

a. $\omega = vR$	d. $v = \frac{R}{\omega}$
b. $\omega = \frac{v}{R}$	e. $v = \frac{2\pi}{T}$
c. $v = \omega R$	

13. Titik P dan Q berturut-turut terletak pada ujung dan pertengahan jari-jari sebuah roda yang berputar beraturan maka ....
  - a. kecepatan sudut dan kecepatan linearnya sama
  - b. kecepatan sudut dan kecepatan linearnya tidak sama
  - c. kecepatan sudutnya sama, tetapi kecepatan linearnya tidak sama
  - d. kecepatan sudutnya tidak sama, tetapi kecepatan linearnya sama
  - e. percepatan sudutnya tidak sama
14. Piringan berdiameter 20 cm berputar dengan kecepatan sudut 4 rad/s. Jika sebuah titik materi berada pada pinggir piringan tersebut, kelajuan linearnya sebesar ....
  - a. 20 cm/s
  - b. 40 cm/s
  - c. 50 cm/s
  - d. 60 cm/s
  - e. 80 cm/s
15. Kecepatan aliran air yang memutar kincir air adalah 10 cm/s. Jika garis tengah kincir 2 m, kecepatan sudut kincir adalah ....
  - a. 0,05 rad/s
  - b. 0,1 rad/s
  - c. 1 rad/s
  - d. 5 rad/s
  - e. 10 rad/s
16. Suatu titik melakukan gerak melingkar beraturan, sehingga tiap menit membuat 300 putaran. Jika jari-jari lintasannya 40 cm, percepatan sentripetalnya adalah ....
  - a.  $4\pi^2 \text{ m/s}^2$
  - b.  $40\pi^2 \text{ m/s}^2$
  - c.  $400\pi^2 \text{ m/s}^2$
  - d.  $4.000\pi^2 \text{ m/s}^2$
  - e.  $144.000\pi^2 \text{ m/s}^2$
17. Pernyataan yang benar tentang percepatan sentripetal adalah ....
  - a. arahnya menjauhi pusat lingkaran
  - b. arahnya menuju pusat lingkaran
  - c. arahnya tegak lurus jari-jari
  - d. arahnya berlawanan arah gerak
  - e. arahnya tegak lurus bidang lintasan
18. Pernyataan yang benar tentang besar percepatan sentripetal adalah ....
  - a. berbanding lurus dengan kuadrat jari-jari pada kecepatan tetap
  - b. berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari pada kecepatan tetap
  - c. berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan jika jari-jarinya tetap
  - d. tidak dipengaruhi oleh jari-jari
  - e. tidak dipengaruhi oleh kecepatan linear
19. Benda dikatakan bergerak melingkar berubah beraturan jika ....
  - a. kecepatan sudutnya tetap
  - b. kecepatan sudutnya berubah secara beraturan
  - c. percepatannya sama dengan nol
  - d. kecepatan linearnya tetap
  - e. percepatannya tidak tetap
20. Sebuah roda sepeda sedang berputar, kemudian direm. Roda tersebut akhirnya berhenti setelah 12 sekon. Selama waktu itu, roda sepeda telah berputar sebanyak 36 putaran. Jika perlambatan roda adalah  $0,5 \text{ putaran/s}^2$ , kecepatan sudut roda sebelum dilakukan pengereman adalah ....
  - a. 90 rpm
  - b. 180 rpm
  - c. 360 rpm
  - d. 540 rpm
  - e. 720 rpm

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

1. Sebuah benda bermassa 5 kg mengalami gerak beraturan dalam suatu lintasan berbentuk lingkaran yang berjari-jari 50 cm dengan kecepatan linear 2 m/s. Tentukan:
  - a. periode putaran,
  - b. percepatan sentripetal.
2. Perhatikan gambar berikut.



Benda A yang massanya 20 gram diikatkan pada ujung tali dan dihubungkan dengan beban B melalui sehelai

benang. Kemudian, benda A diputar mendatar seperti pada gambar. Panjang tali AP adalah 50 cm dan untuk berputar 20 kali, dibutuhkan waktu 8 s. Tentukan:

- a. periode putarnya,
  - b. kecepatan linearnya,
  - c. percepatan sentripetal dan arahnya, dan
  - d. gaya sentripetal dan arahnya.
3. Benda yang massanya 100 gram melakukan gerak melingkar beraturan sebanyak 150 putaran tiap menit. Jari-jari lingkarannya 40 cm dan kecepatannya 3 m/s. Hitunglah waktu untuk satu kali putar.
  4. Sebuah mobil melaju pada sebuah jalan mendatar dengan kelajuan 72 km/jam. Jika jari-jari lingkaran ban mobil adalah 20 cm, berapakah kecepatan sudut perputaran ban tersebut?
  5. Sebuah kipas angin berputar 900 rpm.

- a. Berapakah kecepatan sudut titik yang terletak pada baling-baling?
  - b. Berapakah laju massa titik ujung baling-baling jika panjang baling-baling adalah 20 cm?
6. Sebuah roda berjari-jari 40 cm berputar pada porosnya. Dalam waktu 20 detik, roda tersebut dapat mencapai kecepatan 900 rpm dari keadaan diam. Roda tersebut dipercepat beraturan.
    - a. Berapakah percepatan sudut roda tersebut?
    - b. Berapakah percepatan tangensial pada roda?
  7. Sebuah katrol berjari-jari 5 cm. Dalam waktu 3 detik, kecepatan sudutnya berubah dari 30 putaran/s menjadi 20 putaran/s.
    - a. Berapakah percepatan sudut yang dialami katrol?
    - b. Berapa putaran katrol tersebut berputar dalam waktu 2 detik?
  8. Sebuah ban mobil berjari-jari 30 cm. Jika mobil dari keadaan diam dapat dipercepat beraturan sehingga dalam waktu 8 detik kecepatannya mencapai 15 m/s, berapakah percepatan sudut ban? Telah berputar berapa kali ban tersebut?
  9. Sebuah alat pengering mesin cuci berputar pada kecepatan 900 putaran/menit (rpm) dan diperlambat beraturan sehingga berputar pada 300 rpm. Perlambatan ini dicapai setelah alat berputar 50 kali.
    - a. Berapakah percepatan sudut mesin cuci tersebut?
    - b. Berapakah waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan tersebut?
  10. Sebuah batu 200g diikat pada ujung tali dan diputar hingga menempuh lingkaran datar yang berjari-jari 1,20 m dengan kecepatan 3 putaran setiap detik. Tentukan percepatan batu tersebut.

# Bab 5



Sumber: Bergulir dan Mengalir, 2004

Setelah melewati garis *finish*, pelari memperlambat laju larinya.

## Dinamika Gerak

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep dan prinsip dasar kinematika dan dinamika benda titik.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menerapkan Hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.

Ketika mendekati garis *finish*, pelari akan mempercepat larinya. Setelah melewati garis *finish*, dia akan memperlambat larinya. Apakah yang mempercepat dan memperlambat gerak pelari tersebut?

Di SMP, Anda telah mempelajari gerak dan hukum-hukum Newton tentang gerak. Dalam kehidupan sehari-hari, Anda tidak pernah terlepas dari gerak. Seorang anak berlari mengejar bola, Anda berjalan ke sekolah, dan bus bergerak meninggalkan terminal merupakan beberapa contoh gerak. Apakah sebenarnya yang menyebabkan benda bergerak?

Amatilah benda-benda bergerak di sekitar Anda, misalnya mobil, sepeda motor, dan benda yang berayun pada seutas tali. Bagaimanakah Fisika menjelaskan terjadinya gerak? Anda akan memahaminya setelah mempelajari bab ini.

- A. Gaya Memengaruhi Gerak Benda**
- B. Penerapan Hukum Newton**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Dinamika Gerak, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang Anda ketahui tentang gaya?
2. Apakah peranan gerak dalam kehidupan sehari-hari?
3. Bagaimana hubungan antara gaya, massa, dan percepatan?
4. Dapatkah sebuah benda bergerak jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut?
5. Tuliskanlah contoh gerak dalam kehidupan sehari-hari serta sebutkan gaya yang memengaruhi gerakan benda tersebut?



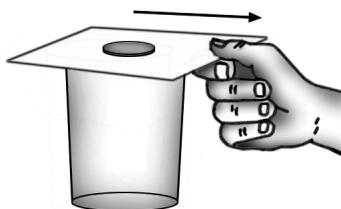
## Tokoh

### Sir Isaac Newton (1642 – 1727)



**Sir Isaac Newton** lahir di Woolsthorpe, Lincolnshire, Inggris pada 25 Desember 1642. Pada 1661, **Newton** berkesempatan belajar di Trinity College, Cambridge, dan lulus pada 1665. Penemuannya antara lain dalam bidang matematika jenis baru saat itu, yakni kalkulus, penemuan dalam bidang cahaya dan warna, dan hukum-hukum tentang gerak termasuk hukum gravitasi. Hukum-hukum tentang gerak yang menghebohkan ialah rumusan dalam jurnalnya yang terkenal, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* atau disebut juga *Principia*.

Sumber: *Jendela IPTEK*, 1997



**Gambar 5.1**

Ketika kertas ditarik dengan cara dihentakkan, di manakah koin ini jatuh?

## A. Gaya Memengaruhi Gerak Benda

Pada Bab 3, Anda telah mempelajari gerak suatu benda tanpa melihat apa yang menyebabkan gerak benda tersebut. Subbab ini akan membahas penyebab dari gerak.

Pada prinsipnya, yang memengaruhi gerak suatu benda adalah gaya. Dalam ilmu Fisika, gaya merupakan konsep yang sangat penting. Ada beberapa macam gaya yang sering dijumpai, misalnya gaya berat, gaya otot, dan gaya pegas.

Hubungan antara gerak benda dengan gaya yang memengaruhi benda tersebut dibahas di dalam hukum-hukum Newton tentang gerak.

### 1. Hukum I Newton

Setiap benda memiliki kecenderungan untuk mempertahankan kedudukannya. Sebuah benda dalam keadaan diam memiliki kecenderungan untuk tetap diam. Sebaliknya, benda dalam keadaan bergerak memiliki kecenderungan untuk tetap bergerak. Sifat seperti ini dinamakan *sifat kelembaman* atau *inersia*.

Sifat kelembaman dapat Anda rasakan ketika Anda berada di dalam kendaraan yang sedang bergerak, kemudian secara tiba-tiba kendaraan tersebut direm sehingga Anda terdorong ke depan. Hal ini terjadi karena sebelum pengereman, Anda dalam keadaan bergerak ke depan dengan kecepatan sama dengan kendaraan sehingga ketika direm Anda terdorong ke depan karena Anda memiliki kecenderungan untuk tetap bergerak. Apa yang akan Anda alami ketika kendaraan mulai bergerak kembali? Mengapa demikian?

Sifat kelembaman benda diungkapkan oleh **Isaac Newton** sebagai Hukum I Newton. Hukum I Newton menyatakan bahwa *jika resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol ( $\Sigma F = 0$ ) maka benda tersebut akan tetap diam atau bergerak lurus dengan kecepatan konstan.*



## Aktivitas Fisika 5.1

### Kelembaman

#### Tujuan Percobaan

Mengamati sifat kelembaman benda

#### Alat-Alat Percobaan

1. Selembar kertas
2. Gelas
3. Uang logam

#### Langkah-Langkah Percobaan

1. Letakkan selembar kertas di permukaan sebuah gelas, kemudian di atas kertas tersebut letakkan sebuah uang logam (koin) seperti pada **Gambar 5.1**.
2. Tariklah kertas dengan cara dihentakkan. Di manakah koin itu jatuh?
3. Tariklah kertas secara perlahan-lahan. Apa yang terjadi dengan koin tersebut?
4. Apa yang Anda simpulkan dari kegiatan ini?

## 2. Hukum II Newton

Gaya yang bekerja pada sebuah benda menyebabkan benda tersebut bergerak dipercepat atau diperlambat. Hukum II Newton mempelajari hubungan antara gaya yang bekerja pada sebuah benda dengan percepatan yang ditimbulkan oleh gaya tersebut. Berikut ini akan dilakukan kegiatan sederhana. Setelah melakukan kegiatan tersebut, Anda diharapkan dapat memahami hubungan antara gaya ( $F$ ), massa benda ( $m$ ), dan percepatan benda ( $a$ ) yang bekerja pada benda tersebut.



### Aktivitas Fisika 5.2

#### Hubungan antara Massa, Percepatan, dan Gaya

##### Tujuan Percobaan

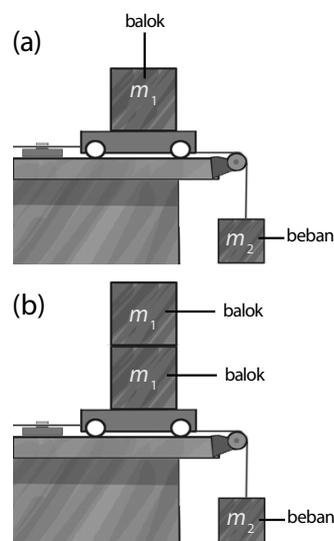
Menyelidiki hubungan antara massa, percepatan, dan gaya pada benda yang mengalami gerak lurus berubah beraturan.

##### Alat-Alat Percobaan

1. 2 buah balok kayu bermassa  $m_1$
2. Meja
3. Beban bermassa  $m_2$ ,  $m_2 \gg m_1$
4. Tali
5. Troli
6. Pewaktu ketik

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susunlah alat percobaan seperti pada **Gambar 5.2**.
2. Nyalakan pewaktu ketik.
3. Lepaskan troli sehingga troli bergerak.
4. Amati jejak pada pewaktu ketik.
5. Hitunglah percepatan troli tersebut.
6. Lakukan langkah 2 sampai 5 untuk massa di atas troli sebesar  $2m_1$ , seperti pada **Gambar 5.2 (b)**.
7. Apakah percepatan yang dialami kedua percobaan itu sama? Mengapa demikian?
8. Bagaimana hubungan antara  $m_1$  dan  $a$ , juga hubungan antara  $2m_1$  dan  $a$ ?
9. Bagaimana hubungan antara  $F = m_2g$  dan  $a$ ?



**Gambar 5.2**

- (a) Balok bermassa  $m_1$  diletakkan di atas troli dan ditarik oleh gaya  $F$  dari beban  $m_2$ .
- (b) Balok bermassa  $2m_1$  diletakkan di atas troli dan ditarik oleh gaya  $F$  dari  $m_2$ .

Setelah melakukan **Aktivitas Fisika 5.2**, Anda telah memahami hubungan antara massa, percepatan, dan pada benda yang resultan gaya yang dialaminya tidak sama nol. Berdasarkan percobaan tersebut Anda peroleh hubungan antara gaya dan percepatannya, yaitu

$$\sum F \approx a \quad (5-1)$$

Adapun harga kesebandingannya itu menunjukkan ukuran kelembaman yang dimiliki benda, yaitu massa. Secara matematis persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

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

$$\sum F = ma \quad (5-2)$$

**Persamaan (5-2)** dikenal sebagai Hukum II Newton yang pernyataannya secara lengkap adalah bahwa percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda besarnya berbanding lurus dengan gaya tersebut dan berbanding terbalik dengan massa benda.

Gaya dan percepatan adalah besaran vektor, sedangkan massa benda adalah besaran skalar. Oleh karena itu, gaya ditulis sebagai berikut.

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (5-3)$$

Keterangan:

$\sum \mathbf{F}$  = gaya yang bekerja pada benda (N)

$m$  = massa benda (kg)

$\mathbf{a}$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )

Dalam SI, satuan gaya adalah  $\text{kgm/s}^2$ , disebut juga newton (N). Gaya 1 newton didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada massa 1 kilogram benda sehingga menimbulkan percepatan 1 meter per sekon kuadrat.



### Tantangan untuk Anda

Sebuah palu bermassa 2 kg diayunkan vertikal ke bawah dengan kecepatan 20 m/s. Palu tersebut menghantam sebuah paku, mengakibatkan paku masuk sedalam 5 cm ke dalam kayu. Hitunglah gaya hantam palu.



### Contoh 5.1

Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan awal 5 m/s di atas bidang datar licin, kemudian benda tersebut diberi gaya tetap searah dengan gerak benda. Setelah menempuh jarak 4 m, kecepatan benda menjadi 7 m/s. Tentukan besar gaya tersebut.

Jawab:

Diketahui:

$$v_0 = 5 \text{ m/s}; \quad m = 2 \text{ kg}$$

$$v_t = 7 \text{ m/s}; \quad s = 4 \text{ m}$$

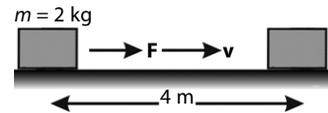
Persamaan gerak:

$$2as = v_t^2 - v_0^2$$

$$a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s}$$

$$a = \frac{(7 \text{ m/s})^2 - (5 \text{ m/s})^2}{2(5 \text{ m})}$$

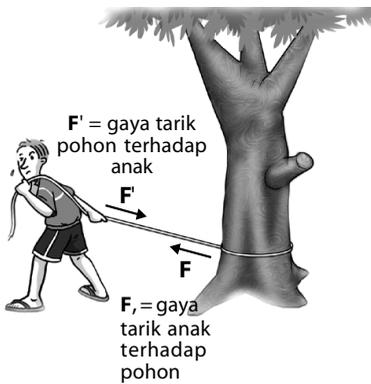
$$a = 3 \text{ m/s}^2$$



Menurut Hukum II Newton,

$$F = ma = (2 \text{ kg})(3 \text{ m/s}^2) = 6 \text{ kgm/s}^2 = 6 \text{ N}$$

Jadi, gaya yang bekerja pada benda adalah 6 N.



Gambar 5.3

Putus menarik tali yang diikatkan pada pohon.

### 3. Hukum III Newton

Ikatkan seutas tali pada batang pohon erat-erat agar tali tidak lepas, seperti pada Gambar 5.3. Pegang tali pada jarak beberapa meter, miringkan tubuh Anda sambil menarik tali yang sudah terpasang. Anda tidak jatuh, bukan? Kasus ini ditangkap oleh Newton dengan menyatakan bahwa:

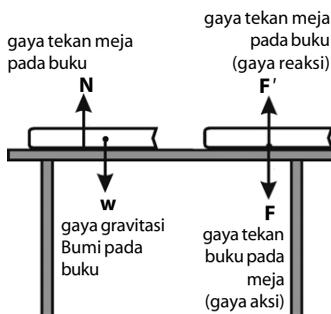
*Jika Anda mengerjakan gaya pada sebuah benda, benda itu akan mengerjakan gaya pada Anda yang besarnya sama, tetapi dengan arah berlawanan.*

Pada kejadian tersebut, ada dua gaya yang berlawanan, yaitu gaya tarik oleh anak terhadap pohon disebut gaya aksi, sedangkan pohon mempertahankan anak dengan gaya yang sama disebut gaya reaksi. Semakin besar gaya aksi yang dikenakan terhadap pohon, semakin besar gaya reaksi yang diberikan pohon.

$$F_{aksi} = -F_{reaksi} \quad (5-4)$$

Gaya aksi dan gaya reaksi bekerja pada dua benda yang berbeda dengan arah berlawanan.

Perhatikan Gambar 5.4. Buku ditarik Bumi ( $w$ ) vertikal ke bawah, yang besarnya seberat buku. Meja memberikan gaya dorong ( $N$ ) kepada buku yang sama besar dengan gaya gravitasi Bumi pada buku sehingga jumlah kedua gaya yang bekerja pada buku sama dengan nol. Agar tidak salah persepsi, kedua gaya tersebut bukan pasangan aksi-reaksi karena tidak bekerja pada benda yang berbeda.

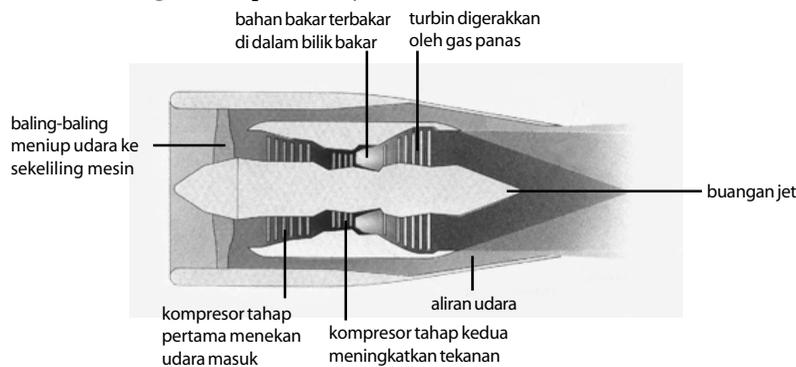


Gambar 5.4

Gaya aksi dan gaya reaksi terjadi pada buku dan meja.

Pada **Gambar 5.4**, buku menekan meja sehingga memberikan gaya aksi yang arahnya ke bawah. Sebagai reaksinya, meja menekan buku yang arahnya ke atas sehingga memberikan gaya reaksi ( $F'$ ). Kedua gaya ini besarnya sama dan berlawanan arah, serta bekerja pada dua benda yang berbeda. Oleh karena itu, pasangan gaya ini merupakan pasangan aksi-reaksi  $F = -F'$ .

Mesin turbo pesawat memberikan gaya aksi melalui gas buang ke bagian belakang. Sebaliknya, semburan gas buang roket menghasilkan gaya reaksi yang menyebabkan pesawat terdorong ke depan karena massa gas buang sangat kecil. Gas tersebut menyembur ke belakang dengan kecepatan tinggi. Gaya aksi dari mesin turbo mesin pesawat sama besarnya dengan gaya reaksi dari semburan gas, tetapi arahnya berlawanan.



**Gambar 5.5**  
Gaya aksi dan gaya reaksi terjadi pada mesin turbo pesawat.

#### 4. Gaya Berat

Ketika Anda melemparkan uang logam ke atas, apa yang terjadi? Uang logam tersebut akan bergerak naik hingga ketinggian maksimum, kemudian uang logam tersebut akan jatuh kembali ke Bumi. Jika Anda melepaskan uang logam dari ketinggian tertentu dari tanah, uang logam tersebut juga akan jatuh ke Bumi. Uang logam akan selalu jatuh ke Bumi dengan percepatan tertentu karena adanya gaya gravitasi Bumi pada uang logam.

Semua benda akan mengalami percepatan yang sama tanpa dipengaruhi massanya. Anda namakan percepatan ini dengan percepatan gravitasi yang besarnya  $9,8 \text{ m/s}^2$  dan dilambangkan dengan  $g$ .

Dari Hukum II Newton yang telah Anda pelajari, Anda dapat menuliskan gaya gravitasi  $F_g$  pada benda bermassa  $m$  sebagai berikut.

$$F_g = mg$$

Dengan menggunakan  $a = g$  dan menuliskannya untuk gaya gravitasi, diperoleh

$$w = mg \quad (5-5)$$

Keterangan:

$w$  = gaya berat (newton)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

#### Contoh 5.2

Jika percepatan gravitasi di Pontianak  $9,8 \text{ m/s}^2$ , berapa berat benda yang massanya  $5 \text{ kg}$  di Pontianak?

**Jawab:**

Diketahui:

$m = 5 \text{ kg}$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

**Ingatlah**

Massa dan berat bukan besaran yang sama. Satuan massa adalah kg dan satuan berat adalah newton.

$$w = mg$$

$$= (5 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 49 \text{ N}$$

Jadi, berat benda adalah 49 N.

### Tugas Anda 5.1

Dalam kehidupan sehari-hari, mungkin Anda pernah mendengar kalimat: "berat badan Indro adalah 60 kg". Bukankah satuan berat adalah newton? Apakah timbangan merupakan alat pengukuran berat atau massa? Bersama kelompok belajar Anda, diskusikan hal tersebut.

### Contoh 5.3

Seotong balok massanya 2 kg terletak di atas lantai. Balok tersebut ditarik oleh gaya vertikal ke atas sebesar 30 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapakah percepatan yang diberikan pada balok tersebut?

**Jawab:**

Diketahui:

Pada balok bekerja dua gaya, yaitu gaya berat  $w$  dan gaya tarik vertikal ke atas  $F$ .

$$w = mg$$

$$= (2 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2)$$

$$= 20 \text{ N}$$

Percepatan benda ditentukan oleh gaya  $F$  dan gaya  $w$ .

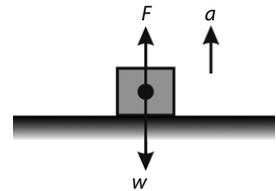
$$\sum F_y = ma$$

$$F - w = ma$$

$$a = \frac{F - w}{m}$$

$$= \frac{30 \text{ N} - 20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan benda adalah  $5 \text{ m/s}^2$ .



## 5. Gaya Gesekan

Untuk membantu Anda memahami konsep tentang gaya gesekan, Anda dapat melakukan **Aktivitas Fisika 5.3** berikut untuk mengamati gaya gesekan antara balok dan meja.



### Aktivitas Fisika 5.3

#### Gaya Gesekan

##### Tujuan Percobaan

Mengamati gaya gesekan yang terjadi antara dua benda.

##### Alat-Alat Percobaan

1. Meja
2. Balok kayu
3. Neraca pegas



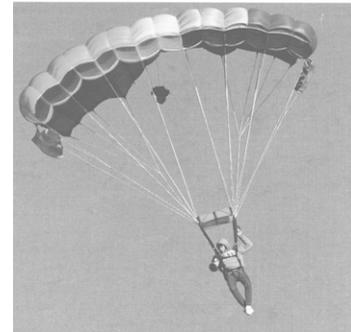
##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susunlah alat percobaan seperti pada gambar.
2. Ketika balok sedang diam, tarik neraca pegas, kemudian amati gaya yang ditunjukkan neraca pegas.
3. Catat gaya yang ditunjukkan neraca pegas sesaat balok akan bergerak.
4. Tarik neraca pegas sehingga balok bergerak dengan kecepatan konstan.
5. Catat gaya yang ditunjukkan neraca pegas pada saat balok bergerak dengan kecepatan konstan.
6. Bandingkan nilai gaya yang ditunjukkan neraca pegas saat balok akan bergerak dan saat balok bergerak dengan kecepatan konstan?
7. Gaya apakah yang ditunjukkan neraca pegas?

Gaya gesekan terjadi pada dua permukaan benda yang saling bersentuhan dan terdapat gerak relatif antara keduanya. Gaya gesekan tersebut menghasilkan gaya untuk menghambat laju benda. Gaya gesekan antara

dua benda yang bersentuhan banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Pada beberapa kasus, gaya gesekan bersifat merugikan, sedangkan pada kasus yang lain, gaya gesekan bersifat menguntungkan. Seorang siswa menendang sebuah bola di atas lapangan berumput, terjadi gaya gesekan antara permukaan bola dengan hamparan rumput sehingga bola akan berhenti pada jarak yang tidak terlalu jauh. Gaya gesekan menghambat laju bola.

Pada contoh lain, gaya gesekan timbul antara ban kendaraan yang sedang bergerak dengan jalan yang dilaluinya sehingga tidak slip. Gaya gesekan udara dengan seorang penerjun payung terjadi sepanjang gerakannya. Embusan udara yang menyentuh bidang payung merupakan gaya penghambat terhadap laju penerjun sehingga penerjun selamat saat tiba di tanah. Pada peristiwa ini, gaya gesekan sangat bermanfaat terhadap keselamatan penerjun payung.



Sumber: *Physics for You*, 2001

**Gambar 5.6**

Gerak turun penerjun payung semakin lambat ketika semakin dekat dengan tanah.

## 6. Gaya Sentripetal ( $F_{sp}$ )

Telah Anda ketahui bahwa kecepatan adalah besaran vektor yang memiliki besar dan arah. Jika arah dan kelajuan berubah, vektor kecepatan akan berubah juga. Perubahan vektor kecepatan akan menimbulkan percepatan. Menurut Hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda dengan percepatan yang dimiliki benda tersebut. Jika gaya sentripetal yang bekerja pada benda bergerak melingkar beraturan adalah  $F_{sp}$ , percepatan sentripetal yang dimiliki benda bermassa  $m$  adalah  $a_{sp}$  maka gaya sentripetal dirumuskan sebagai berikut.

$$F_{sp} = ma_{sp}$$

$$F_{sp} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R \quad (5-6)$$

Gaya sentripetal arahnya selalu menuju ke titik pusat lingkaran dan tegak lurus dengan vektor kecepataannya. Untuk mengetahui adanya gaya sentripetal pada gerak melingkar beraturan, lakukan kegiatan berikut.



### Aktivitas Fisika 5.4

#### Gaya Sentripetal

##### Tujuan Percobaan

Mengetahui arah gaya sentripetal

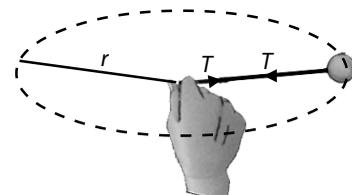
##### Alat-Alat Percobaan

Tali dan bola pingpong

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Ikatkan ujung tali pada bola pingpong.
2. Putar bola tersebut di atas kepala dengan posisi mendatar.
3. Apa yang Anda rasakan terhadap gaya tegangan tali?
4. Putarlah tali lebih cepat lagi. Adakah pengaruh kelajuan bola dengan gaya tegangan tali?
5. Apa kesimpulan Anda dari percobaan ini?

Perhatikan **Gambar 5.7**. Jika gaya berat bola diabaikan, gambar tersebut memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada bola yang diikat dengan tali dan diputar dengan tangan sebagai titik pusatnya. Dapat dikatakan bahwa bola tersebut bergerak melingkar. Gaya tegangan tali ( $T$ ) merupakan gaya yang menyebabkan benda tersebut bergerak melingkar.



**Gambar 5.7**

Gaya sentripetal menuju pusat lingkaran.



## Pembahasan Soal

Sebuah benda bermassa 200 gram diikat dengan tali ringan. Kemudian, diputar secara horizontal dengan kecepatan sudut tetap 5 rad/s. Panjang tali tersebut adalah 60 cm. Berapakah besar gaya sentripetal pada benda tersebut?

- 0,3 N
- 0,6 N
- 3 N
- 6 N
- 30 N

UAN, 2001

### Pembahasan

Diketahui:

$$m = 200 \text{ gram} = 0,2 \text{ kg}$$

$$\omega = 5 \text{ rad/s}$$

$$\ell = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$F_{sp} = m \frac{v^2}{R}$$

Dalam kasus ini,  $\ell = R$ .

Dengan demikian,

$$F_{sp} = m = \frac{v^2}{R}$$

$$F_{sp} = m \omega^2 R$$

$$F_{sp} = (0,2 \text{ kg}) (5 \text{ rad/s})^2 (0,6 \text{ m})$$

$$F_{sp} = 3 \text{ N}$$

Jadi, gaya sentripetal yang bekerja pada benda adalah 3 N.

Jawaban: C

Gaya ini juga dapat dirasakan oleh tangan Anda. Gaya tegangan tali ( $T$ ) ini merupakan gaya yang arahnya menuju pusat dan penyebab bola tersebut bergerak melingkar. Dalam hal ini, yang berperan sebagai gaya sentripetal ( $F_s$ ) adalah gaya tegangan tali ( $T$ ).

$$F_s = T$$

Persamaan (5–6) dapat ditulis sebagai berikut

$$T = m \frac{v^2}{r} \quad (5-7)$$

Perlu Anda perhatikan bahwa gaya sentripetal merupakan suatu istilah untuk resultan gaya yang arahnya menuju pusat.

Gaya sentripetal juga dapat Anda temui pada gerak melingkar benda-benda langit terhadap benda langit lainnya. Sebagai contoh, bulan yang selalu mengelilingi Bumi.

Mengapa Bulan selalu mengelilingi Bumi? Gaya apakah yang bertindak sebagai gaya sentripetal? Dari Hukum Newton, diketahui bahwa antara dua buah benda yang memiliki massa dan dipisahkan oleh jarak tertentu bekerja sebuah gaya tarik-menarik yang besarnya sebanding dengan massa benda-benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara benda-benda tersebut. Gaya ini disebut sebagai gaya gravitasi. Gaya inilah yang menyebabkan Bulan bergerak mengelilingi Bumi. Jadi, yang berperan sebagai gaya sentripetal pada gerak Bulan mengelilingi Bumi adalah gaya gravitasi antara Bulan dan Bumi.

## Contoh 5.4

Sebuah bola besi bermassa 100 g diikat dengan seutas tali yang panjangnya 80 cm, kemudian diputar membentuk lintasan melingkar dengan kelajuan 4 m/s. Tentukan gaya sentripetal bola besi tersebut.

Jawab:

Diketahui:

$$m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$$

$$R = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$$

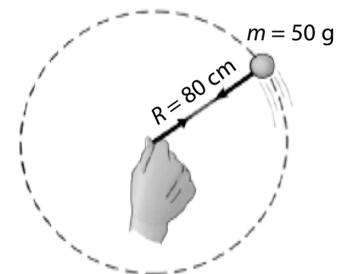
$$v = 4 \text{ m/s}$$

Gaya sentripetal diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$F_{sp} = m \frac{v^2}{R}$$

$$F_{sp} = (0,1 \text{ kg}) \left( \frac{4 \text{ m/s}}{0,8 \text{ m}} \right)^2 = 2 \text{ N}$$

Jadi, gaya sentripetal bola besi adalah 2 N.



## Kata Kunci

- Hukum I Newton
- Hukum II Newton
- Hukum III Newton
- gaya aksi
- gaya reaksi
- gaya gesekan
- gaya sentripetal

## Mari Mencari Tahu



Anda telah mengetahui bahwa gerak bulan dipengaruhi gaya tarik Bumi. Hitunglah besar gaya tarik Bumi terhadap bulan tersebut. Untuk mengerjakan tugas ini, Anda perlu mengetahui besaran-besaran Bumi dan bulan yang dibutuhkan dalam perhitungan tersebut.

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Hitung gaya yang dibutuhkan sebuah mobil yang massanya 2.000 kg untuk mencapai kecepatan 20 m/s dalam waktu 10 s.
2. Sebuah gaya  $F$  bekerja pada benda bermassa  $m_1$  dan percepatan yang ditimbulkan  $2 \text{ m/s}^2$ . Gaya yang sama bekerja pada benda lain bermassa  $m_2$  percepatan yang ditimbulkan  $3 \text{ m/s}^2$ .
  - a. Berapakah nilai rasio  $\frac{m_1}{m_2}$ ?
  - b. Jika  $m_1$  dan  $m_2$  digabung, berapa percepatan yang dihasilkan oleh gaya  $F$ ?
3. Sebuah bus massanya 10.000 kg bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Mobil direm dan berhenti setelah menempuh jarak 200 m. Tentukan gaya rem yang bekerja pada mobil tersebut.
4. Anda sedang berada di dalam sebuah pesawat terbang pada ketinggian 12.000 m (3.657 kaki). Berapa persenkah perubahan berat badan Anda?
5. Sepotong batu bata yang massanya 2 kg terletak diam di atas tanah. Kemudian, batu tersebut ditarik ke atas dengan gaya 30 N selama 2 s, lalu dilepaskan. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , tentukan tinggi maksimum yang dicapainya.
6. Sebuah bola bermassa 200 gram diikat pada ujung seutas tali yang panjangnya 50 cm. Bola berputar dalam lingkaran horizontal dengan kelajuan tetap 2 m/s. Hitung tegangan tali.
7. Sebuah piringan dengan jari-jari 5 cm diputar dengan kecepatan sudut 20 rad/s. Tentukan percepatan dan gaya sentripetal sebuah titik bermassa 2 g yang berada di pinggir piringan tersebut.
8. Sebuah bola bermassa 0,2 kg diputar mengitari lingkaran vertikal yang radiusnya 1,5 m dengan laju 8 m/s. Hitung tegangan maksimum dan tegangan minimum tali yang menghubungkan bola ke pusat lingkaran jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .
9. Sebuah kendaraan menikung di lintasan jalan mendatar kasar dengan jari-jari kelengkungan 50 m, massa kendaraan dan penumpang 500 kg. Tentukan kecepatan maksimum agar kendaraan tidak slip jika gaya gesekan antara ban dan jalan 5.000 N.
10. Sebuah mobil melewati jalan cembung. Diketahui radius 20 m. Massa mobil beserta penumpangnya 400 kg. Gaya tekan mobil terhadap jalan 3500 N. Jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , tentukan laju mobil pada saat kedudukan tertinggi.

## B. Penerapan Hukum Newton

Pada bagian ini, Anda akan mempelajari beberapa penerapan hukum Newton dalam kehidupan sehari-hari.

### 1. Gerak Benda pada Bidang Datar

Sebuah benda terletak pada bidang datar licin seperti pada Gambar 5.8, kemudian diberi gaya  $F$  mendatar hingga benda bergerak lurus dengan percepatan  $a$ . Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu- $y$  adalah

$$\sum F_y = N - w$$

Benda tidak bergerak terhadap sumbu- $y$  maka

$$\sum F_y = 0$$

$$N - w = 0$$

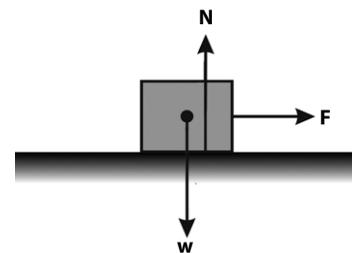
(5-8)

$$N = w = mg$$

Gaya yang bekerja pada sumbu- $x$ :

$$\sum F_x = ma$$

$$F = ma$$



**Gambar 5.8**  
Gaya-gaya yang bekerja pada balok.

$$a = \frac{F}{m}$$

(5-9)

Keterangan:

$a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$F$  = gaya (N)

$m$  = massa (kg)



## Tantangan

untuk Anda

Sebuah balok bermassa 2 kg terletak di atas bidang datar licin. Pada balok tersebut dikenakan gaya tarik dengan arah  $60^\circ$  terhadap arah mendatar. Hitunglah percepatan balok tersebut.

### Contoh 5.5

Pada bidang datar licin, tidak ada gaya gesekan yang bekerja antara benda dengan bidang. Sebuah benda bermassa 4 kg terletak pada meja mendatar licin. Benda itu diberi gaya mendatar sebesar 10 N. Berapa percepatan benda itu?

Jawab:

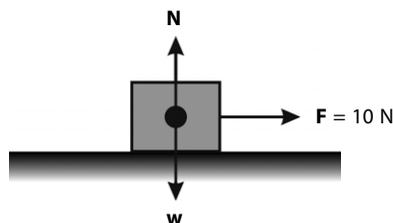
Diketahui:

$m = 4 \text{ kg}$

$F = 10 \text{ N}$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan benda =  $2,5 \text{ m/s}^2$ .



### Contoh 5.6

Sebuah mobil bermassa 2.000 kg bergerak dengan kecepatan 54 km/jam. Berapakah gaya yang diperlukan untuk mengerem agar mobil berhenti pada jarak 25 m?

Jawab:

Diketahui:

$m = 2.000 \text{ kg}$

$v_0 = 54 \text{ km/jam} = 15 \text{ m/s}$

$s = 25 \text{ m}$

Mobil berhenti, berarti  $v_t = 0$

$$2as = v_t^2 - v_0^2$$

$$2a(25 \text{ m}) = (0)^2 - (15 \text{ m/s})^2$$

$$50a \text{ m} = -225 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$a = -4,5 \text{ m/s}^2$$

Dengan menggunakan Hukum II Newton diperoleh

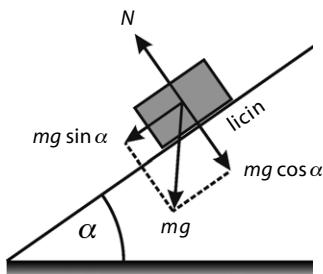
$$F = ma$$

$$= (2.000 \text{ kg}) (-4,5 \text{ m/s}^2)$$

$$= -9000 \text{ N}$$

$$= -9 \times 10^3 \text{ N}$$

Jadi, agar mobil berhenti pada jarak 25 m harus dikerjakan gaya sebesar  $9 \times 10^3 \text{ N}$  yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.



Gambar 5.9

Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang diletakkan pada bidang miring

## 2. Gerak pada Bidang Miring

Sebuah benda memiliki gaya berat  $w = mg$  terletak pada bidang miring licin, membentuk sudut kemiringan  $\alpha$  terhadap garis horizontal. Gaya yang bekerja pada benda adalah gaya normal  $N$ . Arah gaya normal tegak lurus terhadap bidang sentuh seperti pada Gambar 5.9.

Sumbu- $x$  sejajar bidang miring dan sumbu- $y$  tegak lurus bidang miring.

Komponen gaya berat pada:

$$\text{sumbu-}x: w_x = mg \sin \alpha$$

$$\text{sumbu-}y: w_y = mg \cos \alpha$$

Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu-y adalah

$$\begin{aligned}\sum F_y &= N - w_y \\ &= N - mg \cos \alpha\end{aligned}$$

Benda tidak bergerak terhadap sumbu-y maka

$$\sum F_y = 0 \quad \boxed{N = mg \cos \alpha} \quad (5-10)$$

Resultan gaya-gaya pada sumbu-x adalah

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ mg \sin \alpha &= ma \\ \boxed{a &= g \sin \alpha} \quad (5-11)\end{aligned}$$

Keterangan:

$N$  = gaya normal (N)

$m$  = massa benda (kg)

$\alpha$  = sudut kemiringan

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

### Contoh 5.7

Sepotong balok yang massanya 2 kg diluncurkan Susanto pada bidang miring licin tanpa kecepatan awal. Sudut kemiringan bidang terhadap horizontal  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapakah

- gaya normal pada balok;
- kecepatan balok setelah meluncur selama 3 s?

**Jawab:**

Diketahui:

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

- Komponen gaya berat pada sumbu-y

$$\begin{aligned}w_y &= w \cos \alpha = mg \cos 30^\circ \\ &= (2 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = 10\sqrt{3} \text{ N}\end{aligned}$$

Benda tidak bergerak ke arah sumbu-y sehingga

$$\sum F_x = 0$$

$$N = w_y$$

$$N = 10\sqrt{3} \text{ N}$$

Jadi, gaya normalnya adalah  $10\sqrt{3} \text{ N}$ .

- Komponen gaya berat pada sumbu-x

$$\begin{aligned}w_x &= w \sin \alpha = mg \sin 30^\circ \\ &= (2 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) \left( \frac{1}{2} \right) = 10 \text{ N}\end{aligned}$$

Benda bergerak sepanjang sumbu-x (bidang miring) sehingga

$$\sum F_x = ma$$

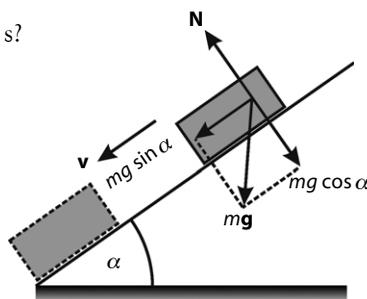
$$w_x = ma$$

$$10 = (2) a$$



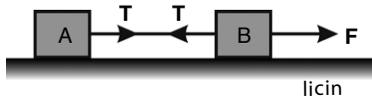
### Tantangan untuk Anda

Perhatikan perubahan pada **Contoh 5.7**. Jika sudut  $\alpha$  diubah menjadi  $60^\circ$ , berapakah gaya normal pada balok tersebut dan berapakah kecepatan balok setelah meluncur selama 3 sekon? Buatlah kesimpulan tentang perubahan sudut  $\alpha$  terhadap gaya normal dan kecepatan benda.



$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

Balok bergerak tanpa kecepatan awal yaitu  $v_0 = 0$ . Kecepatan pada  $t = 3 \text{ s}$  adalah  $v_t = v_0 + at = 0 + (5 \text{ m/s}^2)(3 \text{ s}) = 15 \text{ m/s}$   
Kecepatan balok setelah 3 s adalah 15 m/s.



**Gambar 5.10**  
Gaya  $F$  menarik balok A dan balok B.

### 3. Gerak Benda-Benda yang Dihubungkan dengan Tali

Perhatikan Gambar 5.10. Dua balok terletak di atas bidang datar licin. Kedua balok tersebut dihubungkan dengan seutas tali yang massanya diabaikan. Saat gaya  $F$  dikerjakan, maka tali memiliki tegangan sebesar  $T$  yang bekerja pada balok.

Resultan gaya pada balok A pada sumbu- $x$  adalah

$$\sum F_{xA} = m_A a$$

$$T = m_A a \quad (5-12)$$

Resultan gaya pada balok B pada sumbu- $x$  adalah

$$\begin{aligned} \sum F_{xB} &= m_B a \\ F - T &= m_B a \end{aligned}$$

$$T = F - m_B a \quad (5-13)$$

Persamaan (5-12) disubstitusikan ke dalam Persamaan (5-13) sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} F - m_B a &= m_A a \\ F &= m_A a + m_B a \\ F &= (m_A + m_B) a \end{aligned}$$

$$a = \left( \frac{F}{m_A + m_B} \right) \quad (5-14)$$

Keterangan:

$a$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )

$F$  = gaya tarik (N)

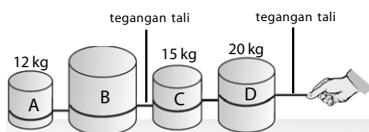
$m_A$  = massa benda A (kg)

$m_B$  = massa benda B (kg)



### Tantangan untuk Anda

Perhatikan gambar berikut.



Berapakah massa tabung B?

### Contoh 5.8

Dua benda A dan B masing-masing massanya 4 kg dan 6 kg di atas bidang datar licin dan dihubungkan dengan tali seperti pada gambar. Jika balok B ditarik oleh gaya  $F = 20 \text{ N}$ , tentukan:

- percepatan benda;
- tegangan tali.

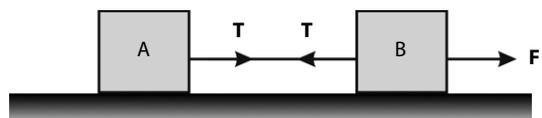
**Jawab:**

Diketahui:

$$m_A = 4 \text{ kg}$$

$$m_B = 6 \text{ kg}$$

$$F = 20 \text{ N}$$



$$a. \quad a = \frac{F}{m_A + m_B} = \frac{20 \text{ N}}{(4 \text{ kg} + 6 \text{ kg})} = 2 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan benda  $2 \text{ m/s}^2$ .

$$b. \quad T = m_A a = (4 \text{ kg})(2 \text{ m/s}^2) = 8 \text{ N}$$

Jadi, tegangan tali =  $8 \text{ N}$ .

#### 4. Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Tali Melalui Katrol

Dua benda bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  dihubungkan oleh seutas tali melalui sebuah katrol seperti pada **Gambar 5.11**. Gaya gesekan katrol diabaikan. Anggap  $m_1 > m_2$  maka  $m_1$  akan bergerak ke bawah searah dengan percepatan gravitasi, sedangkan  $m_2$  bergerak ke atas berlawanan arah dengan percepatan gravitasi sehingga bernilai negatif. Kedua benda memiliki percepatan dan tegangan tali yang sama.

Tinjauan pada benda bermassa  $m_1$ :

$$\sum F_1 = m_1 a$$

$$m_1 g - T = m_1 a$$

$$T = m_1 g - m_1 a \quad (5-15)$$

Tinjauan pada benda bermassa  $m_2$ :

$$\sum F_2 = m_2 a$$

$$T - m_2 g = m_2 a$$

$$T = m_2 g + m_2 a \quad (5-16)$$

Oleh karena tidak ada gaya gesekan pada katrol, semua tegangan tali sama besar. Dari **Persamaan (5-15)** dan **Persamaan (5-16)** diperoleh

$$m_1 g - m_1 a = m_2 g + m_2 a$$

$$m_1 g - m_2 g = m_1 a + m_2 a$$

$$(m_1 - m_2)g = (m_1 + m_2)a$$

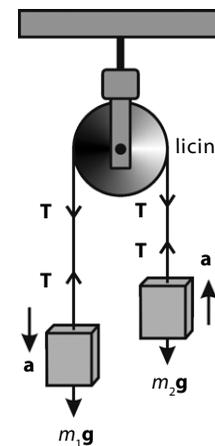
$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)}g \quad (5-17)$$

Perhatikan **Gambar 5.12**. Benda bermassa  $m_1$  terletak di atas bidang datar, sedangkan benda bermassa  $m_2$  tergantung bebas pada seutas tali. Gaya gesekan pada katrol dan massa tali diabaikan.

tinjauan pada benda bermassa  $m_1$ :

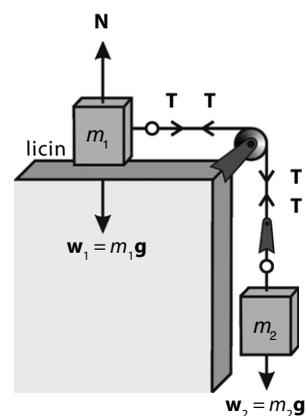
$$\sum F_1 = m_1 a$$

$$T = m_1 a \quad (5-18)$$



**Gambar 5.11**

Dua buah benda dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol.



**Gambar 5.12**

Dua benda dihubungkan dengan tali melalui katrol dan  $m_1$  terletak pada bidang datar.

Tinjauan pada benda bermassa  $m_2$ :

$$\sum F_2 = m_2 a$$

$$m_2 g - T = m_2 a$$

$$T = m_2 g - m_2 a \quad (5-19)$$

Dari Persamaan (5-18) dan Persamaan (5-19), diperoleh

$$m_1 a = m_2 g - m_2 a$$

$$m_1 a + m_2 a = m_2 g$$

$$(m_1 + m_2) a = m_2 g$$

$$a = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} g \quad (5-20)$$

### Contoh 5.9

Dua benda A dan B masing-masing massanya 3 kg dan 2 kg dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol licin. Berapa percepatan dan tegangan tali jika kedua benda dilepaskan ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )?

**Jawab:**

Ketika kedua benda dilepaskan, A bergerak ke bawah dan B bergerak ke atas, karena  $m_A > m_B$ , kedua benda memiliki percepatan sama.

a. 
$$a = \frac{(m_A - m_B)}{m_A + m_B} g$$

$$= \frac{(3 \text{ kg} - 2 \text{ kg})}{3 \text{ kg} + 2 \text{ kg}} 10 \text{ m/s}^2$$

$$= 2 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan kedua benda =  $2 \text{ m/s}^2$ .

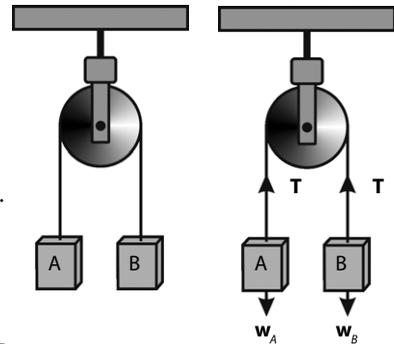
b. 
$$T = m_A g - m_A a$$

$$= (3 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) - (3 \text{ kg})(2 \text{ m/s}^2)$$

$$= 24 \text{ kg m/s}^2$$

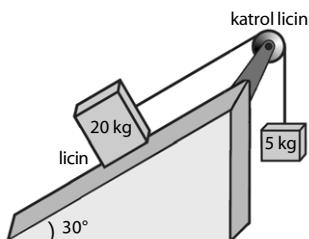
$$= 24 \text{ N}$$

Jadi, tegangan tali kedua benda =  $24 \text{ N}$ .



### Tantangan untuk Anda

Perhatikan gambar berikut.



Hitunglah percepatan benda A dan tegangan tali.

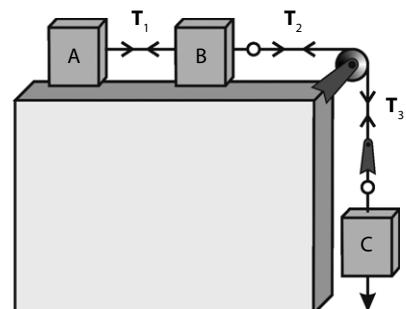
### Contoh 5.10

Dari susunan benda-benda pada gambar, tentukan percepatan benda dan tegangan setiap tali jika  $m_A = 10 \text{ kg}$ ,  $m_B = 4 \text{ kg}$ , dan  $m_C = 6 \text{ kg}$  dan bidang licin ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

**Jawab:**

Jika benda C dilepaskan, benda C bergerak ke bawah. A dan B bergerak ke kanan dengan percepatan yang sama.

a. 
$$a = \frac{m_C g}{m_A + m_B + m_C}$$



$$= \frac{(6 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)}{(10 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 6 \text{ kg})}$$

$$= \frac{60}{20} \text{ m/s}^2 = 3 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan semua benda sama yaitu  $3 \text{ m/s}^2$ .

b. Tinjauan pada benda A

$$\sum F_A = m_A a$$

$$T_1 = m_A a$$

$$= (10 \text{ kg})(3 \text{ m/s}^2)$$

$$= 30 \text{ N}$$

Jadi, tegangan tali  $T_1 = 30 \text{ N}$

c. Tinjauan pada benda C

$$\sum F_C = m_C a$$

$$m_C g - T_2 = m_C a$$

$$(6 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) - T_2 = (6 \text{ kg})(3 \text{ m/s}^2)$$

$$T_2 = 42 \text{ N}$$

Jadi, tegangan tali  $T_2 = 42 \text{ N}$ .

## 5. Gerak Benda Dihubungkan Tali Melalui Dua Katrol yang Salah satunya Dapat Bergerak

Pada rangkaian benda A dan benda B seperti Gambar 5.13, percepatan benda pada katrol bergerak bebas adalah setengah dari percepatan benda pada katrol tetap sehingga  $a_B = \frac{1}{2}a_A$ . Persamaan-persamaan yang berlaku pada rangkaian tersebut adalah sebagai berikut. Tinjauan pada benda A:

$$\sum F_A = m_A a_A$$

$$T = m_A a_A$$

(5-21)

Tinjauan pada benda B:

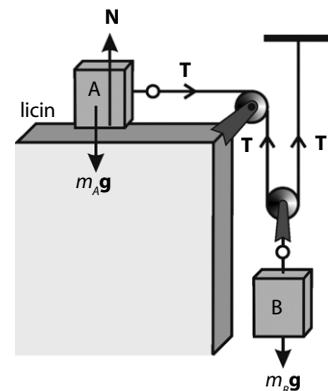
$$\sum F_B = m_B a_B$$

$$m_B g - 2T = m_B a_B$$

$$2T = m_B g - m_B a_B$$

$$T = \frac{m_B}{2} (g - a_B)$$

(5-22)



**Gambar 5.13**

Dua benda dihubungkan dengan tali melalui dua katrol.

### Contoh 5.11

Pada rangkaian seperti gambar berikut, massa benda A dan B masing-masing  $3 \text{ kg}$  dan  $4 \text{ kg}$ . Massa katrol dan tali diabaikan ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Tentukan percepatan benda A dan tegangan tali.

**Jawab:**

Diketahui:

$$m_A = 3 \text{ kg}$$

$$m_B = 4 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$a_B = \frac{1}{2} a_A$$

Tinjauan pada benda A:

$$T = m_A a_A$$

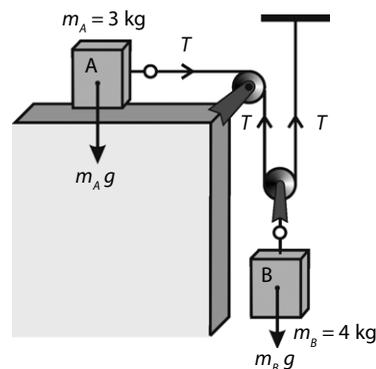
$$T = (3 \text{ kg}) a_A \quad (*)$$

Tinjauan pada benda B:

$$T = \frac{m_B}{2} (g - a_B)$$

$$T = \frac{4 \text{ kg}}{2} (10 \text{ m/s}^2 - a_B)$$

$$T = 2 \text{ kg} (10 \text{ m/s}^2 - a_B) \quad (**)$$



Persamaan (\*) dan Persamaan (\*\*) disubstitusikan sehingga diperoleh

$$3 \text{ kg } a_A = 2 \text{ kg} \left( 10 \text{ m/s}^2 - \frac{1}{2} a_A \right)$$

$$3 \text{ kg } a_A = 20 \text{ kg m/s}^2 - 1 \text{ kg } a_A$$

$$4 \text{ kg } a_A = 20 \text{ kg m/s}^2$$

$$a_A = 5 \text{ m/s}^2$$

Dari Persamaan (\*), diperoleh

$$T = 3 a_A$$

$$= (3 \text{ kg}) (5 \text{ m/s}^2) = 15 \text{ N}$$

Jadi, percepatan benda A adalah  $5 \text{ m/s}^2$  dan tegangan tali adalah  $15 \text{ N}$ .

## 6. Gaya Tekan pada Alas Lift

Perhatikan Gambar 5.14. Sebuah balok bermassa  $m$  terletak di dalam lift yang sedang bergerak. Menurut Hukum III Newton, gaya tekan balok pada alas lift ( $w'$ ) sama dengan gaya normal benda ( $N$ ).

- a. Perhatikan Gambar 5.14 (a), lift bergerak vertikal ke atas dengan kecepatan tetap maka resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol.

$$\Sigma F = 0$$

$$N - mg = 0$$

$$N = mg = w'$$

(5-23)

maka  $w' = w$ .

- b. Perhatikan Gambar 5.14 (b), lift bergerak vertikal ke atas dengan percepatan tetap ( $a$ ) maka resultan gaya yang bekerja pada benda adalah

$$\Sigma F = ma$$

$$N - mg = ma$$

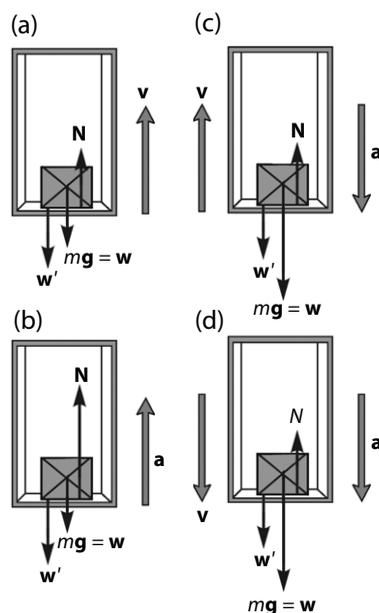
$$N = m(g + a)$$

(5-24)

maka  $w' > w$ .

- c. Perhatikan Gambar 5.14 (c) lift bergerak vertikal ke atas dengan perlambatan ( $-a$ ) maka resultan gaya yang bekerja pada benda adalah

$$\Sigma F = ma$$



**Gambar 5.14**

Sebuah balok bermassa  $m$  terletak di dalam lift yang sedang bergerak.

$$N - mg = m(-a)$$

$$N = m(g - a) \quad (5-25)$$

maka  $w' < w$ .

- d. Perhatikan Gambar 5.14 (d), lift bergerak vertikal ke bawah dengan percepatan tetap ( $a$ ) resultan gaya yang bekerja pada benda adalah

$$\Sigma F = ma$$

$$mg - N = ma$$

$$N = m(g - a) \quad (5-26)$$

maka  $w < w'$ .

### Kata Kunci

- bidang datar
- bidang miring
- gaya normal
- gaya berat
- tegangan tali
- katrol

### Contoh 5.12

Joko yang massanya 53 kg berdiri di dalam sebuah lift yang sedang bergerak ke atas dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Jika percepatan gravitasi Bumi ( $g$ ) =  $10 \text{ m/s}^2$ , berapakah gaya tekan kaki Joko pada lantai lift?

**Jawab:**

Dengan menggunakan Persamaan (5-24), diperoleh

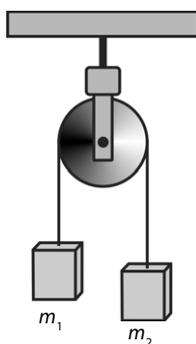
$$\begin{aligned} N &= m(g + a) \\ &= 53 \text{ kg} (10 \text{ m/s}^2 + 2 \text{ m/s}^2) \\ &= 636 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya tekan Joko pada lantai lift adalah 636 N.

### Tes Kompetensi Subbab B

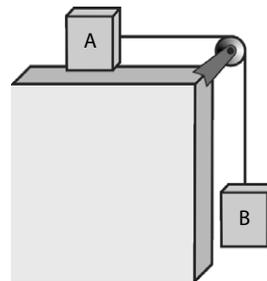
Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Sebuah kotak bermassa 5 kg terletak di permukaan lantai licin. Jika kotak tersebut ditarik dengan gaya sebesar 15 N, berapakah kecepatan kotak tersebut?
2. Sebuah benda diluncurkan oleh Joko pada bidang miring licin. Jika massa benda tersebut 5 kg dan sudut kemiringan bidang terhadap horizontal  $30^\circ$ , hitunglah kecepatan benda setelah bergerak 2 s.
3. Perhatikan gambar berikut.



Jika perbandingan antara  $m_1$  dan  $m_2$  adalah  $\frac{1}{2}$ , hitunglah percepatan gerak pada katrol tersebut. ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

4. Dua buah benda disusun sedemikian rupa sehingga tampak seperti pada gambar berikut. Jika massa A = 5 kg dan massa B = 2 kg, hitunglah



tegangan tali dan percepatan benda ketika benda meluncur.

5. Sitorus sedang berdiri di dalam lift yang sedang bergerak ke bawah dengan percepatan  $2 \text{ m/s}$ . Berapakah gaya tekan kaki Sitorus pada lantai lift?

## Rangkuman

1. Gaya memengaruhi gerak benda.
2. Satuan gaya dalam SI adalah newton (N). Satu newton didefinisikan sebagai gaya yang memberikan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$  pada suatu benda yang massanya  $1 \text{ kg}$ .
3. Hukum I Newton menyatakan bahwa jika resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, benda tersebut akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan. Dirumuskan dengan:  

$$\Sigma \mathbf{F} = 0$$
4. Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan yang ditimbulkan oleh gaya

yang bekerja pada suatu benda besarnya berbanding lurus dengan gaya dan berbanding terbalik dengan massa benda.

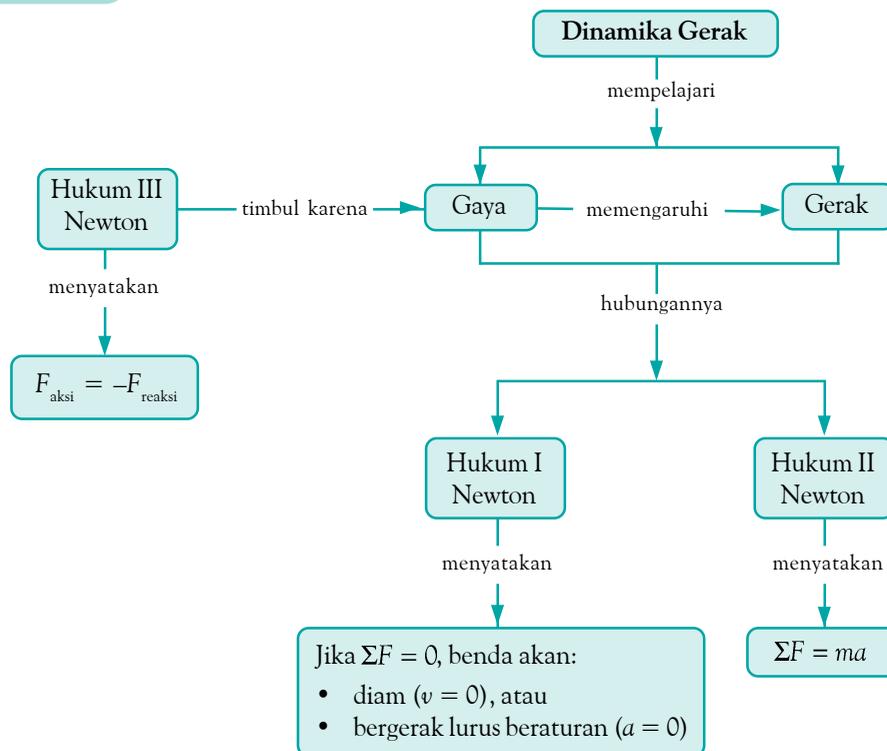
Dirumuskan dengan

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

5. Hukum III Newton menyatakan bahwa jika benda pertama mengerjakan gaya pada benda kedua, benda kedua akan mengerjakan gaya pada benda pertama yang besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan. Dirumuskan dengan

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

## Peta Konsep



## Refleksi

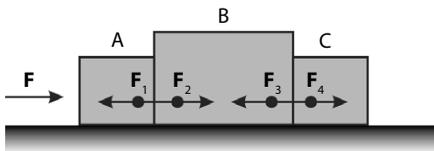
Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda memperoleh manfaat, di antaranya Anda mengetahui bagaimana hubungan antara massa ( $m$ ), gaya ( $F$ ), dan percepatan ( $a$ ). Dapatkah Anda menyebutkan manfaat

lain Anda mempelajari bab ini? Dalam mempelajari bab ini, apakah ada materi yang Anda anggap sulit untuk dipahami? Jika ada, diskusikan dengan teman atau tanyakan kepada guru.

## Tes Kompetensi Bab 5

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

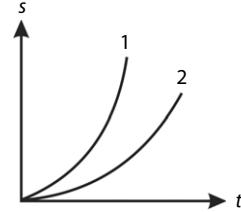
- Jika benda hanya dipengaruhi oleh sebuah gaya, benda akan bergerak dengan ....
  - kecepatan konstan, searah dengan arah gaya
  - kecepatan konstan, berlawanan arah dengan arah gaya
  - percepatan konstan, berlawanan arah dengan arah gaya
  - percepatan konstan, searah dengan arah gaya
  - benda tetap diam
- Sebuah gaya  $F$  menyebabkan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$  pada benda yang bermassa  $4 \text{ kg}$ . Jika gaya itu bekerja pada benda yang bermassa  $16 \text{ kg}$ , gaya itu akan memberikan percepatan sebesar ....
  - $8 \text{ m/s}^2$
  - $4 \text{ m/s}^2$
  - $2 \text{ m/s}^2$
  - $1 \text{ m/s}^2$
  - $0,5 \text{ m/s}^2$
- Untuk mempercepat benda yang massanya  $6 \text{ kg}$  dari kecepatan  $21 \text{ m/s}$  menjadi  $33 \text{ m/s}$  selama  $3 \text{ s}$ , diperlukan gaya sebesar ....
  - $27 \text{ N}$
  - $24 \text{ N}$
  - $21 \text{ N}$
  - $18 \text{ N}$
  - $15 \text{ N}$
- Sebuah benda bermassa  $2 \text{ kg}$  meluncur pada bidang miring dengan kecepatan tetap. Jika sudut kemiringan  $30^\circ$ , resultan gaya yang bekerja pada benda adalah ....
  - $0$
  - $1 \text{ N}$
  - $\sqrt{3} \text{ N}$
  - $2 \text{ N}$
  - $2\sqrt{3} \text{ N}$
- Resultan gaya pada sebuah mobil yang bergerak lurus beraturan di jalan yang mendaki adalah ....
  - sama dengan gaya normal
  - sama dengan gaya berat mobil
  - sama dengan massa benda
  - sama dengan berat mobil dikurangi gaya normal
  - nol
- Tiga balok A, B, dan C, diletakkan sedemikian rupa (berimpit) di atas bidang datar, seperti pada gambar.



Balok A disentuh dengan gaya  $F$  mendatar sehingga gaya tersebut diteruskan oleh A ke benda B dan selanjutnya ke benda C. Gaya-gaya tersebut yang merupakan pasangan aksi-reaksi adalah ....

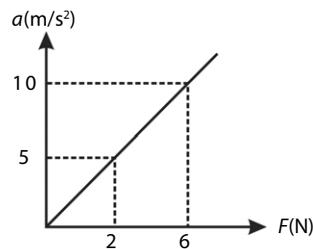
- $F$  dan  $F_1$
- $F_1$  dan  $F_4$
- $F_2$  dan  $F_3$
- $F_3$  dan  $F_4$
- $F$  dan  $F_4$

- Grafik berikut menunjukkan hubungan perpindahan terhadap waktu dari dua benda yang massanya sama, yang dikerjakan oleh gaya  $F_1$  dan  $F_2$  sehingga menghasilkan percepatan  $a_1$  dan  $a_2$ .



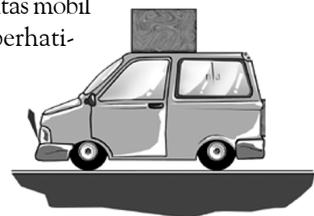
Dari grafik, dapat disimpulkan bahwa ....

- $a_1 > a_2$  dan  $F_1 > F_2$
  - $a_1 > a_2$  dan  $F_1 < F_2$
  - $a_1 < a_2$  dan  $F_1 < F_2$
  - $a_1 < a_2$  dan  $F_1 > F_2$
  - $a_1 = a_2$  dan  $F_1 > F_2$
- Grafik percepatan ( $a$ ) sebagai fungsi resultan gaya pada suatu benda seperti pada gambar berikut.



Massa benda tersebut adalah ....

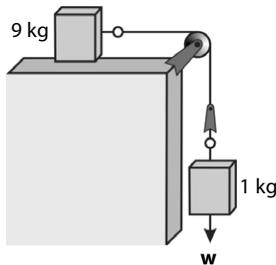
- $0,3 \text{ kg}$
  - $0,4 \text{ kg}$
  - $0,6 \text{ kg}$
  - $0,9 \text{ kg}$
  - $1,0 \text{ kg}$
- Berdasarkan Hukum II Newton dapat disimpulkan bahwa jika gaya yang bekerja pada sebuah benda bertambah, massa benda tersebut ....
    - berkurang dan percepatan bertambah
    - bertambah dan percepatan berkurang
    - tetap dan percepatan berkurang
    - tetap dan percepatan bertambah
    - bertambah dan kecepatan berkurang
  - Sebuah kotak berada di atas mobil yang sedang bergerak (perhatikan gambar). Secara tiba-tiba, mobil direm sehingga ....
    - kotak akan tetap diam
    - kotak akan bergerak ke samping
    - kotak akan bergerak ke samping kanan
    - kotak bergerak ke samping kiri
    - kotak bergerak ke depan



11. Sebuah benda terletak pada bidang miring. Gaya normal pada benda itu adalah....
- sama dengan berat benda
  - lebih besar daripada berat benda
  - lebih kecil daripada berat benda
  - sama dengan massa benda
  - sama atau lebih kecil daripada berat benda
12. Benda yang massanya  $m$  ditempatkan di atas bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan  $\alpha$  terhadap bidang horizontal. Jika percepatan gravitasi  $g$ , percepatan yang terjadi pada benda tersebut adalah ....
- $g \sin \alpha$
  - $mg \sin \alpha$
  - $m \sin \frac{\alpha}{g}$
  - $\frac{g}{m} \sin \alpha$
  - $\frac{m}{g \cos \alpha}$
13. Sebuah benda bermassa  $m$  berada pada bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  terhadap horizontal. Jika percepatan gravitasi  $g$ , percepatan benda adalah ....

- $g$
- $\frac{1}{4}g$
- $\frac{1}{2}g$
- $\frac{1}{3}\sqrt{3}g$
- $\frac{1}{2}\sqrt{3}g$

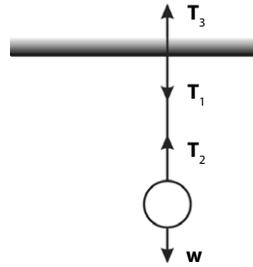
14. Perhatikan susunan benda-benda berikut.



Besarnya percepatan dan tegangan tali berturut-turut ....

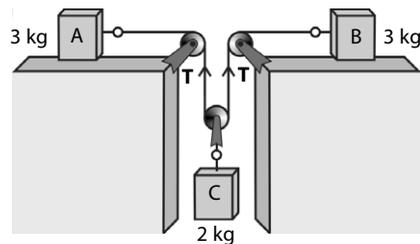
- $2 \text{ m/s}^2$  dan  $10 \text{ N}$
  - $9 \text{ m/s}^2$  dan  $9 \text{ N}$
  - $1 \text{ m/s}^2$  dan  $9 \text{ N}$
  - $9 \text{ m/s}^2$  dan  $1 \text{ N}$
  - $1 \text{ m/s}^2$  dan  $1 \text{ N}$
15. Suatu benda bermassa  $3 \text{ kg}$  terletak pada bidang miring dengan kemiringan  $60^\circ$  terhadap horizontal. Gaya normal yang bekerja pada benda adalah ....
- $30 \text{ N}$
  - $15\sqrt{2} \text{ N}$
  - $15\sqrt{3} \text{ N}$
  - $15 \text{ N}$
  - $7,5 \text{ N}$
16. Sebuah benda bermassa  $7 \text{ kg}$  terletak pada bidang datar, ditarik dengan gaya  $20 \text{ N}$  vertikal ke atas. Gaya normal yang bekerja pada benda itu adalah ....
- $90 \text{ N}$
  - $70 \text{ N}$
  - $60 \text{ N}$
  - $50 \text{ N}$
  - $40 \text{ N}$

17. Sebuah bola besi digantungkan pada langit-langit seperti pada gambar berikut.



$T$  menyatakan tegangan tali dan  $w$  menyatakan berat beban. Yang merupakan pasangan gaya aksi-reaksi adalah ....

- $T_1$  dan  $w$
  - $T_2$  dan  $w$
  - $T_1$  dan  $T_2$
  - $T_1$  dan  $T_3$
  - $T_1$  dan  $T_3$
18. Berdasarkan susunan benda-benda pada gambar, meja dan katrol dianggap licin sempurna.

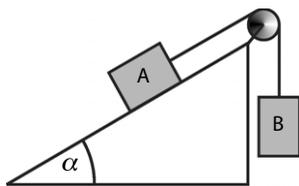


Jika benda C dilepaskan, tegangan tali  $T$  besarnya ....

- $2 \text{ N}$
  - $3 \text{ N}$
  - $4 \text{ N}$
  - $6 \text{ N}$
  - $8 \text{ N}$
19. Anita bermassa  $50 \text{ kg}$  ditimbang di dalam lift yang sedang meluncur ke bawah dengan percepatan tetap  $2 \text{ m/s}^2$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berat Anita di dalam lift adalah ....
- $600 \text{ N}$
  - $500 \text{ N}$
  - $400 \text{ N}$
  - $300 \text{ N}$
  - $200 \text{ N}$
20. Gaya normal pada kaki Sitorus yang berada di dalam lift lebih besar daripada beratnya. Hal ini terjadi jika lift dalam keadaan ....
- diam
  - bergerak ke bawah dengan kecepatan tetap
  - bergerak ke atas dengan percepatan tetap
  - bergerak ke bawah dengan percepatan tetap
  - bergerak ke atas dengan perlambatan

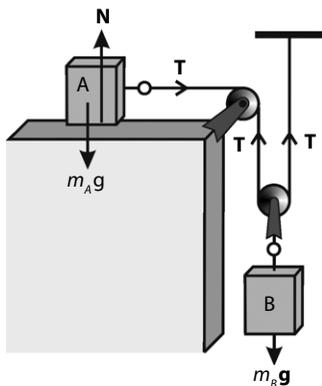
**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.**

1. Sebuah balok bermassa 5 kg ditarik oleh gaya mendatar 45 N di atas bidang datar licin. Berapakah percepatan balok tersebut?
2. Sebuah benda bermassa 50 kg bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Berapakah besar gaya perlawanan yang diperlukan agar benda tersebut tepat berhenti 10 m dari tempat semula?
3. Sebuah balok bermassa 4 kg meluncur tanpa kecepatan awal di atas bidang miring yang licin sempurna. Jika  $\alpha$  ( $\tan \alpha = \frac{3}{4}$ ) merupakan sudut kemiringan bidang dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - a. gaya normal pada benda;
  - b. percepatan yang timbul pada benda;
  - c. jarak yang ditempuh setelah 5 s.
4. Dua benda A dan B diikatkan pada ujung-ujung tali yang disangkutkan pada katrol, seperti pada gambar.



Massa kedua benda masing-masing  $m_A = 8 \text{ kg}$  dan  $m_B = 2 \text{ kg}$  ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Sudut kemiringan bidang terhadap horizontal  $30^\circ$ . Jika bidang licin sempurna, tentukan:

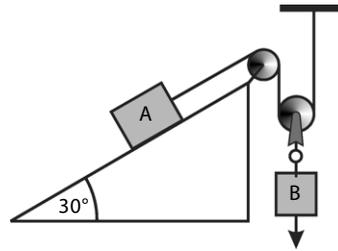
- a. gaya normal pada benda A;
  - b. arah gerak kedua benda;
  - c. percepatan gerak kedua benda;
  - d. tegangan tali.
5. Perhatikan susunan gambar berikut.



Massa A dan B masing-masing 11,5 kg dan 10 kg. Meja licin sempurna, massa tali dan katrol diabaikan. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

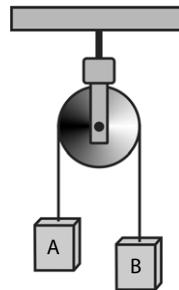
- a. percepatan benda A dan B;
- b. tegangan talinya.

6. Perhatikan susunan gambar berikut.



Massa A dan B masing-masing 4 kg dan 9 kg. Sudut bidang miring terhadap horizontal  $30^\circ$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Tentukan:

- a. arah gerak benda B;
  - b. percepatan benda A;
  - c. tegangan tali.
7. Dua buah bola A dan B yang masing-masing massanya 5 kg, diikat dengan tali dan digantung pada langit-langit lift. Jika lift bergerak ke atas dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ , berapa tegangan setiap tali ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )?
8. Dua benda A dan B diikatkan pada ujung-ujung tali yang disangkutkan pada katrol, seperti pada gambar berikut.



Massa benda A dan B masing-masing 3 kg dan 2 kg. Katrol dianggap licin sempurna. Jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- a. arah gerak benda B;
  - b. percepatan gerak benda B;
  - c. tegangan tali.
9. Di dalam sebuah lift ditempatkan timbangan badan. Saat lift dalam keadaan diam, Heri menimbang badannya sehingga didapatkan berat Heri 600 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan penunjukan timbangan jika:
- a. lift bergerak vertikal ke atas dengan percepatan tetap  $10 \text{ m/s}^2$ ;
  - b. lift bergerak vertikal ke atas dengan perlambatan tetap  $4 \text{ m/s}^2$ ;
  - c. lift bergerak vertikal ke bawah dengan percepatan tetap  $4 \text{ m/s}^2$ ;
  - d. lift bergerak vertikal ke bawah dengan perlambatan tetap  $4 \text{ m/s}^2$ .
10. Seseorang yang massanya 60 kg ditimbang di dalam lift yang sedang bergerak ke atas dengan percepatan tetap  $2 \text{ m/s}^2$ . Jika percepatan gravitasi adalah  $10 \text{ m/s}^2$ , tentukan berat orang itu di dalam lift.

# Proyek Semester 1



Pada semester ini, Anda telah mempelajari tentang konsep dan prinsip dasar kinematika dan dinamika benda titik. Untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep tersebut, Anda ditugaskan untuk melakukan kegiatan semester secara berkelompok (3–4 orang). Langkah kegiatan yang harus Anda lakukan, diuraikan pada proyek semester 1 ini. Sebagai tugas akhir kegiatan, kelompok Anda harus membuat laporan kegiatan semester yang akan dipresentasikan di akhir semester di hadapan kelompok lain dan guru Fisika Anda. Sistematika penulisan laporannya terdiri atas: Judul, Tujuan, Alat dan Bahan, Prosedur Percobaan, Data, Analisis Data, serta Kesimpulan dan Saran terhadap penelitian yang telah dilakukan.

## Gerak Lurus Beraturan dan Gerak Lurus Berubah Beraturan

### Tujuan Kegiatan

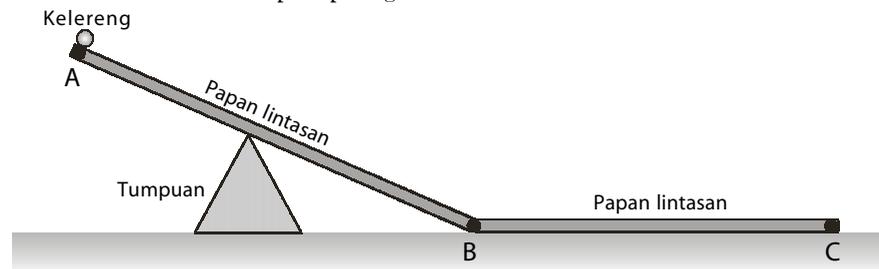
Mempelajari sebuah benda yang bergerak lurus beraturan dan bergerak lurus berubah beraturan.

### Alat dan Bahan

1. Papan lintasan
2. Kelereng (diameter =  $\pm 2$  cm)
3. Penggaris Panjang
4. *Stopwatch* (2 buah)
5. Tumpuan
6. Kapur tulis atau spidol

### Prosedur Percobaan

1. Susunlah alat-alat seperti pada gambar berikut.



2. Tandai dan hitung jarak antara titik awal A, titik B, dan titik C.
3. Lepaskan kelereng dari titik A hingga menggelinding ke titik D melalui titik B.
4. Hitung waktu tempuh kelereng dari A ke titik B dan dari titik B ke titik C.

**Catatan:** Jarak A–B berkisar antara 100–120 cm dan jarak B–C berkisar antara 80–100 cm.

### Pengolahan Data

1. Catatlah jarak dan waktu tempuh A–B dan B–C.
2. Apakah pada lintasan B–C kelereng mengalami perubahan kecepatan? Jika ya, berapa?
3. Apakah kelereng mengalami perubahan kecepatan pada lintasan B–C? Jika ya, berapa?
4. Menurut pendapat Anda, termasuk gerak apakah kelereng pada lintasan A–B dan pada lintasan B–C
5. Apa yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini?

# Tes Kompetensi Fisika

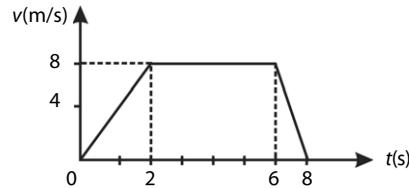
## Semester 1



A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Dimensi gaya adalah ....
  - $[M][L][T]^{-1}$
  - $[M][L]^2[T]^{-2}$
  - $[M]^2[L]^{-1}[T]^{-2}$
  - $[M][L][T]^{-2}$
  - $[M][L][T]^2$
- Usaha setiap satuan waktu memiliki dimensi sama dengan dimensi ....
  - energi kinetik
  - daya
  - tekanan
  - energi potensial
  - gaya
- Dua vektor masing-masing 6 satuan dan 8 satuan, satu sama lain saling tegak lurus. Selisih kedua vektor tersebut adalah ....
  - 2 satuan
  - 4 satuan
  - 8 satuan
  - 10 satuan
  - 12 satuan
- Dua vektor  $F_1$  dan  $F_2$  satu sama lain membentuk sudut  $75^\circ$ . Resultan vektor membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap vektor  $F_1$ . Jika vektor  $F_1 = 40 \text{ N}$ , vektor  $F_2$  adalah ....
  - $10\sqrt{2} \text{ N}$
  - $20\sqrt{2} \text{ N}$
  - $40\sqrt{2} \text{ N}$
  - $40 \text{ N}$
  - $60 \text{ N}$
- Ketelitian alat ukur penggaris, jangka sorong, dan mikrometer sekrup secara berturut-turut adalah ....
  - 1 mm, 0,1 mm, dan 0,01 mm
  - 0,5 mm, 0,1 mm, dan 0,01 mm
  - 0,1 mm, 0,01 mm, 0,001 mm
  - 0,5 mm, 0,2 mm, dan 0,1 mm
  - 0,5 mm, 0,01 mm, dan 0,001 mm
- Pada pengukuran panjang benda, diperoleh hasil pengukuran 0,07060 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran tersebut adalah ....
  - dua
  - tiga
  - empat
  - lima
  - enam
- Aluminium yang massanya 135 g dan volumenya  $50 \text{ cm}^3$  memiliki massa jenis ....
  - $0,27 \text{ g/cm}^3$
  - $2,70 \text{ g/cm}^3$
  - $2,7 \text{ g/cm}^3$
  - $27 \text{ g/cm}^3$
  - $270 \text{ g/cm}^3$
- Sebuah mobil bergerak ke barat dengan kecepatan 15 m/s selama 10 detik. Kemudian, benda bergerak kembali ke timur dengan kecepatan 6 m/s selama 5 detik. Kecepatan rata-rata mobil adalah ....
  - 8 m/s
  - 10,5 m/s
  - 12 m/s
  - 14,5 m/s
  - 16,5 m/s

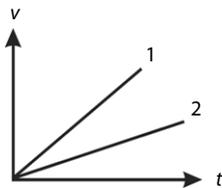
- Berikut adalah grafik kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) dari benda yang bergerak lurus.



Jarak yang ditempuh benda selama 8 s adalah ....

- 25 m
  - 40 m
  - 52 m
  - 54 m
  - 60 m
- Seseorang mengendarai mobil dengan percepatan tetap  $2 \text{ m/s}^2$ . Setelah berjalan 20 s, mobil itu menempuh jarak 500 m. Kecepatan awal mobil itu adalah ....
    - 5 m/s
    - 8 m/s
    - 10 m/s
    - 12 m/s
    - 15 m/s
  - Sebuah mobil dari keadaan diam hingga bergerak dengan kecepatan 20 m/s membutuhkan waktu 4 s. Jarak yang ditempuh mobil adalah ....
    - 100 m
    - 80 m
    - 50 m
    - 40 m
    - 20 m
  - Sebuah mobil memiliki kecepatan awal 40 m/s, mendapat perlambatan tetap  $5 \text{ m/s}^2$ . Mobil tersebut akan berhenti setelah menempuh jarak ....
    - 10 m
    - 50 m
    - 100 m
    - 160 m
    - 170 m
  - Sebuah benda ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Ketinggian benda setelah 1 s dari penembakan adalah .... ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
    - 5 m
    - 7 m
    - 8 m
    - 10 m
    - 12 m
  - Di antara pernyataan berikut, yang paling tepat untuk sebuah benda jatuh bebas adalah ....
    - percepatan tetap, kecepatan tetap
    - percepatan bertambah, kecepatan tetap
    - percepatan tetap, kecepatan bertambah
    - percepatan bertambah, kecepatan bertambah
    - percepatan dan kecepatan berkurang

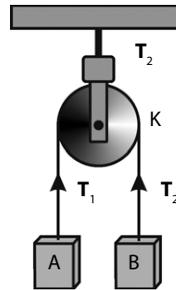
15. Benda dengan massa 50 kg, bergerak dengan kelajuan 14,4 km/jam. Gaya yang diperlukan agar benda itu berhenti pada jarak 10 m dari tempat semula adalah ....
- 60 N berlawanan dengan gerak benda
  - 60 N searah dengan gerak benda
  - 40 N berlawanan dengan gerak benda
  - 40 N searah dengan gerak benda
  - 20 N searah dengan gerak benda
16. Sebuah benda dengan massa 6 kg terletak pada bidang datar. Benda tersebut diberi gaya 20 N yang membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap bidang mendatar. Gaya normal yang bekerja pada benda itu adalah ....
- 60 N
  - 50 N
  - 20 N
  - 10 N
  - 30 N
17. Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu dari dua buah gerak benda yang massanya  $m_1$  dan  $m_2$ . Kedua benda mendapat gaya yang sama sehingga mendapatkan percepatan  $a_1$  dan  $a_2$ . Dari grafik dapat disimpulkan bahwa ....

- $a_1 < a_2$  dan  $m_1 > m_2$
  - $a_1 < a_2$  dan  $m_1 < m_2$
  - $a_1 > a_2$  dan  $m_1 < m_2$
  - $a_1 > a_2$  dan  $m_1 > m_2$
  - $a_1 > a_2$  dan  $m_1 = m_2$
- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.**
- Seorang nelayan menyeberangi sungai, menggunakan perahu dayung. Perahu dayung selalu diarahkan tegak lurus terhadap arah arus air dengan kecepatan 3 m/s. Jika kecepatan aliran air 3 m/s, hitunglah kecepatan total perahu dan arahnya dalam melintasi sungai.
  - Sebuah benda dilepaskan tanpa kecepatan awal dari pesawat yang sedang bergerak dengan kelajuan tetap. Jika tidak ada pengaruh angin, jelaskanlah bagaimana bentuk lintasan benda tersebut.
  - Sebuah benda yang massanya 5 kg bergerak secara beraturan dalam lintasan melingkar dengan kecepatan 2 m/s. Jika jari-jari lingkaran itu 0,5 m, berapakah gaya sentripetalnya?

18. Sebuah benda dengan massanya  $m$  digantung dengan seutas tali, kemudian tali ditarik ke atas dengan percepatan tetap. Jika percepatan gravitasi adalah  $g \text{ m/s}^2$ , tegangan tali adalah ....
- $T = mg$
  - $T = mg + ma$
  - $T = 2mg - ma$
  - $T = mg - ma$
  - $T = ma - mg$
19. Perhatikan gambar berikut.



K adalah katrol yang sangat licin. Massa benda A dan B masing-masing 7 kg dan 3 kg. Jika benda A dilepas, tegangan tali  $T_1$  dan  $T_2$  masing-masing adalah ....

- 82 N dan 82 N
  - 42 N dan 42 N
  - 84 N dan 42 N
  - 42 N dan 84 N
  - 21 N dan 42 N
20. Seseorang dengan massa 55 kg ditimbang di dalam lift yang sedang meluncur ke bawah dengan kecepatan tetap 2 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berat orang itu adalah ....
- 660 N
  - 600 N
  - 550 N
  - 440 N
  - 400 N

- Mengapakah orang yang sedang menaiki permainan ontang-anting tidak terpental ke luar lintasannya?
- Sebuah batu dengan massa 2 kg diikat dengan tali dan diputar sehingga lintasannya berbentuk lingkaran vertikal dengan jari-jari 0,5 m. Jika kecepatan sudut batu 6 rad/s dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukanlah tegangan tali pada saat batu di titik tertinggi.

# Bab 6



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Pengemudi memanfaatkan pemantulan cahaya pada cermin cembung kaca spion.

## Cahaya dan Optika

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan prinsip kerja alat-alat optik.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menganalisis alat-alat optik secara kualitatif dan kuantitatif;
- menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.

Setiap hari, manusia tidak akan pernah terlepas dari cahaya. Benda-benda di sekeliling Anda dapat terlihat karena adanya cahaya. Cahaya juga yang membuat Anda dapat melihat bayangan Anda di cermin.

Mungkin Anda pernah memerhatikan kaca spion pada mobil atau sepeda motor. Kaca spion pada mobil dan sepeda motor merupakan sebuah cermin cembung yang digunakan pengemudi untuk melihat lalu-lintas di belakang mobil atau sepeda motor. Dengan melihat kaca spion, pengemudi dapat berbelok, berhenti, atau mendahului kendaraan lain dengan aman.

Pada kaca spion, terjadi pemantulan cahaya sehingga Anda dapat melihat bayangan benda-benda yang berada di depannya. Dapatkah Anda mengidentifikasi sifat-sifat bayangan pada cermin kaca spion?

Selain cermin cembung, berdasarkan bentuknya, ada dua jenis cermin lainnya, yaitu cermin datar dan cermin cekung. Dapatkah kedua cermin ini meneruskan cahaya? Bagaimana sifat-sifat bayangannya?

Anda dapat menentukan jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut dalam bab ini. Oleh karena itu, pelajarilah bab ini dengan baik.

- A. Cahaya**
- B. Pemantulan Cahaya**
- C. Pembiasan Cahaya**
- D. Alat-Alat Optik**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Cahaya dan Optika, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa perbedaan antara bayangan maya dan bayangan nyata?
2. Bagaimana sifat bayangan pada cermin?
3. Apa yang dimaksud dengan pembiasan, indeks bias relatif, dan indeks bias mutlak?
4. Bagaimana sifat lensa cembung dan lensa cekung terhadap berkas cahaya yang melewatinya?
5. Sebutkan beberapa manfaat lensa yang Anda ketahui.



## Tokoh

### Christian Huygens (1580 – 1626)



Sumber: *JendelaIptek*, 1997

Seorang fisikawan Belanda, **Christian Huygens** dilahirkan di Den Haag, pada 14 April 1626. Ayahnya seorang diplomat dan sastrawan. Pada 1666, ia memberikan sumbangan penting tentang ilmu Matematika, Astronomi, Optik, dan Mekanika, yang membuat namanya terkenal sebagai ilmuwan penting di Eropa. Pada 1655, **Huygens** menyempurnakan teleskopnya yang cukup kuat untuk menemukan sebuah satelit Planet Saturnus, kemudian diberi nama Titan. Pada awal 1660-an ia menemukan lensa pelihat (okuler) yang terdiri atas gabungan lensa, guna mengurangi gangguan warna yang timbul akibat penggunaan lensa-lensa non-akromatik, lensa ini masih dipakai sampai sekarang.

## A. Cahaya

Sains dan teknologi selalu membawa Anda untuk mampu memahami alam. Hal ini disebabkan sains dan teknologi selalu memberi pengetahuan baru serta instrumen baru yang mampu mengungkap rahasia-rahasia alam sekalipun gejala alam yang semula dianggap tidak mungkin terungkap. Fenomena astronomi dapat lebih banyak terungkap karena tersedianya teleskop atau teropong yang lebih baik daripada sebelumnya. Kemajuan dan penemuan dalam biologi modern tidak dapat terjadi jika tidak ada mikroskop. Bagaimana alat-alat optik tersebut bekerja dan mampu mengungkap rahasia alam? Dalam bab ini, akan dibahas sejumlah hukum serta prinsip optika geometri (pemantulan dan pembiasan) yang diterapkan dalam beberapa alat optik.

### 1. Teori-Teori tentang Cahaya

Berikut akan dijelaskan beberapa teori tentang cahaya.

#### a. Teori Partikel

Pada Pertengahan abad ke 17 M hingga pertengahan abad ke-19 M, sejarah Fisika sangat dipengaruhi oleh pemikiran dan karya **Isaac Newton**, meskipun terdapat sejumlah tokoh besar lain yang hidup sezaman dengan Newton yang memberikan kontribusi besar terhadap Fisika. Akan tetapi, di antara mereka ada sebagian yang tidak sependapat dengan **Newton**, di antaranya **Robert Hooke**, **Robert Boyle**, **Christian Huygens**, **Ole Roemer**, **James Bradley**, dan **Edmond Halley**.

Pada 1671, **Newton** menerbitkan karya ilmiah pertama tentang cahaya dan warna dalam *Philosophical Transactions*. Kerja ilmiah ini diterima dengan baik oleh semua pihak kecuali **Hooke** dan **Huygens**. Mereka keberatan dengan **Newton** berkaitan dengan percobaan yang membuktikan bahwa cahaya terdiri atas partikel kecil yang bergerak. Mereka menganggap bahwa cahaya merupakan gelombang.

Teori partikel dapat menjelaskan bahwa perambatan cahaya berupa garis lurus yang tidak dapat dilihat dari belakang sebuah penghalang. Adapun gelombang seperti gelombang bunyi masih dapat didengar walaupun di belakang terdapat penghalang. Pada abad 17 M, **Newton** menemukan komposisi cahaya putih yang diintegrasikan dengan fenomena warna. Upaya ini merupakan titik awal kajian khusus tentang cahaya yang menjadi dasar bagi Fisika modern. **Newton** tertarik melakukan pengujian menggunakan prisma dan kaca. Ketika cahaya diarahkan pada prisma, cahaya putih dapat memunculkan banyak warna, seperti violet, indigo, biru, hijau, kuning, oranye, dan merah. **Newton** juga banyak melakukan eksperimen di alam dengan media, seperti minyak, air, dan gelembung sabun. Berdasarkan

penelitiannya, **Newton** menyimpulkan bahwa pada umumnya, cahaya terdiri atas sekumpulan partikel yang disebut *Corpuscles*.

## b. Teori Gelombang

Pada 1678, **Huygens** berusaha melawan Teori Partikel dengan menyatakan bahwa cahaya merupakan gelombang yang bergerak dengan kecepatan tertentu dalam medium eter.

Menurut **Huygens**, titik-titik pada muka gelombang yang merambat dapat dianggap sebagai gelombang baru. Pada gelombang lingkaran, muka gelombangnya berupa lingkaran, sedangkan pada gelombang datar, muka gelombangnya berupa garis lurus. Teori gelombang dapat meyakinkan bahwa laju cahaya dalam air lebih lambat daripada di udara. Dengan demikian, menurut **Huygens** Teori Partikel **Newton** gugur. Walaupun demikian, teori gelombang tidak mampu menjelaskan tentang perambatan cahaya berupa garis lurus. Kelemahan ini yang menyebabkan **Newton** tidak setuju dengan teori gelombang. Teori **Huygens** mampu menemukan rumus-rumus pembiasan dan pemantulan cahaya dengan sangat memuaskan.

### Kata Kunci

- partikel
- gelombang

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Menurut teori partikel dan teori gelombang, apakah cahaya itu?
2. **Newton** berpendapat bahwa cahaya merupakan partikel. Berikan penjelasan mengenai teori ini dengan kalimat Anda sendiri.
3. Bagaimana hipotesis **Huygens** sehingga dia berpendapat bahwa cahaya merupakan gelombang?
4. Apa kelemahan teori gelombang yang membuat **Newton** masih tidak setuju dengan teori itu?
5. Menurut Anda, di antara teori partikel dan teori gelombang, manakah yang paling benar?

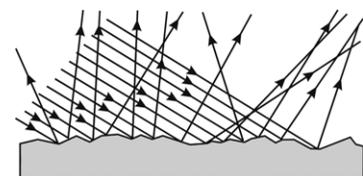
## B. Pemantulan Cahaya

Cabang ilmu pengetahuan tentang cahaya yang mempelajari sifat-sifat perambatan cahaya, seperti pemantulan, pembiasan, serta prinsip jalannya sinar-sinar disebut *optika geometri*. Dalam optika geometri, cahaya dapat digambarkan dengan sinar berupa garis yang tegak lurus dengan muka gelombang dan tidak sepenuhnya memperhitungkan sifat gelombang dari cahaya tersebut. Penggambaran cahaya sebagai sinar berupa garis lurus tidak dapat diterapkan dalam *optika fisis*. Pada optika fisis, cahaya harus sepenuhnya dipandang sebagai gelombang karena efek-efek interferensi dan difraksinya sangat dominan.

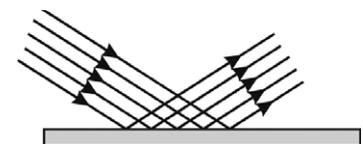
### 1. Pemantulan Baur dan Pemantulan Teratur

Pada umumnya, setiap permukaan benda dapat memantulkan cahaya yang jatuh pada permukaan benda tersebut. Permukaan benda dapat berupa permukaan kasar atau halus. Seberkas cahaya yang jatuh pada benda dengan permukaan kasar akan dipantulkan dengan arah sinar pantul yang tak teratur. Pemantulan ini disebut *pemantulan baur*, perhatikan **Gambar 6.1**.

Adapun seberkas cahaya yang jatuh pada permukaan halus, akan dipantulkan dengan arah yang teratur. Pemantulan ini disebut *pemantulan teratur*, perhatikan **Gambar 6.2**. Pemantulan cahaya pada permukaan benda tidak sembarang, melainkan memiliki keteraturan sesuai dengan hukum-hukum pemantulan.



**Gambar 6.1**  
Pemantulan baur



**Gambar 6.2**  
Pemantulan teratur



## Aktivitas Fisika 6.1

### Pemantulan pada Cermin Datar

#### Tujuan Percobaan

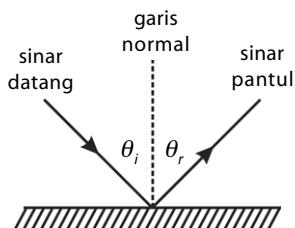
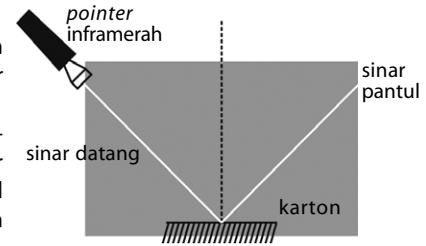
Mengamati pemantulan pada cermin datar.

#### Alat-Alat Percobaan

Sediakanlah sumber cahaya, cermin datar, penggaris, alat tulis, dan selembar karton.

#### Langkah-Langkah Percobaan

1. Letakkan sumber cahaya, cermin datar, dan karton, seperti pada gambar berikut.
2. Buatlah garis normal pada permukaan cermin datar, titik di mana sinar akan dipantulkan (garis normal tegak lurus terhadap permukaan cermin datar).
3. Gambarkan sinar yang jatuh pada permukaan cermin. Sinar ini disebut sinar datang. Gambarkan pula sinar yang meninggalkan permukaan cermin. Sinar ini disebut sinar pantul.
4. Ukurlah sudut antara sinar datang dan garis normal. Sudut ini disebut sudut datang. Ukur juga sudut antara sinar pantul dan garis normal. Sudut ini disebut sudut pantul. Lakukan kegiatan ini tidak kurang dari lima kali.
5. Apa yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan ini?



**Gambar 6.3**  
Hukum Pemantulan. Sudut datang ( $\theta_i$ ) sama dengan sudut pantul ( $\theta_r$ )

## 2. Hukum Pemantulan

Jika pada **Aktivitas Fisika 6.1** proses pemantulan pada cermin datar dilakukan secara baik, Anda dapat menemukan kesimpulan bahwa:

- a. sudut datang sama dengan sudut pantul;
- b. sinar datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar. Pernyataan dikenal dengan Hukum Pemantulan.

## 3. Pemantulan pada Cermin

Cermin adalah permukaan yang mampu memantulkan lebih dari 95% cahaya yang mengenainya. Permukaan seperti itu dapat berupa logam yang digosok sehingga mengkilap atau kaca yang dilapisi logam, misalnya dilapisi *amalgam raksa*.

### Contoh 6.1

Dua buah cermin disusun seperti pada gambar berikut.

Jika sinar datang pada cermin A memiliki sudut datang  $40^\circ$ , tentukan arah sinar pantul (sudut pantul) oleh cermin B.

**Jawab:**

Di titik A,  $i$  adalah sudut datang =  $40^\circ$ .

Berdasarkan hukum pemantulan,  $i = r$  maka  $r = 40^\circ$ .

$$\angle P = \angle BAO = \angle NAO - (r) = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$$

Besar sudut  $r'$  dapat dicari dari

$$\angle r' + \angle P + \angle AOB = 180^\circ = \angle r' + 50^\circ + 90^\circ = 180^\circ$$

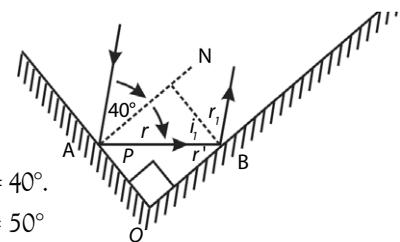
$$\angle r' = 180^\circ - 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

Besar sudut  $i_1$  dapat dicari dari

$$\angle r' + \angle i_1 = 90^\circ$$

$$\angle i_1 = 90^\circ - \angle r' = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$$

$\angle i_1$  merupakan sudut datang terhadap cermin B.



Berdasarkan hukum pemantulan, di titik B berlaku:

$$\angle i_1 = \angle r_1$$

$$\angle r_1 = 50^\circ$$

Jadi, arah sinar pantul oleh cermin B membentuk sudut  $50^\circ$  terhadap garis normal.

### a. Pemantulan pada Cermin Datar

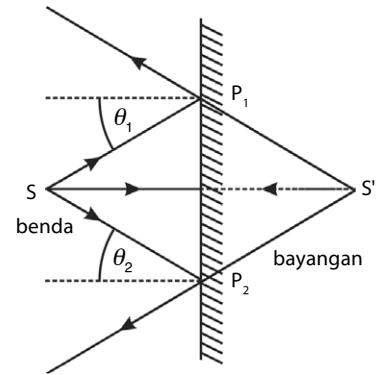
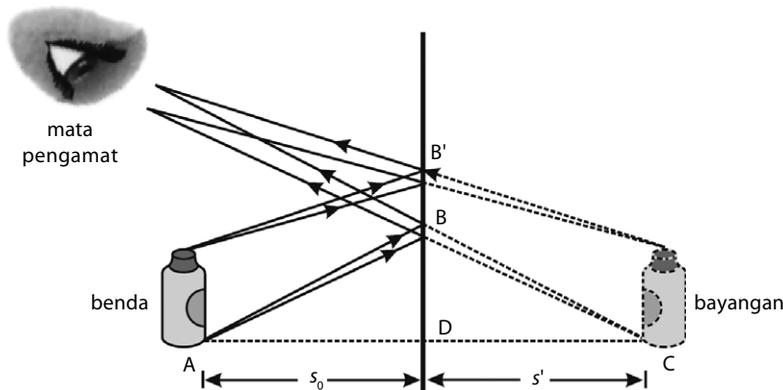
Apa yang Anda lihat pada cermin datar ketika Anda berdiri di depan cermin datar tersebut? Pada cermin, terlihat ada bayangan Anda. Bagaimana sifat bayangan yang terbentuk pada cermin datar?

Perhatikan **Gambar 6.4**. Titik S' merupakan bayangan dari titik S. Adapun proses pembentukan bayangan pada cermin datar adalah sebagai berikut.

1. Sinar datang  $SP_1$  (sinar 1) jatuh pada cermin datar dengan sudut datang  $\theta_1$ , kemudian sinar ini dipantulkan. Perhatikan jalan sinar 1.
2. Sinar datang  $SP_2$  (sinar 2) jatuh pada cermin dengan sudut datang  $\theta_2$ , kemudian sinar ini dipantulkan. Perhatikan jalan sinar 2.
3. Perpanjangan sinar pantul 1 dan sinar pantul 2 di belakang cermin dilukiskan dengan garis terputus-putus dan berpotongan di titik S'. Jadi, letak bayangan titik S adalah S' yang dibentuk dari perpotongan perpanjangan dua sinar pantul.

Dengan cara yang sama, bayangan benda dua dimensi dan tiga dimensi dapat terbentuk oleh cermin datar. Proses pembentukan bayangannya sama seperti pada benda titik. Hal yang terpenting adalah dalam setiap proses pembentukan bayangan, hukum pemantulan selalu berlaku.

Perhatikan **Gambar 6.5** berikut.



**Gambar 6.4**

Pembentukan bayangan pada cermin datar

**Gambar 6.5**

Ukuran benda persis sama dengan ukuran bayangan

Untuk benda yang bukan berupa titik atau garis, Anda akan mendapatkan bahwa ukuran bayangan benda persis sama dengan ukuran bendanya. Benda dan bayangan hanya berbeda dalam hal arah kiri dan kanannya. Perhatikan **Gambar 6.6**. Bagian kiri benda menjadi bagian kanan bayangan, dan sebaliknya. Peristiwa ini disebut pembalikan sisi (*lateral inversion*). Oleh karena adanya pembalikan sisi ini, tulisan yang hendak dibaca melalui cermin, penulisan hurufnya harus dibalik.

Berdasarkan bayangan benda pada cermin datar, dapat disimpulkan bahwa sifat bayangan benda yang dibentuk oleh cermin datar adalah sebagai berikut

- maya;
- ukuran sama besar dengan ukuran benda;
- tegak;
- jarak benda terhadap cermin sama dengan jarak bayangan terhadap cermin.



**Gambar 6.6**

Ketika bercermin, posisi kiri benda menjadi posisi kanan bayangan

1) Bayangan nyata dan bayangan maya

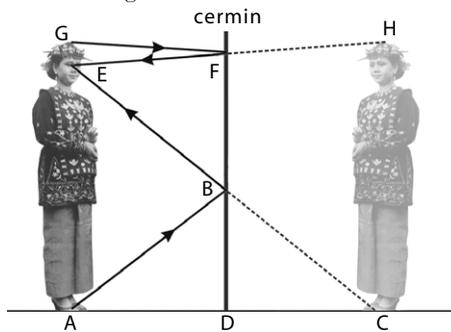
Bayangan nyata adalah bayangan yang terbentuk dari perpotongan langsung sinar-sinar cahaya, sedangkan bayangan maya adalah bayangan yang dihasilkan dari perpotongan perpanjangan sinar-sinar cahaya. Sebagai contoh, bayangan yang dihasilkan pada cermin datar merupakan bayangan maya karena bayangan tersebut merupakan perpotongan langsung dari perpanjangan sinar-sinar cahaya. Adapun contoh bayangan nyata terjadi pada bayangan yang dihasilkan oleh proyektor pada layar.

**Contoh 6.2**

Hitung panjang minimum suatu cermin yang dibutuhkan agar seorang penari adat dapat melihat seluruh tubuhnya yang tingginya  $h$  meter.

**Jawab:**

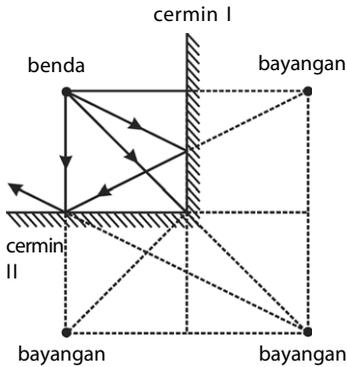
Perhatikan gambar berikut.



Oleh karena sinar pantul sama dengan sinar datang maka  $BF = BD = \frac{1}{2} AG$ , Jadi, untuk dapat melihat bayangan seluruh tubuh diperlukan panjang cermin datar minimal  $\frac{1}{2}$  dari tinggi tubuh seseorang.

2) Jumlah bayangan oleh dua buah cermin datar

Perhatikan Gambar 6.7, jika sebuah benda berada di depan dua buah cermin yang membentuk sudut  $\alpha$ , satu sama lain, akan terbentuk sejumlah bayangan. Jumlah bayangan bergantung pada berapa besar sudut  $\alpha$ . Berdasarkan hasil eksperimen, jumlah bayangan yang dibentuk oleh dua buah cermin yang membentuk sudut  $\alpha$  adalah sebagai berikut.



**Gambar 6.7**

Benda yang diletakkan di antara dua buah cermin datar dan membentuk sudut  $90^\circ$  akan menghasilkan 3 buah bayangan.

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \tag{9-1}$$

Keterangan:

$n$  = jumlah bayangan

$\alpha$  = sudut antara dua buah cermin

**Contoh 6.3**

Sebuah benda terletak di depan 2 buah cermin datar yang membentuk sudut  $60^\circ$ . Hitung jumlah bayangan yang terbentuk.

**Jawab:**

Diketahui:

$$\alpha = 60^\circ$$

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

$$n = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1$$

$$n = 6 - 1 = 5$$

Jadi, jumlah bayangan yang terbentuk 5 buah.

## b. Pemantulan pada Cermin Cekung

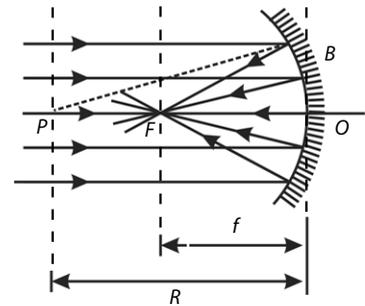
Cermin cekung adalah cermin yang memiliki permukaan cekung. Cermin cekung bersifat konvergen, yaitu bersifat mengumpulkan sinar. Bagian-bagian cermin cekung tampak seperti pada **Gambar 6.8**.

### 1) Pembentukan bayangan oleh cermin cekung

Letak dan sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung bergantung pada letak benda. Sebuah benda yang diletakkan di depan sebuah cermin cekung akan memiliki bayangan dengan sifat-sifat tertentu. Perhatikan **Gambar 6.9**, sifat-sifat cermin cekung di antaranya:

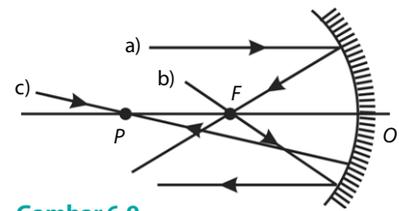
- Sinar datang yang sejajar sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus utama.
- Sinar datang yang melalui titik fokus utama dipantulkan sejajar dengan sumbu utama.
- Sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan kembali melalui lintasan yang sama.

Bayangan sebuah benda oleh cermin cekung dapat ditentukan dengan cara menggambar 2 dari 3 sinar istimewa pada cermin cekung. Cara melukis bayangan benda oleh cermin cekung adalah sebagai berikut. Perhatikan **Gambar 6.10**. *Langkah pertama*, cermin cekung digambar lengkap dengan bagian-bagiannya. *Langkah kedua*, garis AB digambar untuk melambangkan tinggi benda. Adapun garis AB tidak perlu terlalu tinggi. *Langkah ketiga*, gambarkan sinar istimewa-1. *Langkah keempat*, gambarkan sinar istimewa-2. *Langkah kelima*, titik yang merupakan perpotongan antara sinar pantul-1 dan sinar pantul-2 diberi nama B'. Titik ini merupakan bayangan dari titik B. Kemudian, garis tegak lurus sumbu utama ditarik dari titik B' ke arah sumbu utama. Titik ini diberi nama A' yang merupakan bayangan dari titik A sehingga A'B' merupakan bayangan dari garis AB.

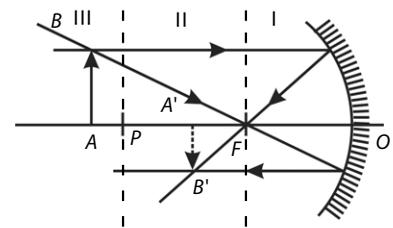


$f$  = jarak fokus  
 $R$  = kelengkungan cermin

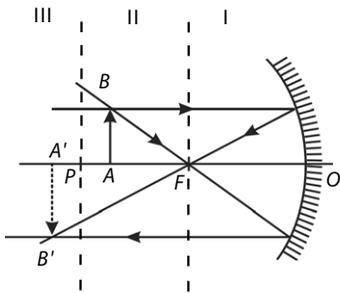
**Gambar 6.8**  
 Bagian-bagian cermin cekung



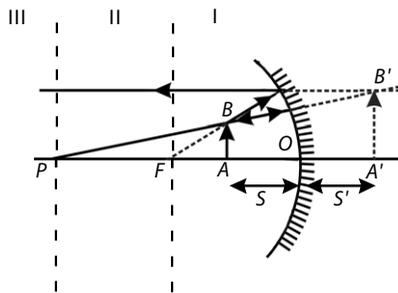
**Gambar 6.9**  
 Sinar istimewa pada cermin cekung



**Gambar 6.10**  
 Pembentukan bayangan di ruang III AB pada cermin cekung



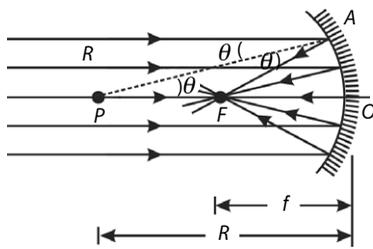
**Gambar 6.11**  
 Gambar bayangan jika letak bendanya di ruang II



**Gambar 6.12**  
 Gambar bayangan jika bendanya di ruang I

Berdasarkan **Gambar 6.10**, **Gambar 6.11**, dan **Gambar 6.12** dapat disimpulkan bahwa:

- jika benda pada ruang I, maka bayangan yang dihasilkan adalah maya, tegak, dan diperbesar;
- jika benda berada di ruang II, maka bayangan yang dihasilkan adalah nyata (di ruang III), terbalik, dan diperbesar;
- jika benda berada pada ruang III, maka bayangan yang dihasilkan adalah nyata (di ruang II), terbalik dan diperbesar.



**Gambar 6.13**  
Hubungan antara fokus dan jari-jari cermin cekung

2) **Hubungan antara jarak fokus dan jari-jari kelengkungan cermin**  
Hubungan antara jarak fokus dan jari-jari kelengkungan cermin dapat dicari dengan pertolongan **Gambar 6.13**.

Pada gambar tersebut, tampak bahwa sinar sejajar sumbu utama datang ke permukaan cermin cekung, kemudian dipantulkan melalui titik fokus. Sinar-sinar ini mengikuti hukum pemantulan, yaitu sudut datang sama dengan sudut pantul. Oleh karena itu, segitiga  $AFP$  merupakan segitiga sama kaki (sisi  $AF =$  sisi  $FP$ ). Jika sinar datang dekat sekali dengan sumbu utama  $AF$ , dapat dianggap sama dengan  $OF$  sehingga  $FP = OF$ . Dari sini, diperoleh bahwa  $2f = R$  atau

$$f = \frac{1}{2}R \quad (6-2)$$

Keterangan:

$f$  = jarak fokus

$R$  = jari-jari kelengkungan cermin

3) **Rumus pada cermin cekung**

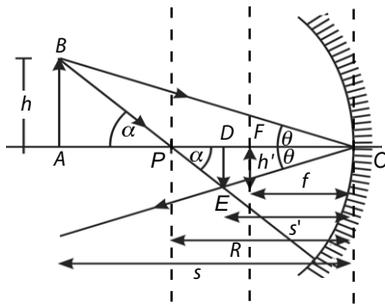
Selain secara geometri, letak dan sifat bayangan benda dapat ditentukan secara perhitungan dengan persamaan sebagai berikut. Perhatikan **Gambar 6.14**.

Pada **Gambar 6.14** tampak bahwa  $\triangle BAO$  dan  $\triangle EDO$  sebangun sehingga

$$\frac{DE}{AB} = \frac{OD}{OA}$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

(6-3)



Keterangan:

$s$  = jarak benda ke cermin

$h$  = tinggi benda

$f$  = jarak fokus

$h'$  = tinggi bayangan

$s'$  = jarak bayangan ke cermin

**Gambar 6.14**

Letak dan sifat bayangan benda pada cermin cekung

Pada **Gambar 6.14** tampak bahwa  $\triangle ABP$  dan  $\triangle DEP$  sebangun.

$$\text{Untuk } \triangle ABP \text{ berlaku } \tan \alpha = \frac{AB}{AP} = \frac{h}{s-R}$$

$$\text{Untuk } \triangle DEP \text{ berlaku } \tan \alpha = \frac{DE}{DP} = \frac{h'}{R-s'}$$

$$\text{sehingga } \frac{h}{s-R} = \frac{h'}{R-s'} \rightarrow \frac{h'}{h} = \frac{R-s'}{s-R}$$

$$\text{Oleh karena } \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \text{ maka } \frac{s'}{s} = \frac{R-s'}{s-R}$$

$$s'(s-R) = s(R-s') \rightarrow s's - s'R = sR - ss' \rightarrow 2ss' = R(s+s')$$

$$\frac{ss'}{s+s'} = \frac{R}{2} \rightarrow \frac{s+s'}{ss'} = \frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \quad (6-4)$$

Oleh karena  $f = \frac{R}{2}$  maka

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \quad (6-5)$$

Dengan menggunakan persamaan cermin tersebut, Anda dapat menentukan jarak bayangan sebuah benda. Adapun perbesaran bayangan  $M$



Konvensi tanda untuk pemantulan:

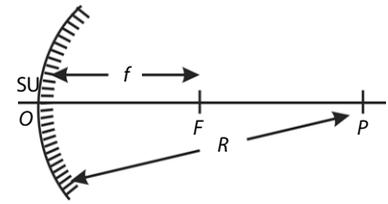
- $s$  bernilai + jika objek berada di depan cermin (objek maya)  
bernilai - jika objek di belakang cermin (objek nyata)
- $s'$  bernilai + jika objek berada di depan cermin (objek nyata)  
bernilai - jika objek berada di belakang cermin (objek maya)
- $r, f$  bernilai + jika pusat kelengkungan berada di depan cermin (cermin cekung)  
bernilai - jika pusat kelengkungan berada di belakang cermin (cermin cembung).

didefinisikan sebagai perbandingan antara besar (tinggi) bayangan dan besar (tinggi) benda. Secara matematis dapat ditulis

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h} \quad (6-6)$$

### c. Pemantulan pada Cermin Cembung

Cermin cembung adalah cermin yang memiliki permukaan cembung. Cermin cembung bersifat divergen, yaitu bersifat memancarkan sinar. Bagian-bagian cermin cembung seperti pada **Gambar 6.15**.

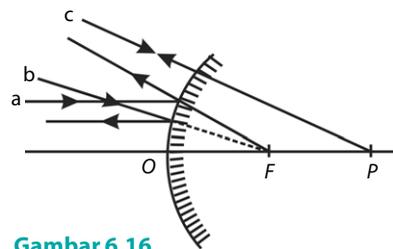


**Gambar 6.15**

Bagian-bagian cermin cembung  
 R = jari-jari kelengkungan cermin  
 P = titik pusat kelengkungan cermin  
 F = titik fokus cermin  
 f = jarak titik fokus ke cermin

#### 1) Pembentukan bayangan oleh cermin cembung

Sebuah benda yang diletakkan di depan sebuah cermin cembung memiliki bayangan dengan sifat-sifat tertentu. Bayangan sebuah benda oleh cermin cembung dapat ditentukan dengan cara menggambarkan 2 dari 3 sinar istimewa pada cermin cembung. Perhatikan **Gambar 6.16**. Pada **Gambar 6.16**, terlihat

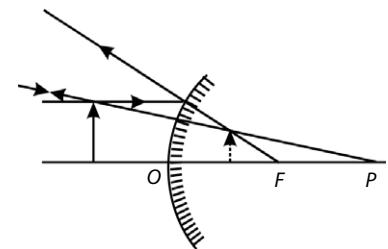


**Gambar 6.16**

Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung

- sinar datang yang sejajar sumbu utama dipantulkan seakan-akan datang dari titik fokus;
- sinar datang yang menuju titik fokus dipantulkan sejajar dengan sumbu utama;
- sinar datang yang menuju titik pusat kelengkungan cermin dipantulkan kembali melalui lintasan yang sama.

Cara melukis bayangan benda oleh cermin cembung terlihat seperti pada **Gambar 6.17**. Pada cara tersebut, sinar istimewa yang digunakan adalah sinar 1 dan sinar 3. Berdasarkan gambar bayangan tersebut dapat disimpulkan bahwa benda yang diletakkan di depan sebuah cermin cembung selalu menghasilkan bayangan maya, tegak, dan diperkecil.



**Gambar 6.17**

Lukisan pembentukan bayangan oleh cermin cembung

#### 2) Rumus pada cermin cembung

Rumus pada cermin cembung sama seperti rumus yang berlaku pada cermin cekung, yaitu:

$$f = \frac{1}{2}R$$

$$M = \frac{h'}{h} = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \quad (6-7)$$

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah

- tanda jarak fokus pada cermin cembung selalu bernilai negatif. Hal ini disebabkan letak titik fokus pada cermin cembung terletak di belakang cermin;
- untuk benda nyata di depan cermin cembung, selalu terbentuk bayangan maya. Jadi, nilai  $s'$  pada cermin cembung bertanda negatif.

### Contoh 6.4

Sebuah cermin cekung memiliki jari-jari kelengkungan 2 m. Sebuah benda diletakkan pada jarak 1,5 m dari cermin, tinggi benda 5 cm. Hitunglah letak, tinggi, dan perbesaran bayangan.

**Jawab:**

Diketahui:

$$s = 1,5 \text{ m} \quad R = 2 \text{ m} \rightarrow f = \frac{1}{2}(R) = \frac{1}{2}(2) = 1 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan **Persamaan (6-7)**, diperoleh

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{3} \rightarrow s' = 3 \text{ m}$$

$$\frac{1}{1,5} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{1}$$

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h} \rightarrow \left| \frac{3}{1,5} \right| = \frac{h'}{h} \rightarrow |2| = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{1} - \frac{1}{1,5}$$

$$h' = 2h = 2(5 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

Jadi, letak bayangan 3 m di depan cermin, tingginya 10 cm, dan perbesarannya 2 kali.

$$\frac{1}{s'} = 1 - \frac{2}{3}$$

## Kata Kunci

- optika geometri
- optika fisis
- pemantulan baur
- pemantulan halus
- bayangan nyata
- bayangan maya
- titik fokus utama
- pusat kelengkungan

## Contoh 6.5

Sebuah benda diletakkan 30 cm di depan cermin cembung yang berjari-jari 30 cm.

- Di mana letak bayangan?
- Berapa perbesarannya?
- Lukis jalannya sinar pada pembentukan bayangan.

**Jawab:**

Diketahui:

$$s = 30 \text{ cm}; \quad R = -30 \text{ cm.}$$

$$f = \frac{1}{2}R = \frac{1}{2}((-)30) = -15 \text{ cm}$$

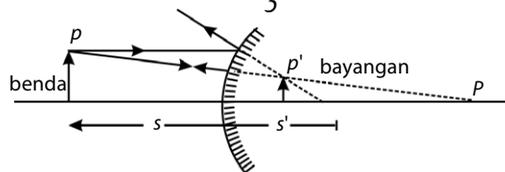
$$\text{a. } \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \rightarrow \frac{1}{-15} = \frac{1}{30} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = -\left(\frac{1}{15} + \frac{1}{30}\right) \rightarrow \frac{1}{s'} = -\frac{3}{30} \rightarrow s' = -10 \text{ cm}$$

$$\text{b. } M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \left| \frac{-10}{30} \right| \rightarrow M = \frac{1}{3}$$

Jadi, perbesarannya =  $\frac{1}{3}$  kali (sifat bayangan: tegak, maya, dan diperkecil)

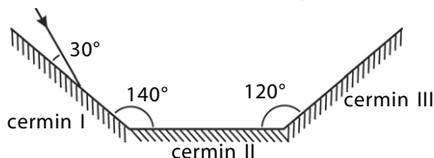
c.



## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Seberkas sinar datang jatuh pada sebuah permukaan cermin dengan sudut  $60^\circ$ . Jika diinginkan sinar pantul oleh cermin kedua sejajar dengan sinar datang, berapakah sudut antara cermin pertama dan cermin kedua?
- Tiga buah cermin disusun seperti gambar berikut.
- Dua buah cermin datar membentuk sudut  $45^\circ$ . Sebuah benda terletak di depan kedua cermin tersebut. Tentukan jumlah bayangan yang terbentuk.
- Sebuah benda tegak tingginya 2,5 cm diletakkan di depan cermin cekung berjari-jari 24 cm pada jarak 30 cm dari cermin.
  - Tentukan jarak bayangan ke cermin.
  - Lukis jaraknya sinar pada pembentukan bayangan.
  - Tentukan sifat-sifat bayangan.



Tentukan arah sinar pantul dari cermin tersebut.

5. Sebuah benda diletakkan di depan cermin cembung sedemikian rupa sehingga besar bayangannya 0,5 kali. Jika bayangan yang terbentuk tepat  $-0,55$  dan jari-jari

kelengkungan cermin cembung 20 cm, hitung jarak benda ke cermin.

## C. Pembiasan Cahaya

Agar Anda memahami peristiwa pembiasan cahaya, lakukanlah kegiatan berikut.



### Aktivitas Fisika 6.2

#### Pembiasan dan Pemantulan

##### Tujuan Percobaan

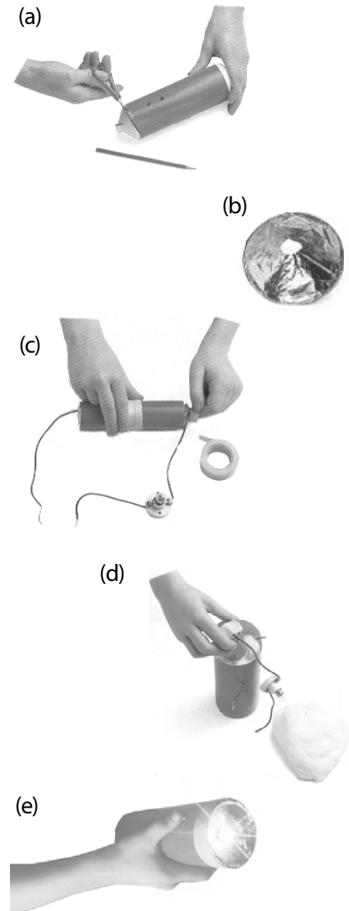
Mengamati peristiwa pembiasan dan pemantulan.

##### Alat-Alat Percobaan

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Baterai kering                  | 6. Kapas                    |
| 2. Pengunci kertas                 | 7. Bohlam kecil dalam wadah |
| 3. Pensil                          | 8. Klip kertas              |
| 4. Obeng, gunting, dan double tape | 9. Kabel                    |
| 5. Aluminium foil                  | 10. Botol air plastik       |

##### Langkah-Langkah Percobaan

- Potong bagian atas botol, kemudian menggunakan pensil lubangi botol di pinggiran botol.
- Rekatkan aluminium foil di dalam bagian atas botol yang sudah dipotong, seperti pada gambar (b).
- Pasangkan dua buah kabel pada bohlam kecil yang sudah ditempatkan pada wadahnya.
- Satukan baterai secara seri, lalu rekatkan kabel ketiga pada bagian bawah baterai (kutub negatif), seperti pada gambar (d).
- Rekatkan satu kabel dari wadah bohlam ke bagian atas baterai (kutub positif).
- Masukkan kabel ke dalam lubang di pinggir botol, penuhi botol dengan kapas dan tempatkan kedua kabel dengan pengunci kertas.
- Tempatkan wadah bohlam di atas baterai, dan tempatkan tengah-tengah bohlam tepat di bagian atas botol yang sudah diratakan aluminium foil.
- Bengkokkan klip kertas dan tempatkan pada salah satu ujung pengunci kertas sehingga menjadi saklar senter tersebut.
- Tekan ujung lainnya klip kertas ke pengunci kertas yang lain senter kini menyala.
- Apa yang menyebabkan nyala filamen lampu menyebar ke depan senter?
- Apa manfaat adanya aluminium foil pada bagian atas botol yang dipotong? Peristiwa apa yang terjadi pada aluminium foil tersebut?



Perhatikan nyala lampu senter, seperti pada **Aktivitas 6.2**. Lingkungan yang melingkupi filamen lampu adalah hampa udara, kemudian cahaya diteruskan ke udara luar. Bukankah cahayanya menyebar? Apa peran kaca pembatas yang membentuk bola? Peristiwa yang dialami cahaya dinamakan peristiwa pembiasan.

*Pembiasan (refraksi)* adalah peristiwa pembelokan arah cahaya ketika melewati bidang batas antara dua medium yang berbeda. Pembiasan cahaya terjadi akibat kecepatan cahaya berbeda pada setiap medium.

Mungkin Anda pernah melihat sebuah pensil yang tercelup sebagian ke dalam air di dalam gelas, peristiwa itu memperlihatkan pembiasan. Perhatikan **Gambar 6.18**. Bagian pensil yang tercelup ke air kelihatan patah. Perhatikan pula jika di lingkungan Anda terdapat kolam yang jernih, dasar kolam tersebut terlihat lebih dangkal. Peristiwa tersebut juga merupakan contoh peristiwa pembiasan cahaya.



**Gambar 6.18**

Pensil seperti patah ketika tercelup ke dalam air

## 1. Indeks Bias

Indeks bias dapat dipandang sebagai suatu kemampuan medium membiaskan (membelokkan) arah rambat cahaya. Jika cahaya bergerak dari vakum atau udara ke medium lain, indeks biasnya disebut *indeks bias mutlak* medium tersebut. Pada eksperimen Snellius, nilai indeks bias yang didapat ( $n = 1,5$ ) merupakan nilai indeks bias mutlak kaca karena cahaya bergerak dari vakum atau udara ke kaca. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$n = \frac{c}{v} \quad (6-8)$$

Keterangan:

$n$  = indeks bias mutlak

$c$  = kecepatan cahaya di vakum/udara

$v$  = kecepatan cahaya di suatu medium

Nilai indeks bias mutlak beberapa medium ditunjukkan pada **Tabel 6.1**.

**Tabel 6.1**

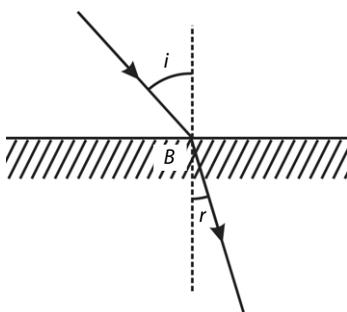
Indeks Bias Mutlak Beberapa Medium

Medium	$n = \frac{c}{v}$
Vakum	1,0000
Udara	1,0003
Air (20° C)	1,33
Etil alkohol	1,36
Kaca	
Kuarsa	1,46
Kerona	1,52
Flinta	1,58
Kaca plexi	1,51
Intan	2,42

Sumber: *Fundamentals of Physics*, 2001

## 2. Hukum Pembiasan

Pembiasan cahaya tidak sembarang, tetapi mengikuti hukum-hukum pembiasan. Hukum pembiasan pertama kali dinyatakan oleh **Willebrord Snellius**, ahli Fisika berkebangsaan Belanda. **Snellius** melakukan eksperimen dengan melewatkan seberkas sinar pada balok kaca. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukannya, **Snellius** kemudian menyatakan Hukum I Pembiasannya, yaitu *perbandingan sinus sudut datang dan sinus sudut bias dari suatu cahaya yang datang dari suatu medium ke medium lain merupakan suatu konstanta yang besarnya sama dengan perbandingan indeks bias kedua medium tersebut*.



**Gambar 6.19**

Deskripsi hukum pembiasan

$$n_i \sin i = n_r \sin r \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_r}{n_i}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{ir} \quad (6-9)$$

Keterangan:

$i$  = sudut datang;

$r$  = sudut bias relatif

$n$  = indeks bias

Indeks bias relatif suatu medium adalah perbandingan nilai indeks bias mutlak dari dua medium yang berbeda. Misalnya, seberkas cahaya bergerak dari medium air ( $n_{air}$ ) ke medium kaca ( $n_{kaca}$ ).

Secara matematis, indeks bias air relatif terhadap medium kaca dapat ditulis

$$\frac{n_{air}}{n_{kaca}} = n_{kaca, air}$$

Secara umum, jika cahaya bergerak dari medium-1 ke medium-2, indeks bias medium-2 relatif terhadap medium-1. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{1,2}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{1,2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

Persamaan tersebut dapat juga ditulis sebagai berikut.

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{1,2} = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (6-10)$$

Keterangan:

- $n_1$  = indeks bias mutlak medium-1
- $n_2$  = indeks bias mutlak medium-2
- $n_{1,2}$  = indeks bias medium-2 relatif terhadap medium-1
- $i$  = sudut datang di medium-1
- $r$  = sudut bias di medium-2

### 3. Hubungan Cepat Rambat Cahaya dan Indeks Bias Medium

Perhatikan **Gambar 6.21**. Misalnya, suatu gelombang bidang PQ dilewatkan melalui medium 1 ke medium 2 yang lebih rapat. Setelah waktu  $t$  gelombang bidang PQ berada pada bidang SR:

$$\sin \varphi_1 = \frac{v_1 t}{PR} = \sin \varphi_1 ; \sin \varphi_2 = \frac{v_2 t}{PR} = \sin \varphi_2$$

$$PR = \frac{v_2 t}{\sin \varphi_2} = \frac{v_1 t}{\sin \varphi_1} = \sin \varphi_1$$

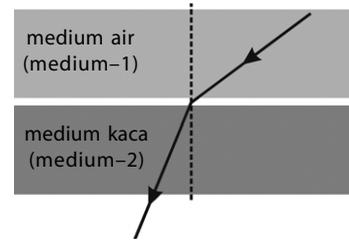
$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (6-11)$$

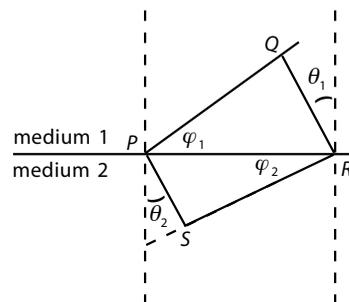
Diketahui  $v = f\lambda$ , dengan  $f$  = frekuensi dan  $\lambda$  = panjang gelombang. Dengan demikian, nilai indeks bias dapat diperoleh juga dari panjang gelombang.

$$n_{12} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (6-12)$$

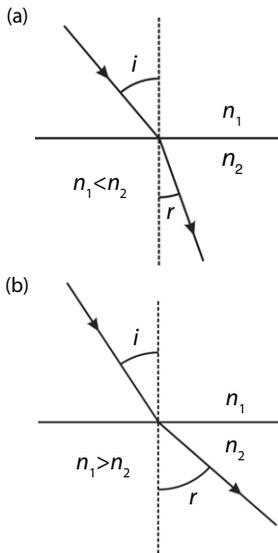
**Persamaan (6-11)** dan **persamaan (6-12)** memiliki makna fisis, yaitu kecepatan cahaya dalam suatu medium berbanding terbalik dengan nilai indeks biasnya. Maksudnya, jika indeks bias semakin besar, kecepatan cahaya semakin kecil. Sebagai contoh, kecepatan cahaya dalam medium kaca lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan cahaya ketika merambat dalam air. Alasannya, indeks bias mutlak kaca lebih besar daripada indeks mutlak air. Selain itu, Anda juga dapat menyimpulkan bahwa ketika gelombang merambat dari suatu medium ke medium lain yang indeks biasnya berbeda, panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan besar kecepatan ( $v$ ) gelombang tersebut berubah, namun frekuensi ( $f$ ) gelombang tersebut tidak berubah.



**Gambar 6.20**  
Sinar yang melalui dua medium berbeda, yaitu air dan kaca.

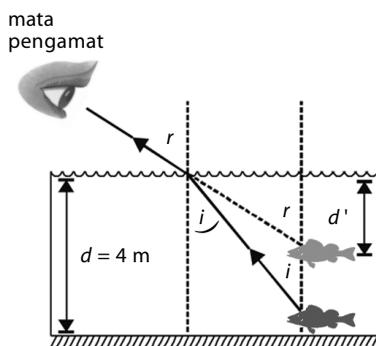
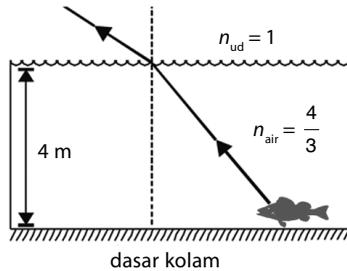


**Gambar 6.21**  
Pembiasan cahaya melalui dua medium



**Gambar 6.22**

Sinar datang dibiaskan:  
 (a) mendekati garis normal jika  $n_1 < n_2$ ;  
 (b) menjauhi garis normal jika  $n_1 > n_2$ .



### Contoh 6.6

Dalam sebuah eksperimen untuk menentukan kecepatan cahaya di dalam air, seorang siswa melewatkan seberkas cahaya ke dalam air dengan sudut datang  $30^\circ$ . Kemudian, siswa mencatat sudut bias yang terjadi di dalam air, ternyata besarnya  $22^\circ$ . Jika kecepatan cahaya di udara dianggap  $3 \times 10^8$  m/s, tentukan kecepatan cahaya di dalam air.

**Jawab:**

Diketahui:

$$i = 30^\circ; c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}; r = 22^\circ$$

$$\begin{aligned} v_{\text{di air}} &= \frac{c}{\sin i} \sin r \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\sin 30^\circ} \sin 22^\circ = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{0,5} (0,37) \text{ m/s} \\ &= 2,2 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan cahaya dalam air adalah  $2,25 \times 10^8$  m/s.

Sebagai konsekuensi dari Hukum I Snellius ini, sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat ( $n_1 < n_2$ ), sinar akan dibiaskan mendekati garis normal dan jika sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat ( $n_1 > n_2$ ), sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Perhatikan Gambar 6.22.

### Contoh 6.7

Seekor ikan berada di dasar kolam yang dalamnya 4 m ( $n_{\text{air}} = \frac{4}{3}$ ) seperti tampak pada gambar di samping.

Pada kedalaman berapakah letak ikan dasar kolam tersebut terlihat oleh pengamat dari permukaan air jika:

- ikan dilihat pengamat secara tegak lurus,
- sudut antara mata dan garis normal sebesar  $30^\circ$ .

**Jawab:**

- Perhatikan gambar.

Jika pengamat melihat ikan secara tegak lurus, akan memenuhi persamaan:

$$\tan r = \sin r \text{ dan } \tan i = \sin i.$$

$$\text{Sinar datang dari ikan sehingga } \frac{\tan i}{\tan r} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{d'}{d} \text{ atau } \frac{n_{ud}}{n_{air}} = \frac{d'}{d} \text{ maka}$$

$$\text{kedalaman ikan diperoleh, yaitu } \frac{1}{2} = \frac{d'}{4} \text{ atau } d' = 3 \text{ m}$$

Jadi, kedalaman semu ikan yang dilihat pengamat secara tegak lurus adalah 3 m.

- Kedalaman ikan untuk sudut antara mata pengamat dan garis normal  $r = 30^\circ$  adalah

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{ud}}{n_{air}} = \frac{\sin i}{\sin 30^\circ} = \frac{1}{\frac{4}{3}}$$

$$\sin i = \frac{3}{4} \sin 30^\circ = 0,375$$

$$i = 22,02^\circ$$

$$\text{sehingga } \frac{\tan i}{\tan r} = \frac{d'}{d} \rightarrow \frac{\tan 22,02^\circ}{\tan 30^\circ} = \frac{d'}{4} = 2,8 \text{ m}$$

Jadi, kedalaman semu ikan untuk sudut  $r = 30^\circ$  menjadi 2,8 m.

#### 4. Sudut Kritis dan Pemantulan Sempurna

Mengapa berlian tampak berkilauan ketika cahaya jatuh pada permukaannya? Mengapa pada saat terik matahari jalan raya beraspal tampak seperti tergenang air? Pada kedua gejala Fisika tersebut, cahaya mengalami pemantulan secara sempurna. Bagaimana pemantulan sempurna dapat terjadi? Perhatikan **Gambar 6.23**.

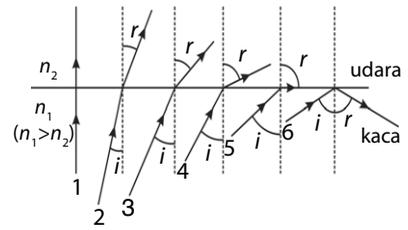
Gambar tersebut menunjukkan cahaya bergerak dari medium lebih rapat (kaca) ke medium kurang rapat (udara), atau dari medium berindeks bias lebih besar ke medium berindeks bias lebih kecil sehingga sinar biasanya menjauhi garis normal.

Ketika sudut datang nol, sudut biasnya juga nol, seperti ditunjukkan oleh sinar 1. Kemudian, pada saat sudut datang diperbesar (sinar 2, sinar 3, dan sinar 4), sudut bias pun bertambah besar atau semakin menjauhi garis normal. Pada saat besar sudut datang tertentu, yakni seperti sinar 5, cahaya dibiaskan  $90^\circ$  terhadap garis normal sehingga sinar biasnya sejajar dengan permukaan bidang batas medium (kaca-udara). Pada keadaan seperti ini, sudut datang disebut sudut kritis.

Dengan kata lain, sudut kritis adalah sudut datang ketika sinar datang dibiaskan sebesar  $90^\circ$ . Jika sudut datang diperbesar lagi melebihi sudut kritis, cahaya tidak akan dibiaskan melainkan dipantulkan secara sempurna. Artinya, cahaya tidak akan keluar dari medium kaca, seperti ditunjukkan oleh sinar 6. Peristiwa inilah yang disebut pemantulan sempurna.

Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemantulan sempurna hanya terjadi jika memenuhi dua syarat berikut.

- Cahaya datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat.
- Sudut datang lebih besar daripada sudut kritis.



**Gambar 6.23**

Deskripsi geometri tentang sudut kritis dan pemantulan sempurna



#### Aktivitas Fisika 6.3

##### Pemantulan Sempurna

###### Tujuan Percobaan

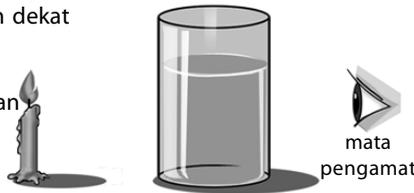
Mengamati pemantulan sempurna.

###### Alat-Alat Percobaan

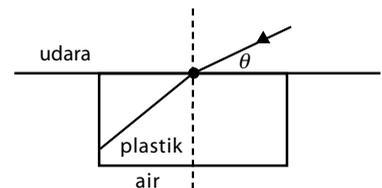
Gelas minum, lilin, dan air.

###### Langkah-Langkah Percobaan

- Isilah gelas minum dengan air sampai hampir penuh.
- Letakkan gelas tersebut di pinggir meja.
- Nyalakan lilin pendek dan letakkan dekat dengan gelas.
- Perhatikan gambar berikut. Amati dari arah yang berseberangan dengan lilin dari arah agak di bawah permukaan.
- Apa yang dapat Anda amati?
- Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

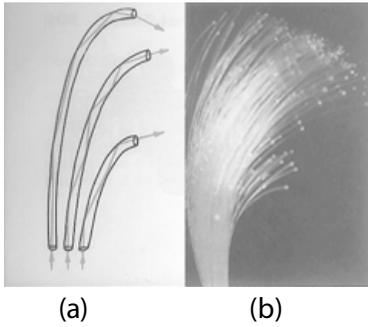


#### Tantangan untuk Anda



Sepotong plastik transparan terapung dipermukaan air. Agar sinar datang seperti pada gambar di atas dipantulkan sempurna oleh permukaan batas plastik-air. Jika indeks bias plastik  $n_k$  dan indeks bias air  $n_a$ , berapa besar sudut  $\theta$ ?

Prinsip pemantulan sempurna dimanfaatkan dalam teknologi komunikasi, yakni pada serat optik (*fiber optic*), seperti pada **Gambar 6.24**. Serat optik adalah suatu serat halus terbuat dari plastik atau kaca yang digunakan untuk menyalurkan cahaya atau gelombang elektromagnetik. Serat optik terdiri atas bagian inti dan bagian luar sebagai pembungkusnya. Bagian inti terbuat dari kaca yang memiliki indeks bias tinggi dan berkualitas baik.



**Gambar 6.24**  
(a) Pemantulan sempurna pada serat optik.  
(b) serat optik.

Indeks bias yang tinggi akan mengakibatkan sudut kritis kecil sehingga sinar datang dengan sudut datang yang tidak terlalu besar akan mengalami pemantulan sempurna.

Bagian luar yang merupakan pembungkus, terbuat dari plastik atau material lain yang berfungsi melindungi bagian inti. Oleh karena cahaya atau gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam serat optik mengalami pemantulan sempurna, pada saat keluar dari serat optik, energi cahaya tidak banyak yang hilang. Berdasarkan hal itu jika yang dikirim adalah sinyal-sinyal komunikasi dalam bentuk gelombang cahaya, pada saat diterima di tempat tujuan sinyal tersebut sampai secara utuh tanpa banyak kehilangan energi. Berdasarkan pada proses terjadinya pemantulan sempurna, dapat ditentukan pula besarnya sudut kritis untuk dua medium tertentu sebagai berikut.

Pada saat terjadi pemantulan sempurna, berlaku persamaan berikut.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \text{ dengan } n_1 < n_2 \text{ dan } r = 90^\circ \text{ sehingga}$$

$$\frac{\sin i_k}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \text{ atau } \sin i_k = \frac{n_2}{n_1} \quad (6-13)$$

Keterangan:

$i_k$  = sudut kritis

### Contoh 6.8

Hitung sudut kritis berlian yang memiliki indeks bias mutlak 2,417 pada saat diletakkan di udara.

**Jawab:**

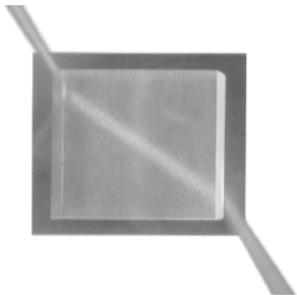
Diketahui

$$n_2 = 1; n_1 = 2,417$$

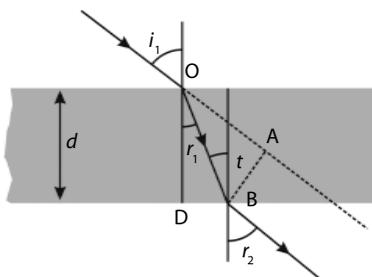
$$\sin i_k = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2,417} = 0,414$$

$$i_k = 24,4^\circ$$

Jadi, sudut kritis berlian adalah  $24,4^\circ$ .



**Gambar 6.25**  
Seberkas cahaya memasuki kaca plan paralel



**Gambar 6.26**  
Pergeseran arah sinar pada kaca plan paralel

## 5 Pembiasan pada Kaca Plan Paralel

Kaca plan paralel adalah sekeping kaca yang kedua sisi panjangnya dibuat sejajar. Kaca plan paralel dapat digunakan untuk mengamati jalannya sinar yang mengalami pembiasan dan untuk menentukan indeks bias kaca tersebut.

Sinar datang dari udara melewati kaca setebal  $d$  cm, kemudian menuju medium udara kembali. Pada proses tersebut, seperti tampak pada **Gambar 6.25** dan **Gambar 6.26**, sinar mengalami pergeseran dari arah sinar semula. Besarnya pergeseran sinar tersebut dapat dihitung sebagai berikut.

Perhatikan  $\triangle AOB$ .

$$\sin(i_1 - r_1) = \frac{AB}{OB} = \frac{t}{OB}$$

$$OB = \frac{t}{\sin(i_1 - r_1)} \quad (6-14)$$

Berdasarkan  $\triangle OBD$ , diperoleh

$$\cos r_1 = \frac{OD}{OB} = \frac{d}{OB}$$

$$OB = \frac{d}{\cos r_1} \quad (6-15)$$

Berdasarkan **Persamaan (6-14)** dan **Persamaan (6-15)**, diperoleh

$$\frac{d}{\cos r_1} = \frac{t}{\sin(i_1 - r_1)} \text{ sehingga besar pergeseran sinar}$$

$$t = \frac{d \sin(i_1 - r_1)}{\cos r_1} \quad (6-16)$$

Keterangan:

$i_1$  = sudut datang;  $d$  = tebal kaca plan paralel  
 $r_1$  = sudut bias;  $t$  = besar pergeseran sinar

### Contoh 6.9

Seberkas sinar laser jatuh pada permukaan kaca plan paralel dapat membentuk sudut datang sebesar  $45^\circ$ . Jika tebal kaca plan paralel 15 cm dan sudut bias  $20^\circ$ , tentukan besar pergeseran yang dialami oleh sinar laser tersebut.

**Jawab:**

Diketahui:

$$i_1 = 45^\circ; r_1 = 20^\circ; d = 15 \text{ cm}$$

$$t = \frac{d \sin(i_1 - r_1)}{\cos r_1} = \frac{(15) \sin(45^\circ - 20^\circ)}{\cos 20^\circ} = \frac{(15)(0,42)}{0,94} = 6,7$$

Jadi, ketika melewati kaca plan paralel, sinar laser mengalami pergeseran 6,7 cm dari arah semula.

## 6. Pembiasan pada Prisma

Prisma merupakan benda yang terbuat dari gelas tembus cahaya (transparan) yang kedua sisinya dibatasi bidang permukaan yang membentuk sudut tertentu satu sama lain. Sudut tersebut dinamakan sudut pembias (simbol:  $\beta$ ). Bidang permukaan prisma berfungsi sebagai bidang pembias. Perhatikan jalannya sinar yang melewati sebuah prisma pada **Gambar 6.28**.

Cahaya datang dari udara menuju bidang permukaan prisma akan dibiaskan mendekati garis normal. Kemudian, ketika cahaya meninggalkan prisma menuju udara, cahaya tersebut akan dibiaskan menjauhi garis normal.

Setelah melewati prisma, cahaya mengalami deviasi. Besarnya sudut deviasi yang dialami cahaya adalah sebagai berikut. Perhatikan **Gambar 6.29**.

Perhatikan  $\triangle QRS$ .

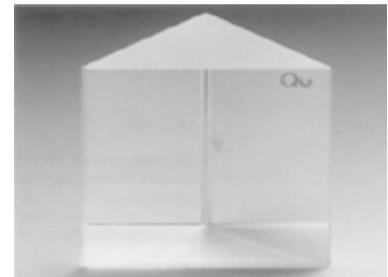
$$\angle SRQ = r_2 - i_2 \text{ dan } \angle SQR = i_1 - r_1$$

$$\angle QSR = 180^\circ - \angle SQR - \angle SRQ$$

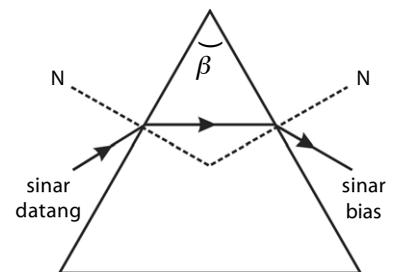
Perhatikan  $\triangle BQR$ .

$$\angle BQR = 90^\circ - r_1$$

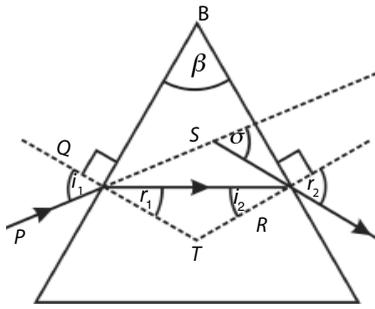
$$\angle BRQ = 90^\circ - r_2$$



**Gambar 6.27**  
Prisma segitiga



**Gambar 6.28**  
Jalannya sinar pada prisma



**Gambar 6.29**  
Penurunan rumus sudut deviasi prisma

$$\angle QBR = 180^\circ - \angle BQR - \angle BRQ$$

$$\angle QBR = \beta = 180^\circ - (90^\circ - r_1) - (90^\circ - i_2)$$

$$\beta = r_1 + i_2$$

(6-17)

Sudut deviasinya:

$$\sigma = 180^\circ - \angle QSR = 180^\circ - (180^\circ - \angle SQR - \angle SRQ)$$

$$= \angle SQR + \angle SRQ$$

$$= i_1 - r_1 + r_2 + i_2$$

$$= (i_1 + r_2) - (r_1 + i_2)$$

$$\sigma = i_1 + r_2 - \beta$$

(6-18)

Keterangan:

$\beta$  = sudut pembias prisma;  $r_1$  = sudut bias dari sinar masuk  
 $i_1$  = sudut datang sinar masuk;  $r_2$  = sudut bias dari sinar keluar  
 $i_2$  = sudut datang sinar keluar;  $\sigma$  = sudut deviasi

### Contoh 6.10

Sebuah prisma terbuat dari kaca ( $n = 1,5$ ) memiliki sudut pembias  $60^\circ$ . Jika seberkas sinar laser jatuh pada salah satu permukaannya dengan sudut datang  $30^\circ$ , berapakah sudut deviasi yang dialami oleh sinar laser tersebut setelah melewati prisma?

**Jawab:**

Diketahui:

$$i_1 = 30^\circ; \quad n_2 = 1,5 \text{ (medium kaca)}$$

$$n_1 = 1 \text{ (medium udara); } \quad \beta = 60^\circ$$

Sudut deviasi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = i_1 + r_2 - \beta$$

Oleh karena  $i_1$  dan  $\beta$  telah diketahui, nilai  $r_2$  (sudut bias kedua) perlu dicari terlebih dahulu. Pada permukaan pembias pertama berlaku persamaan Snellius berikut.

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (dengan } n_1 = n_{\text{udara}} \text{ dan } n_2 = n_{\text{kaca}})$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin r_1} = \frac{1,5}{1} = 1,5 \rightarrow \sin r_1 = \frac{0,5}{1,5} \rightarrow r_1 = 19,47^\circ$$

Nilai  $i_2$  ditentukan sebagai berikut.

$$\beta = i_2 + r_1 = \beta - r_1$$

$$i_2 = 60^\circ + 19,47^\circ = 40,53^\circ$$

Kemudian, nilai  $r_2$  ditentukan sebagai berikut.

$$\sin r_2 = \frac{n_1}{n_2} (\sin i_2) \rightarrow r_2 = \sin^{-1} r_2 = \sin^{-1} \left( \frac{1,5}{1} (\sin 40,53^\circ) \right)$$

$$\sin r_2 = 0,97 \rightarrow r_2 = \sin^{-1}(0,97) \rightarrow r_2 = 77,10^\circ$$

Jadi, sudut deviasi yang dialami cahaya ketika melewati prisma kaca tersebut sebesar

$$\delta = i_1 + r_2 - \beta = 30^\circ + 77,10^\circ - 60^\circ = 47,10^\circ.$$

## 7. Deviasi Minimum

Setiap sinar yang datang pada prisma akan mengalami deviasi yang menghasilkan sudut deviasi tertentu. Salah satu sinar datang tertentu pasti akan menghasilkan nilai sudut deviasi minimum. Kapan kondisi khusus

ini terjadi? Berdasarkan hasil pembuktian, *deviasi minimum* dapat terjadi pada saat sudut datang pertama sama dengan sudut bias kedua ( $i_1 = r_2$ ). Besarnya sudut deviasi minimum sebuah prisma dapat dicari sebagai berikut. Oleh karena  $i_1 = r_2$  maka  $i_1 = r_1$  sehingga

$$\beta = r_1 + i_2 = r_1 + r_1 = 2r_1$$

$$r_1 = \frac{\beta}{2} \quad (6-19)$$

Nilai  $r_2 = i_1$  dimasukkan ke dalam **Persamaan (6-19)** sehingga deviasi prisma menjadi:

$$\delta_m = i_1 + r_2 - \beta = i_1 + i_1 - \beta$$

$$\delta_m = 2i_1 - \beta$$

$$i_1 = \frac{\delta_m + \beta}{2} \quad (6-20)$$

Berdasarkan Hukum Snellius:

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1,2} \quad (6-21)$$

**Persamaan (6-19)** dan **Persamaan (6-20)** disubstitusikan ke dalam **Persamaan (6-21)** sehingga diperoleh:

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = n_{1,2} \rightarrow \frac{\sin\left(\frac{\delta_m + \beta}{2}\right)}{\sin\frac{\beta}{2}}$$

Jika  $\beta$  kecil,  $\sin\frac{\beta}{2} = \frac{\beta}{2}$  sehingga

$$\frac{\delta_m + \beta}{2} = n_{1,2} \frac{\beta}{2}$$

$$\delta_m + \beta = n_{1,2} \beta$$

$$\delta_m = n_{1,2} \beta - \beta$$

$$\delta_m = (n_{1,2} - 1)\beta \quad (6-22)$$

Keterangan:

$\delta_m$  = sudut deviasi minimum

$n_{1,2}$  = sudut bias relatif medium 2 terhadap medium 1

$\beta$  = sudut deviasi prisma

### Contoh 6.11

Sebuah prisma yang terbuat dari kaca ( $n = 1,5$ ) yang memiliki sudut pembias  $60^\circ$  diletakkan dalam medium air. Jika seberkas sinar datang dari air ( $n = 1,33$ ) memasuki prisma, berapakah sudut deviasi minimum prisma tersebut?

**Jawab:**

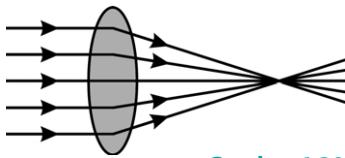
Diketahui:

$\beta = 60^\circ$ ;  $n_1 = 1,33$  (medium air);  $n_2 = 1,5$  (medium kaca)

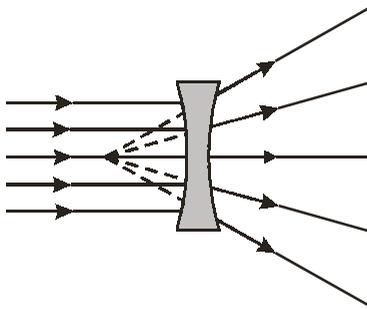
Penentuan sudut deviasi minimum menggunakan persamaan:

$$\delta_m = (n_{1,2} - 1)\beta = \left(\frac{1,5}{1,33} - 1\right)60^\circ$$

$$\delta_m = (1,13 - 1)60^\circ = 7,8^\circ$$



**Gambar 6.30**  
Lensa cembung bersifat konvergen (mengumpulkan cahaya)



**Gambar 6.31**  
Lensa cekung bersifat divergen (menyebarkan cahaya)

Keterangan:

$O$  = pusat optik

$OF_1$  = jarak fokus dari pusat optik

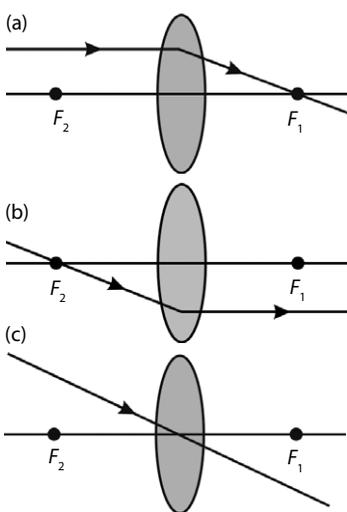
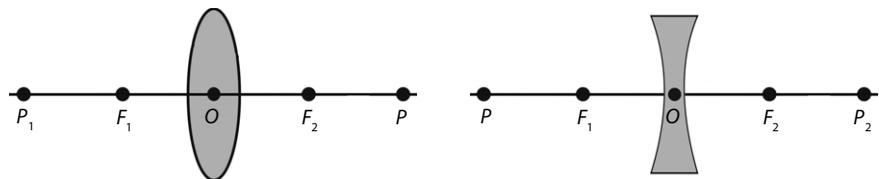
$OP_1$  = jari-jari kelengkungan lensa

$F_1$  dan  $F_2$  = titik fokus

$P_1$  dan  $P_2$  = pusat kelengkungan lensa

**Gambar 6.32**

Bagian-bagian lensa cembung dan lensa cekung



**Gambar 6.33**

Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung

## 8. Lensa

Lensa telah dikenal orang sejak dahulu. Pada abad pertengahan, orang-orang Yunani dan Arab, sudah mengenal dan menggunakan lensa.

Saat ini, lensa juga banyak digunakan sebagai bagian utama alat-alat seperti kamera, teropong, mikroskop, proyektor, dan kacamata. Semua alat tersebut sangat penting dan berguna dalam kehidupan. Oleh karena itu, memahami sifat-sifat pembiasan pada lensa sangat penting.

Lensa adalah benda bening yang dibatasi oleh dua permukaan lengkung. Permukaan melengkung tersebut merupakan bagian permukaan bola. Lensa yang demikian disebut lensa sferis. Permukaan lensa sferis dapat berupa keduanya cembung; keduanya cekung, atau gabungan cembung dan cekung.

Lensa sferis terdiri atas dua jenis, yaitu lensa cembung dan lensa cekung. Lensa cembung (konveks) atau lensa konvergen adalah lensa yang bagian tengahnya lebih tebal daripada bagian tepinya. Lensa ini bersifat mengumpulkan berkas sinar (**Gambar 6.30**). Adapun lensa cekung (konkaf) atau lensa divergen adalah lensa yang bagian tengahnya lebih tipis daripada bagian tepinya. Lensa ini bersifat menyebarkan berkas sinar (**Gambar 6.31**).

Sebelum lebih jauh memahami fenomena-fenomena yang terjadi pada lensa, Anda harus mengetahui bagian-bagian lensa dengan baik. Pada lensa terdapat pusat optik, titik fokus, dan pusat kelengkungan lensa. **Gambar 6.32** memperlihatkan skema sebuah lensa dan bagian-bagiannya.

### a. Pembiasan Cahaya pada Lensa Cembung

Cahaya yang jatuh pada permukaan lensa cembung akan mengalami pembiasan. Berkas-berkas sinar datang akan dibiaskan sehingga berkas-berkas sinar biasanya mengumpul. Perhatikan **Gambar 6.33**.

Bagian lensa yang tebal akan menghambat cahaya lebih banyak daripada bagian lensa yang tipis. Oleh karena cepat rambat cahaya di dalam lensa lebih kecil daripada di udara, berkas-berkas sinar bias akan mengumpul. Itulah sebabnya lensa cembung bersifat konvergen.

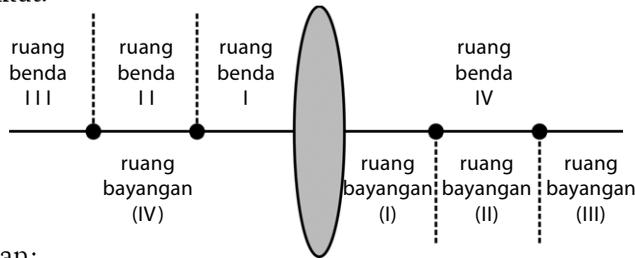
#### 1) Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung

Bayangan benda oleh lensa cembung dapat dibentuk dengan cara menggambarkan sinar-sinar istimewanya. Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung ada tiga buah, yaitu sebagai berikut.

- Sinar yang datang sejajar sumbu utama dibiaskan melalui titik fokus aktif  $F_1$  lensa.
- Sinar yang datang yang melalui titik fokus pasif  $F_2$  dibiaskan sejajar sumbu utama.
- Sinar yang datang melalui pusat optik tidak mengalami pembiasan.

## 2) Langkah pembentukan bayangan pada lensa cembung

Untuk mempermudah pembentukan bayangan, ruang di depan dan di belakang lensa dibagi menjadi beberapa ruangan seperti pada **Gambar 6.34** berikut.



Keterangan:

I, II, III, dan IV adalah nomor ruang benda (I), (II), (III), dan (IV) adalah nomor ruang bayangan.

Setiap lensa memiliki dua buah titik fokus di sebelah kiri dan kanannya. Jarak kedua fokus tersebut sama. Perhatikan **Gambar 6.35**, untuk menggambarkan bayangan benda yang dihasilkan oleh lensa cembung dilakukan cara sebagai berikut.

- Dilukis dua buah sinar istimewa pada lensa cembung.
- Sinar selalu datang dari permukaan lensa dan dibiaskan ke belakang lensa.
- Perpotongan antara dua sinar bias merupakan letak bayangan. Jika perpotongan didapat dari perpanjangan sinar bias, bayangan bersifat maya dan dilukiskan dengan garis putus-putus.

### b. Pembiasan Cahaya pada Lensa Cekung

Berbeda dengan lensa cembung, lensa cekung bersifat menyebarkan berkas sinar. Berkas sinar yang jatuh pada permukaan lensa cekung akan dibiaskan secara menyebar.

#### 1) Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung

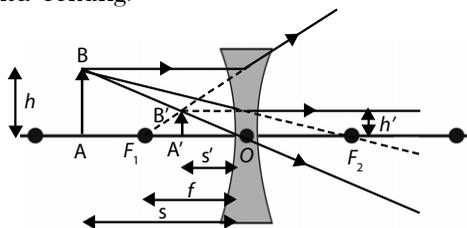
Pada lensa cekung juga terdapat sinar-sinar istimewa yang berguna bagi pembentukan bayangan. Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung adalah sebagai berikut (**Gambar 6.36**).

- Sinar yang datang sejajar sumbu utama dibiaskan seakan-akan berasal dari titik fokus  $F_1$ .
- Sinar yang datang menuju titik fokus  $F_2$  dibiaskan sejajar sumbu utama.
- Sinar yang datang melalui pusat optik diteruskan (tidak mengalami pembiasan).

#### 2) Langkah pembentukan bayangan pada lensa cekung

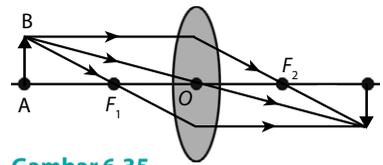
Perhatikan **Gambar 6.37**. Untuk menggambarkan bayangan benda yang dihasilkan oleh lensa cekung, dilakukan cara sebagai berikut.

- Dilukis dua buah sinar istimewa lensa cekung.
- Sinar selalu datang dari permukaan lensa dan dibiaskan ke belakang lensa.
- Benda yang diletakkan di depan lensa cekung selalu menghasilkan bayangan yang memiliki sifat maya, tegak, diperkecil, dan terletak di depan lensa cekung.



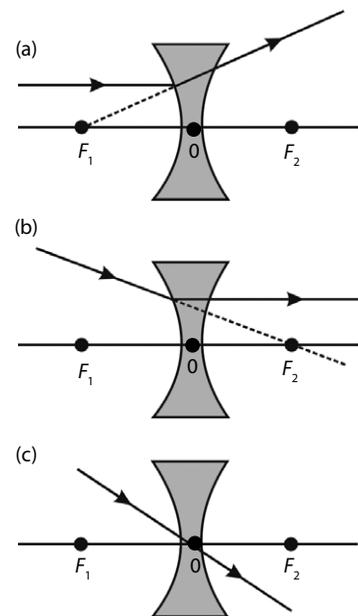
**Gambar 6.34**

Penamaan ruang pada lensa cembung



**Gambar 6.35**

Pembentukan bayangan oleh lensa cembung

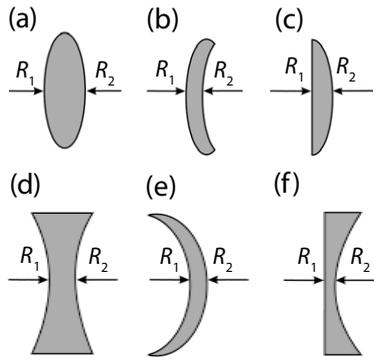


**Gambar 6.36**

Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung

**Gambar 6.37**

Pembentukan bayangan oleh lensa cekung



**Gambar 6.38**

Lensa tipis

- (a) bikonveks,  $R_1 > 0; R_2 < 0$
- (b) konveks konkaf,  $R_1 > 0; R_2 > 0$
- (c) plan konveks,  $R_1 = \infty; R_2 < 0$
- (d) bikonkaf,  $R_1 < 0; R_2 > 0$
- (e) konkaf konveks,  $R_1 < 0; R_2 < 0$
- (f) plan konkaf,  $R_1 = \infty; R_2 > 0$



Konvensi tanda untuk pembentukan bayangan oleh lensa:

- $s$  bernilai + (Objek nyata) untuk benda-benda di depan permukaan (sisi datang); bernilai - (Objek maya) untuk benda-benda di belakang permukaan (sisi transmisi);
- $s'$  bernilai + (Bayangan nyata) untuk bayangan-bayangan di depan permukaan (sisi transmisi); bernilai - (Bayangan maya) untuk bayangan-bayangan di belakang permukaan (sisi datang);
- $r, f$  bernilai + jika pusat kelengkungan berada pada sisi transmisi; bernilai - jika pusat kelengkungan berada pada sisi datang.

### 3) Lensa tipis

Lensa tipis adalah lensa yang memiliki ketebalan jauh lebih kecil dibandingkan dengan diameter kelengkungannya. Lensa tipis dapat dilambangkan dengan sebuah garis. Pada Gambar 6.38 ditunjukkan beberapa jenis lensa tipis.

Dalam lensa tipis berlaku persamaan berikut.

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

(6-23)

### Contoh 6.12

Sebuah lensa tipis memiliki indeks bias 1,5 dibatasi oleh 2 permukaan cembung dan cekung (tipe (a)) diletakkan di udara. Jari-jari lengkung kedua permukaan berturut-turut 20 cm dan 30 cm. Hitung jarak fokus lensa tipis tersebut.

**Jawab:**

Diketahui:

$$n_1 = 1; \quad n_2 = 1,5; \quad R_1 = +20 \text{ (permukaan cembung)}$$

$$R_2 = -30 \text{ (permukaan cekung)}$$

Untuk menghitung jarak fokus lensa tipis dapat digunakan persamaan berikut.

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \left( \frac{1,5}{1} - 1 \right) \left( \frac{1}{+20} + \frac{1}{-30} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{60} \right) \rightarrow f = 120 \text{ cm.}$$

Jadi, jarak fokus lensa 120 cm.

### c. Perbesaran Bayangan Lensa

Pengertian perbesaran bayangan pada lensa sama dengan pengertian perbesaran bayangan pada cermin lengkung. Perbesaran bayangan didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi bayangan dan tinggi benda atau jarak bayangan terhadap lensa dan jarak benda ke lensa. Secara matematis dapat ditulis:

$$M = \frac{h'}{h} \text{ atau } M = \frac{-s'}{s} \quad (6-24)$$

Keterangan:

$M$  = perbesaran bayangan       $s'$  = jarak bayangan ke lensa

$h'$  = tinggi bayangan       $s$  = jarak benda ke lensa

$h$  = tinggi benda

Jika  $M = +$  (positif), berarti bayangan bersifat maya dan tegak

Jika  $M = -$  (negatif), berarti bayangan bersifat nyata dan terbalik

### Tugas Anda 6.1

Perhatikan kembali gambar pembentukan pada lensa cembung dan lensa cekung. Temukan oleh Anda sehingga diperoleh Persamaan (6-24).

### Contoh 6.13

Sebuah benda berdiri tegak 30 cm di depan lensa tipis konvergen yang jarak fokusnya 15 cm. Tentukan:

- a. letak bayangan,
- b. perbesaran bayangan,
- c. sifat bayangan.

**Jawab:**

Diketahui:

$s = +30$  cm (di depan lensa)

$f = +15$  cm (lensa konvergen atau cembung)

a. Letak bayangan

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \rightarrow \frac{1}{+15} = \frac{1}{+30} + \frac{1}{s'}$$
$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{+15} - \frac{1}{+30} = \frac{2-1}{+30} = \frac{1}{30}$$
$$s' = +30$$

Jadi, bayangan benda berada 30 cm di belakang lensa.

b. Perbesaran

$$M = \frac{-s'}{s} = \frac{-30 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = -1$$

(tanda negatif menunjukkan bayangan nyata dan terbalik)

Jadi, perbesaran bayangannya = 1.

c. Sifat bayangan

- nyata dan terbalik, berdasarkan nilai  $M = -$  (negatif)
- sama besar dengan bendanya berdasarkan nilai  $M = 1$

#### d. Kekuatan Lensa

Jarak fokus sebuah lensa sangat penting artinya karena dapat menyatakan ukuran kekuatan lensa. Kekuatan sebuah lensa sangat bergantung pada nilai jarak fokus lensa tersebut. Kekuatan lensa (simbol  $P$ ) didefinisikan sebagai kemampuan mengumpulkan atau memancarkan berkas cahaya. Besarnya kekuatan lensa berbanding terbalik dengan jarak fokusnya. Jika jarak fokusnya besar, kekuatan lensa kecil. Sebaliknya, jika jarak fokus lensa kecil, kekuatan lensa besar. Secara matematis, pernyataan tersebut ditulis:

$$P = \frac{1}{f} \quad (6-25)$$

Keterangan:

$P$  = kekuatan lensa (dioptri)

$f$  = jarak fokus (meter)

Satuan  $P$  dalam dioptri jika jarak fokus lensa dinyatakan dalam meter.

Untuk lensa cembung, nilai  $P$  selalu bernilai positif (+) karena nilai  $f$  positif (+). Sebaliknya, untuk lensa cekung, nilai  $P$  negatif (-) karena nilai jarak fokus lensa cekung negatif (-).

#### Contoh 6.14

Sebuah lensa konvergen memiliki jarak fokus 15 cm. Berapakah kekuatan lensa tersebut?

**Jawab:**

Diketahui :

$f = +15$  cm (lensa konvergen atau cembung)

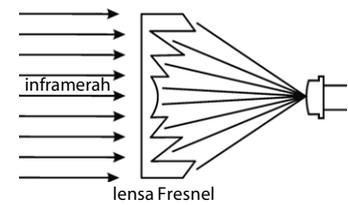
Berdasarkan persamaan:

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,15 \text{ meter}} = 6,67 \text{ dioptri}$$

Jadi, kekuatan lensa 6,67 dioptri.



### Informasi untuk Anda



Sebuah lensa Fresnel adalah lensa plan-konveks yang tebal dibentuk berlipat-lipat agar diperoleh lensa datar yang memiliki sifat optiknya, namun lebih tipis sehingga memiliki kehilangan penyerapan yang lebih sedikit. Lensa Fresnel biasanya tipis dan lentur, ukurannya sekitar 0,015 inch (0,38 mm) dengan alur lekukan pada satu permukaan.

Salah satu penerapan lensa Fresnel adalah untuk alat pemfokusan sensor inframerah. Lensa Fresnel dapat memperpanjang rentang pendeteksian mencapai 100 kaki.

#### Information for You

*A Fresnel lens is a plano convex lens that has been collapsed on it self to form a flat lens that retains its optical characteristics but is much thinner and therefore has less absorption loss. A Fresnel lens is usually thin and flexible and is about 0,015 inch (0,38 mm) thick with grooves molded on one surface.*

*One of an application of Fresnel lens is to focusing devices for infrared sensors. A Fresnel lens can extend detection range to about 100 feet.*

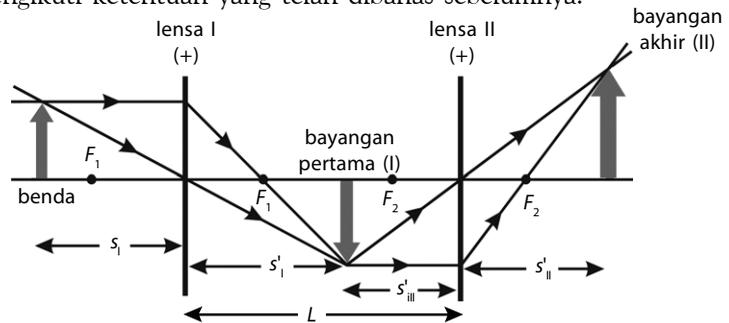
Sumber: [www.gloolab.com](http://www.gloolab.com)

## Kata Kunci

- pembiasan (refraksi)
- indeks bias
- sudut datang
- sudut bias
- sudut kritis
- kaca plan paralel
- prisma
- deviasi minimum
- lensa sferis

## e. Susunan Dua Lensa

Alat-alat optik seperti mikroskop dan teropong menggunakan dua buah lensa atau lebih. Bayangan akhir yang terbentuk merupakan hasil dari proses pembiasan oleh kedua lensa tersebut. Mula-mula, cahaya dari benda (cahaya pantulan) dibiaskan oleh lensa pertama sehingga terbentuk bayangan I. Bayangan I ini kemudian seolah-olah merupakan benda bagi lensa kedua. Bayangan II atau bayangan terakhir terbentuk oleh lensa kedua. Cara menentukan bayangan baik dengan cara gambar maupun cara perhitungan tetap mengikuti ketentuan yang telah dibahas sebelumnya.



**Gambar 6.39**  
Pembentukan bayangan oleh dua buah lensa cembung

Berdasarkan **Gambar 6.39** tersebut dan karena antarkedua lensa memiliki jarak tertentu (simbol  $L$ ) maka terdapat hubungan sebagai berikut.

$$L = s'_I + s_{II} \quad (6-26)$$

Keterangan:

$L$  = jarak antarlensa

$s'_I$  = jarak bayangan lensa I

$s_{II}$  = jarak benda lensa II

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Togar sedang melakukan eksperimen untuk menentukan kecepatan cahaya di dalam bahan kaca tebal. Ia melepaskan seberkas cahaya pada permukaan kaca tebal dengan sudut  $30^\circ$ . Ternyata, berbelok di dalam kaca dengan besar pembelokan terhadap garis normal  $20^\circ$ . Jika kecepatan cahaya di udara  $3 \times 10^8$  m/s, berapakah cepat rambat cahaya di dalam kaca tebal tersebut?
2. Jika indeks bias mutlak air =  $\frac{4}{3}$  dan indeks bias mutlak alkohol = 1,36; tentukan:
  - a. indeks bias air relatif terhadap al-kohol;
  - b. indeks bias alkohol relatif terhadap air.
3. Adakah hubungan antara nilai indeks bias dan kerapatan massa suatu benda.
4. Sebuah benda berdiri tegak di depan lensa cekung yang memiliki jarak fokus 10 cm. Lukislah bayangan benda yang dibentuk oleh cermin cekung tersebut jika:
  - a. benda terletak 8 cm di depan lensa cekung;
  - b. benda terletak 12 cm di depan lensa cekung;
  - c. benda terletak 10 cm di depan lensa cekung.
5. Dua buah lensa cembung disusun sedemikian rupa sehingga sumbu utama berimpit. Lensa pertama memiliki jarak fokus 25 cm dan jarak fokus lensa kedua 30 cm. Sebuah benda yang tingginya 4 cm berdiri tegak di depan lensa pertama pada jarak 40 cm. Tentukan:
  - a. gambar pembentukan bayangan akhir;
  - b. letak bayangan akhir;
  - c. tinggi bayangan akhir dan sifat bayangan akhir;
  - d. perbesaran total.

## D. Alat-Alat Optik

Pengetahuan manusia mengenai optik telah melahirkan ide-ide dibuatnya alat-alat optik. Alat-alat optik disebut juga sebagai peralatan yang memanfaatkan sifat-sifat bahan ketika dikenai cahaya. Bahan-bahan ini menjadi istimewa karena bentuknya.

## 1. Mata

Pernahkan Anda membayangkan bagaimana jika manusia tidak dilengkapi dengan mata? Apa yang Anda rasakan ketika Anda memejamkan mata untuk beberapa saat? Keindahan dan hiruk-pikuk kehidupan rasanya tidak begitu berarti andaikata Tuhan Yang Mahakuasa tidak mengaruniakan mata kepada Anda. Bagaimana prinsip kerja mata ketika melihat sebuah objek?

Perhatikanlah bagan mata pada **Gambar 6.40**. Pada waktu mata melihat objek, lensa mata atau lensa kristalin membentuk bayangan benda pada retina yang berada di bagian belakang mata. Retina ini dihubungkan oleh saraf-saraf penglihatan ke otak sehingga timbul kesan melihat benda atau objek. Lensa mata merupakan lensa yang tebal tipisnya dapat berubah sesuai dengan letak benda yang sedang menjadi objek penglihatan. Perubahan tebal-tipisnya lensa mata ini mengubah jarak fokus lensa mata. Dengan cara ini letak bayangan benda yang sedang menjadi perhatian akan selalu jatuh tepat di retina sehingga bayangan nyata dari benda dapat diterima dengan jelas jika bayangan tersebut tepat jatuh di retina.

Jarak retina dengan lensa adalah tetap. Sementara itu, setiap benda yang menjadi perhatian memiliki jarak yang tidak sama terhadap lensa mata. Ada benda yang dekat, sedang, dan jauh bahkan jauh sekali. Benda-benda tersebut dapat terlihat jika bayangan bendanya tepat jatuh di retina. Oleh karena itu, satu-satunya cara yang mungkin adalah dengan perubahan jarak fokus lensa mata. Jadi, perubahan lensa mata sesungguhnya untuk mendapatkan bayangan nyata di retina.

### a. Daya Akomodasi

Kemampuan lensa mata untuk mengubah jarak fokusnya disebut *daya akomodasi*. Pada saat mata melihat benda yang dekat, otot-otot siliar menegang sehingga lensa mata lebih cembung. Sebaliknya, pada saat melihat benda yang jauh otot-otot siliar mengendur (rileks) sehingga lensa mata lebih pipih.

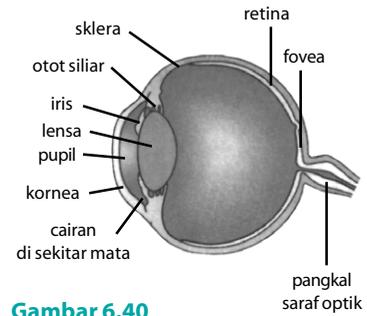
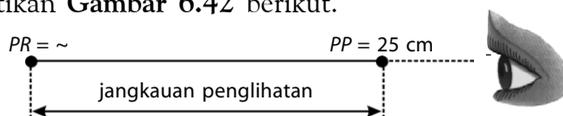
Pada keadaan normal, otot-otot siliar berada dalam keadaan rileks, namun sendi pengikat dalam keadaan tegang. Pada keadaan ini, bentuk lensa mata agak datar. Pada keadaan ini, mata dalam keadaan tidak berakomodasi.

Jika benda yang jauh tak hingga didekatkan, otot-otot siliar akan menjadi tegang. Otot siliar akan bertambah tegang jika benda semakin dekat. Pada keadaan ini, mata dalam keadaan sedang berakomodasi. Jika mata terus berakomodasi, mata terasa lelah karena otot siliar terus menegang.

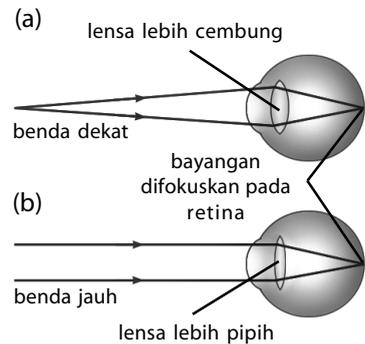
### b. Titik Dekat dan Titik Jauh

Benda hanya dapat terlihat dengan jelas jika terletak di daerah penglihatan mata. Daerah penglihatan mata ini berada di antara titik dekat mata atau *punctum proximum* (*PP*) dan titik jauh atau *punctum remotum* (*PR*). Jika benda berada di luar daerah penglihatan tersebut, mata tidak akan melihat benda tersebut dengan jelas.

Titik dekat adalah titik terdekat yang dapat dilihat mata secara jelas dengan mata berakomodasi maksimum, sedangkan titik jauh adalah titik terjauh yang dapat dilihat mata secara jelas dengan mata tidak berakomodasi. Pada mata normal, titik terjauh adalah di titik tak hingga ( $s = \infty$ ). Perhatikan **Gambar 6.42** berikut.



**Gambar 6.40**  
Bagian-bagian mata



**Gambar 6.41**  
Gambaran daya akomodasi mata

**Gambar 6.42**  
Daerah penglihatan

### Contoh 6.15

Jika lensa mata dianggap sferis bola dengan jarak permukaan depan lensa dengan retina 3 cm, hitunglah:

- kuat lensa mata normal ketika mata melihat benda yang jauh sekali (mata tidak berakomodasi) dan ketika melihat benda pada jarak 25 cm (mata berakomodasi maksimum),
- perubahan kekuatan lensa mata dari tidak berakomodasi sampai berakomodasi maksimum.

**Jawab:**

Diketahui:

$$s' = 3 \text{ cm}; \quad s = \infty$$

- Pada saat mata tidak berakomodasi ( $s = \infty$ )

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{f} = 0 + \frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{3}$$

$$f = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m} \rightarrow P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,03} = 33,3 \text{ dioptri}$$

Pada saat mata berakomodasi ( $s = 25 \text{ cm}$ )

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{3} = \frac{3+25}{75} \rightarrow f = 2,7 \text{ cm} = 0,027 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,027} = 37,03 \text{ dioptri}$$

Jadi, kuat mata normal pada saat tidak berakomodasi adalah 33,3 dioptri dan pada saat mata berakomodasi adalah 37,03 dioptri.

- Perubahan kekuatan lensa

$$\Delta P = 33,3 - 37,03 = -4 \text{ dioptri}$$

Jadi, perubahan kekuatan lensa  $-0,9$  dioptri.

### c. Cacat Mata dan Penanggulangannya

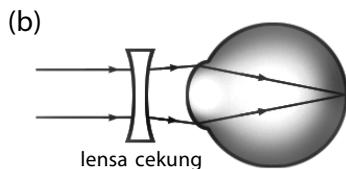
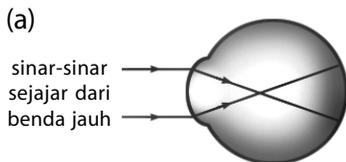
Pada kenyataannya, mata manusia tidak semuanya normal. Ketidaknormalan mata manusia sering disebut cacat mata atau aberasi. Pada umumnya, masalah cacat mata terjadi karena bayangan benda tidak tepat jatuh di retina. Ada yang mengalami cacat mata karena bayangan benda jatuh di depan retina dan ada pula yang jatuh di belakang retina. Cacat mata dapat ditanggulangi dengan menggunakan kacamata, lensa kontak, atau operasi mata.

Mata normal atau emetropi adalah mata yang memiliki kemampuan melihat benda pada daerah penglihatan normal, yaitu antara titik dekat 25 cm dan titik jauh tak hingga. Berikut ini beberapa jenis cacat mata yang sering dialami oleh manusia.

#### 1) Miopi (Rabun Jauh)

Mata yang mengalami cacat miopi, yaitu mata yang memiliki titik dekat sama dengan 25 cm ( $PP = 25 \text{ cm}$ ) dan memiliki titik jauh tertentu  $PR < \infty$ . Penderita cacat mata ini tidak dapat melihat benda yang jauh sebab lensa mata miopi memencembung dan tidak dapat menjadi pipih sebagaimana mata normal. Akibatnya, bayangan benda jauh selalu jatuh di depan retina.

Untuk menanggulangi cacat mata miopi harus diupayakan agar bayangan tepat jatuh di retina. Berarti, sebelum sinar datang jatuh pada lensa mata terlebih dahulu sinar datang ini harus disebarakan. Oleh karena itu, harus dibantu oleh lensa cekung (lensa divergen) yang kekuatannya sedemikian rupa sehingga mampu membentuk bayangan benda tepat jatuh



**Gambar 6.43**

- Pada cacat mata miopi, bayangan benda selalu jatuh di depan retina.
- Cacat mata miopi diatasi dengan menggunakan lensa cekung.

di retina. Agar dapat melihat benda-benda jauh ( $s = \infty$ ), penderita rabun jauh harus menggunakan lensaacamata yang menghasilkan bayangan maya di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik jauhnya ( $s' = PR$ ). Jadi, untuk penderita rabun jauh atau miopi berlaku:

$$s = \infty \text{ dan } s' = -PR \quad (6-27)$$

### Contoh 6.16

Seseorang yang menderita miopi memiliki titik jauh 400 cm. Agar ia dapat melihat benda-benda yang jauh, berapakah jarak fokus dan kuat lensa yang harus digunakan penderita miopi tersebut?

**Jawab:**

Diketahui:

$$s' = -400 \text{ cm (titik jauh penderita miopi); } s = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{(-400 \text{ cm})}$$

$$f = -400 \text{ cm} = -4 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-4 \text{ cm}} = -0,25 \text{ atau } -\frac{1}{4} \text{ dioptri}$$

Jadi, jarak fokus lensa  $-4 \text{ m}$  dan kekuatannya adalah  $-\frac{1}{4}$  dioptri.

### 2) Hipermetropi (Rabun Dekat)

Mata yang mengalami cacat hipermetropi, yaitu mata yang memiliki titik dekat lebih besar daripada 25 cm dan memiliki titik jauh tak hingga. Penderita cacat mata ini tidak dapat melihat benda yang dekat, tetapi dapat melihat jelas benda-benda jauh tanpa berakomodasi. Cacat ini terjadi karena adalah mata tidak dapat menjadi cembung sebagaimana mata normal. Akibatnya, bayangan benda dekat selalu jatuh di belakang retina.

Untuk menanggulangi cacat mata hipermetropi harus diupayakan agar bayangan tepat jatuh di retina. Berarti, sebelum sinar datang jatuh pada lensa mata terlebih dahulu sinar datang ini harus mengumpul. Oleh karena itu, penderita harus dibantu dengan lensa cembung (lensa konvergen) yang kekuatan lensanya mampu membentuk bayangan benda sehingga tepat jatuh di retina. Perhatikan **Gambar 6.44**.

Agar penderita dapat melihat benda-benda dekat pada jarak tertentu, penderita rabun dekat harus menggunakan lensaacamata yang menghasilkan bayangan maya di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik dekatnya ( $s = -PP$ ). Jadi, untuk penderita hipermetropi, berlaku

$$s' = -PP \quad (6-28)$$

### Contoh 6.17

Seseorang yang menderita hipermetropi memiliki titik dekat 50 cm. Agar dapat melihat benda-benda yang dekat (seperti mata normal), berapakah jarak fokus dan kuat lensa yang harus ia gunakan?

**Jawab:**

Diketahui:

$$s' = -50 \text{ cm (titik dekat penderita hipermetropi); } s = 25$$

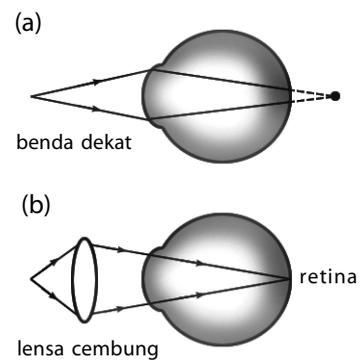
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{25} + \frac{1}{(-50)} = \frac{1}{50}$$

$$f = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$



### Ingatlah

Tanda negatif menunjukkan bahwa penderita miopi harus dibantu dengan lensa negatif atau lensa cekung (lensa divergen).

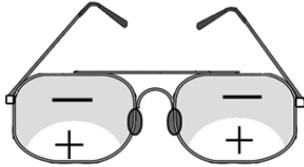


**Gambar 6.44**

(a) Pada cacat mata hipermetropi, bayangan benda selalu jatuh di belakang retina.  
(b) Cacat mata hipermetropi diatasi dengan menggunakan lensa cembung.

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,5} = +2 \text{ dioptri}$$

Jadi, jarak fokus lensa adalah 0,5 m dan kekuatan besarnya adalah + 2 dioptri.



**Gambar 6.45**

Kacamata bifokal. Lensa (-) untuk melihat jauh, lensa (+) untuk melihat dekat.



Pada **Contoh Soal 6.18**, tanda positif menunjukkan bahwa penderita hipermetropi harus dibantu dengan lensa positif atau lensa cembung (lensa konvergen).

### 3) Presbiopi (Mata Tua)

Mata tua memiliki otot siliar yang tidak lagi baik seperti pada mata normal. Akibatnya, kemampuan otot untuk berakomodasi atau mengubah jarak fokus lensa mata tidak sebaik seperti pada mata normal. Penderita cacat presbiopi memiliki titik dekat lebih besar daripada 25 cm dan titik jauh pada jarak tertentu sehingga penderita presbiopi tidak dapat melihat atau membaca pada jarak normal dan tidak dapat melihat benda jauh dengan jelas.

Cacat mata presbiopi dapat ditanggulangi menggunakan lensa rangkap (*bifokal*) seperti pada **Gambar 6.45**. Kacamata ini terdiri atas lensa cembung dan cekung. Untuk melihat benda jauh, penderita presbiopi dapat menggunakan lensa cekung. Adapun untuk melihat benda pada jarak normal, penderita presbiopi dapat menggunakan lensa cembung.

### Contoh 6.18

Seseorang kakek penderita presbiopi memiliki titik dekat 75 cm dan titik jauh 300 cm. Agar ia dapat melihat benda yang dekat (seperti mata normal) dan dapat melihat benda jauh, berapakah jarak fokus lensa bifokal dan kuat lensa kacamata yang harus digunakan kakek tersebut?

**Jawab:**

Kacamata bifokal tersusun atas dua lensa bagian atas lensa negatif (cekung) agar dapat melihat jauh dan bagian bawah lensa positif (cembung) agar dapat membaca normal.

- Untuk dapat melihat jauh,  $s = \infty$  dan  $s' = -300$  cm.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-300} = -\frac{1}{300}$$

$$f = -300 \text{ cm} = -3 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-3} = -0,33 \text{ dioptri}$$

Jadi, untuk dapat melihat benda jauh digunakan kacamata dengan jarak fokus 3 m dan kekuatan lensa -3,33 dioptri.

- Untuk dapat melihat benda dekat  $s = 25$  dan  $s' = -75$  cm.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{25} + \frac{1}{(-75)} = \frac{2}{75}$$

$$f = 37,5 \text{ cm} = 0,375 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,375} = 2,67 \text{ dioptri}$$

Jadi, untuk dapat melihat benda dekat digunakan kacamata dengan jarak fokus 0,375 m dan kekuatan lensa 2,67 dioptri.

### 4) Astigmatisma

Astigmatisma merupakan cacat mata yang diakibatkan bentuk kornea tidak bundar. Cacat mata astigmatisma dapat ditanggulangi dengan lensa silindris. Lensa ini dapat mengumpulkan atau menyebarkan sinar pada satu arah saja tanpa memengaruhi arah lain.

## 2. Lup (Kaca Pembesar)

Untuk dapat melihat benda-benda kecil agar tampak lebih besar daripada ukuran sebenarnya, digunakan lup. Lup merupakan lensa cembung

atau lensa positif. Sebagaimana Anda ketahui, lensa cembung memiliki kemampuan membentuk bayangan maya yang diperbesar jika benda terletak di antara titik fokus dan lensa. Untuk lup, benda selalu diletakkan dalam ruang I sehingga bayangan akan terletak di ruang IV. Bayangan yang terletak di ruang IV bersifat maya dan tegak sehingga jarak bayangan yang dibentuk lup selalu negatif ( $s'$  bertanda negatif).

Pada saat menggunakan lup, jarak benda diubah-ubah sedemikian rupa sehingga didapatkan bayangan yang paling jelas bagi mata normal, yaitu pada jarak baca yang biasanya 25 cm. Perhatikan **Gambar 6.46**.

Perhatikan **Gambar 6.47(a)** dan **6.47(b)**. Tanpa lup, benda terlihat dengan sudut sebesar  $\alpha$ . Adapun jika menggunakan lup, benda terlihat oleh mata dengan sudut  $\beta$  sehingga perbesaran angulernya sebesar

$$M_{\text{angular}} = \frac{\beta}{\alpha} \quad (6-29)$$

Jika sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  sangat kecil,  $\tan \alpha = \alpha$  dan  $\tan \beta = \beta$  maka

$$M_{\text{angular}} = \frac{\beta}{\alpha} \quad (6-30)$$

Oleh karena  $\beta = \frac{p'}{s'}$  dan  $\alpha = \frac{p}{PP}$ ,  $\beta = \frac{p'}{s'} = \frac{p}{s}$  maka

**Persamaan (6-30)** menjadi

$$M_{\text{angular}} = \left( \frac{p}{s} \right) \left( \frac{PP}{p} \right) = \frac{PP}{s} \quad (6-31)$$

Jika mata berakomodasi pada jarak  $s' = x$  (maya), diperoleh persamaan

$$\frac{1}{s} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{1}{x} + \frac{1}{f}$$

$$s = \frac{xf}{x+f} \quad (6-32)$$

Jika **Persamaan (6-32)** disubstitusikan ke **Persamaan (6-31)**, akan diperoleh

$$M_{\text{angular}} = \frac{PP(x+f)}{xf} = \frac{PPx}{xf} + \frac{PPf}{xf}$$

$$M_{\text{angular}} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x} \quad (6-33)$$

Keterangan:

$M_{\text{angular}}$  = perbesaran angular

$PP$  = titik dekat mata

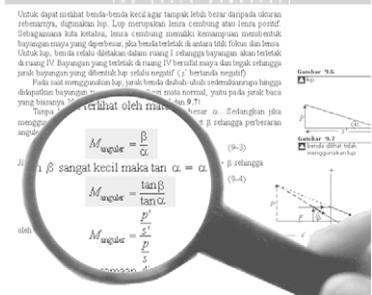
$f$  = jarak fokus lup

$x$  = jarak antara bayangan ( $s'$ ) dan lup

### Contoh 6.19

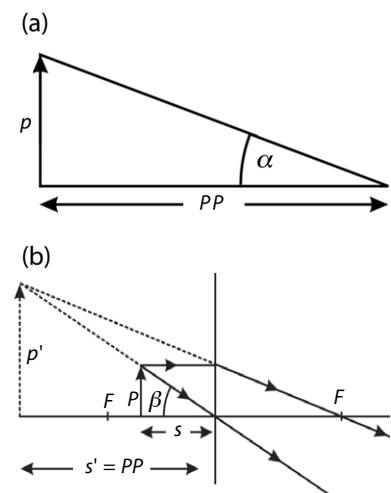
Sebuah lup memiliki jarak fokus 6,0 cm. Hitunglah perbesaran lup jika mata melihat benda dengan berakomodasi pada jarak 25 cm.

### B. Lup (Kaca Pembesar)



**Gambar 6.46**

Lup digunakan juga untuk memperjelas tulisan yang sangat kecil.



**Gambar 6.47**

- (a) Sudut penglihatan mata ( $\alpha$ ), ketika benda dilihat tidak menggunakan lup.
- (b) Sudut penglihatan mata ( $\beta$ ), ketika benda dilihat dengan menggunakan lup.

**Jawab:**

Diketahui:

$$s' = 25 \text{ cm}; \quad f = 6,0 \text{ cm}$$

- a. Perbesaran anguler ( $M_{\text{anguler}}$ ) ketika mata berakomodasi pada jarak 25 cm. Untuk menghitung perbesaran ini, digunakan **Persamaan (6-33)** berikut.

$$M_{\text{anguler}} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x}$$

Nilai  $x$  diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s} \rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{s-f}{fs} \rightarrow s' = \frac{fs}{s-f}$$

$$s' = \frac{(6 \text{ cm})(25 \text{ cm})}{(25 \text{ cm}) - (6 \text{ cm})} = \frac{150 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 7,9 \text{ cm}$$

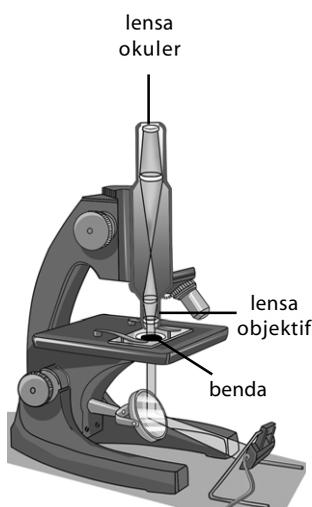
Dalam hal ini,  $s' = x$ . Dengan demikian, perbesaran anguler adalah

$$M_{\text{anguler}} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x}$$

$$M_{\text{anguler}} = PP \left( \frac{1}{f} + \frac{1}{x} \right) = PP \left( \frac{x}{f} + \frac{f}{x} \right) = 7,33$$

- b.  $M = \frac{s'}{f} \rightarrow M = \frac{25 \text{ cm}}{6,0} = 4,17$

Jadi, perbesaran linear lup untuk mata tak berakomodasi sebesar 4,17.

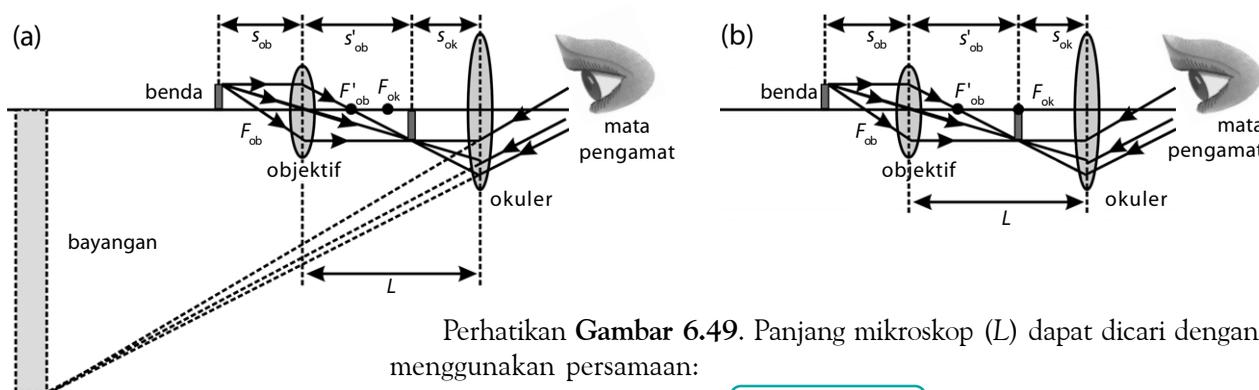


**Gambar 6.48**  
Mikroskop

### 3. Mikroskop

Mikroskop adalah sebuah alat optik yang digunakan melihat benda-benda sangat kecil, contohnya virus dan bakteri. Mikroskop memiliki perbesaran anguler lebih besar daripada lup.

Mikroskop terdiri atas dua lensa cembung. Lensa yang dekat dengan mata disebut lensa okuler, sedangkan lensa yang dekat dengan benda disebut lensa objektif. Perhatikan skema susunan lensa mikroskop pada **Gambar 6.49**. Bayangan akhir yang dihasilkan oleh dua lensa dalam mikroskop bersifat maya, diperbesar, dan terbalik terhadap benda semula.



Perhatikan **Gambar 6.49**. Panjang mikroskop ( $L$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$L = s'_{\text{ob}} + s_{\text{ok}} \quad (6-34)$$

**Gambar 6.49**

Pembentukan bayangan pada mikroskop:

- a. Untuk mata berakomodasi maksimum;  
b. Untuk mata tidak berakomodasi.

Keterangan:

- $L$  = panjang mikroskop  
 $s'_{\text{ob}}$  = jarak bayangan bagi lensa objektif  
 $s_{\text{ok}}$  = jarak benda bagi lensa okuler

Perbesaran oleh lensa objektif adalah

$$M_{ob} = \frac{h'_{ob}}{h_{ob}} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \quad (6-35)$$

Keterangan:

- $M_{ob}$  = perbesaran lensa objektif
- $s'_{ob}$  = jarak bayangan bagi lensa objektif
- $s_{ob}$  = jarak benda bagi lensa objektif
- $h'_{ob}$  = tinggi bayangan
- $h_{ob}$  = tinggi benda

Oleh karena lensa okuler bersifat sebagai lup maka perbesaran lensa okuler mikroskop adalah sebagai berikut. Untuk mata berakomodasi maksimum.

$$M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} + 1 \quad (6-36)$$

Keterangan:

- $s_n$  = jarak titik dekat mata normal
- $f_{ok}$  = jarak fokus okuler

Untuk mata tidak berakomodasi

$$M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} \quad (6-37)$$

Perbesaran total sebuah mikroskop adalah sebagai berikut.

$$M = M_{ob} \times M_{ok} \quad (6-38)$$

### Contoh 6.21

Sebuah mikroskop memiliki lensa objektif dengan jarak fokus 2 cm dan lensa okuler dengan jarak fokus 6 cm. Jika jarak antarlensa 26 cm, hitung perbesaran total mikroskop pada saat:

- a. mata berakomodasi maksimum,
- b. mata tidak berakomodasi.

**Jawab:**

Diketahui:

$$f_{ob} = 2 \text{ cm}; L = 26 \text{ cm}; f_{ok} = 6 \text{ cm}$$

- a. Perbesaran pada saat mata berakomodasi maksimum, mata dianggap normal

$$(s'_{ok} = -25 \text{ cm}).$$

$$\frac{1}{f_{ok}} = \frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} - \frac{1}{s'_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{s'_{ok} - f_{ok}}{s'_{ok} f_{ok}}$$

$$s_{ok} = \frac{f_{ok} s'_{ok}}{s'_{ok} - f_{ok}}$$

$$s_{ok} = \frac{(6 \text{ cm})(-25 \text{ cm})}{(-25 \text{ cm}) - (6 \text{ cm})} = -31 \text{ cm}$$

$$s_{ok} = 4,84 \text{ cm}.$$

Berdasarkan rumus

$$L = s'_{ob} + s_{ok} \rightarrow 26 = s'_{ob} + 4,84$$

$$s'_{ob} = 26 - 4,84 = 21,16 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan rumus lensa tipis, diperoleh

$$\frac{1}{f_{ob}} = \frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$\frac{1}{s_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$\frac{1}{s_{ob}} = \frac{s'_{ob} - f_{ob}}{f_{ob} s'_{ob}}$$

$$s_{ob} = \frac{f_{ob} s'_{ob}}{s'_{ob} - f_{ob}}$$



### Ingatlah

- Apabila jarak bayangan yang dihasilkan lup adalah ( $s' = -x$ ), artinya mata berakomodasi pada jarak  $x$  sehingga perbesaran sudutnya adalah

$$M_{angular} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x}$$

- Untuk mata berakomodasi maksimum, bayangan yang dibentuk oleh lup terletak di titik dekat mata ( $s' = -PP$ )

$$s' = -x = -PP$$

$$x = PP$$

$$M_{angular} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{PP}$$

$$= \frac{PP}{f} + 1$$

- Untuk mata tidak berakomodasi, bayangan yang dibentuk oleh lup terletak di titik jauh mata ( $s' = -PR$ ).

Untuk mata normal,

$PR = \infty$  maka  $s' = \infty$ . Agar

jarak  $s' = -\infty$  maka benda

harus diletakkan di titik

fokus  $F$ .

$$s' = -x = -\infty$$

$$x = \infty$$

$$M_{angular} = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x}$$

$$= \frac{PP}{f} + 0$$

$$= \frac{PP}{f}$$



### Tantangan untuk Anda

Pelangi adalah hasil peristiwa optika yang melibatkan butiran hujan, cahaya matahari, dan mata. Gambarkan peristiwa optika tersebut sehingga Anda mendapatkan sensasi keindahan itu.



## Tugas Anda 6.2

Anda mungkin pernah melihat hasil suatu pencitraan luar angkasa yang diperoleh dari teleskop Hubble. Bagaimanakah prinsip Fisika yang diterapkan pada teleskop luar angkasa tersebut?

$$s_{ob} = \frac{(2 \text{ cm})(21,16 \text{ cm})}{(21,16 \text{ cm}) - (2 \text{ cm})} = \frac{42,32 \text{ cm}}{19,16 \text{ cm}} = 2,2 \text{ cm.}$$

$$\text{Perbesaran oleh lensa objektif, } M_{ob} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} = \frac{21,16 \text{ cm}}{2,2 \text{ cm}} = 9,6 \text{ kali}$$

$$\text{Perbesaran oleh lensa okuler, } M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} + 1 = \frac{25 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} + 1 = 5,17$$

Jadi, perbesaran total mikroskop pada saat mata berakomodasi maksimum adalah  $M = M_{ob} \times M_{ok} = (9,6)(5,17) = 49,6$  kali.

- b. Untuk mata tidak berakomodasi

$$s_{ok} = f_{ok} = 6 \text{ cm}$$

$$L = s'_{ob} + s_{ok} \rightarrow 26 = s'_{ob} + 6 \text{ cm}$$

$$s'_{ob} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Berdasarkan rumus lensa tipis: } \frac{1}{f_{ob}} = \frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$\frac{1}{s_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{s'_{ob} - f_{ob}}{f_{ob} s'_{ob}}$$

$$s_{ob} = \frac{f_{ob} s'_{ob}}{s'_{ob} - f_{ob}} = \frac{(2 \text{ cm})(20 \text{ cm})}{(20 \text{ cm}) - (2 \text{ cm})} = \frac{40 \text{ cm}}{18 \text{ cm}} = 2,2 \text{ cm.}$$

$$\text{Perbesaran oleh lensa objektif, } M_{ob} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} = \frac{20 \text{ cm}}{2,2 \text{ cm}} = 9,09 \text{ kali}$$

$$\text{Perbesaran oleh lensa okuler, } M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} = \frac{25 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} = 4,17$$

Jadi, perbesaran total mikroskop pada saat mata tidak berakomodasi adalah

$$M = M_{ob} \times M_{ok} = (9,09)(4,17)$$

## 4. Teropong atau Teleskop

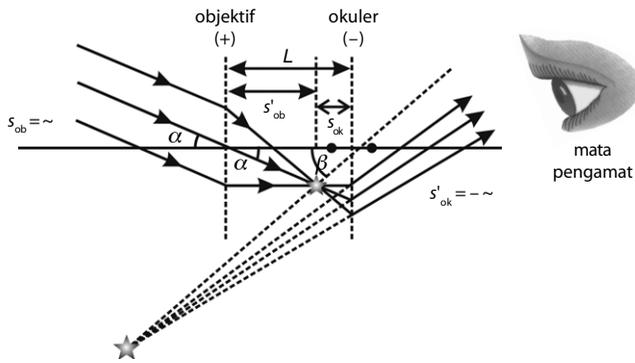
Teropong atau teleskop merupakan alat optik yang dapat digunakan untuk melihat benda-benda yang jauh sehingga tampak lebih dekat dan lebih jelas. Pada 1606, **Galileo** membuat sebuah teleskop yang terdiri atas dua lensa dan sebuah pipa organa sebagai tabungnya. Setelah itu, **Galileo** juga membuat bermacam-macam teleskop dan menemukan banyak penemuan dalam bidang Astronomi.

Sekarang, dikenal dua macam teleskop, yaitu teleskop bias dan teleskop pantul.

- 1) Teleskop bias terdiri atas beberapa lensa yang berfungsi membiaskan sinar datang dari benda. Teleskop yang termasuk kategori teleskop bias, di antaranya teleskop bintang, teleskop Bumi, teleskop panggung, dan teleskop prisma.
- 2) Teleskop pantul terdiri atas beberapa cermin sebagai pemantul dan lensa sebagai pembias sinar datang dari benda.

### a. Teleskop Bintang

Teleskop bintang terdiri atas dua lensa, yaitu lensa objektif dan lensa okuler. **Gambar 6.50** berikut ini menunjukkan proses pembentukan bayangan akhir dari suatu teleskop bintang.



**Gambar 6.50**  
Pembentukan bayangan oleh teleskop bintang pada mata yang berakomodasi maksimum.

Panjang teleskop bintang jika mata berakomodasi adalah

$$L = s'_{ob} + s_{ok} \quad (6-39)$$

Dan panjang teleskop bintang pada saat tidak berakomodasi adalah

$$L = f_{ob} + f_{ok} \quad (6-40)$$

Keterangan:

$L$  = panjang teropong

$s_{ok}$  = jarak benda bagi lensa okuler

$s'_{ob}$  = jarak bayangan bagi lensa objektif

$f_{ob}$  = jarak fokus lensa objektif

$f_{ok}$  = jarak fokus lensa okuler

Perbesaran angular teleskop bintang adalah

$$M_a = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

atau

$$M_{\text{angular}} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad (6-41)$$

Keterangan:

$M_{\text{angular}}$  = perbesaran angular

### Contoh 6.22

Pada saat gerhana Matahari, seorang peneliti gerhana mengamatinya dengan sebuah teleskop bintang. Lensa objektif dan okuler yang digunakan memiliki jarak fokus masing-masing 60 cm dan 2 cm. Jika sudut diameter Matahari dilihat dengan mata telanjang  $0,6^\circ$ , berapa derajat sudut diameter Matahari pada saat diamati menggunakan teleskop bintang tersebut?

**Jawab:**

Diketahui:

$$f_{ob} = 60 \text{ cm}$$

$$f_{ok} = 2 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,6^\circ$$

- Pada lensa objektif

Matahari berada pada titik yang jauh sekali sehingga  $s_{ob} = \infty$ , akibatnya

$$s'_{ob} = f_{ob} = 60 \text{ cm.}$$

- Pada lensa okuler

Untuk mengamati benda langit, biasanya mata tidak berakomodasi. Bayangan oleh lensa okuler harus jatuh di titik tak hingga,  $s'_{ok} = \infty$ . Jika bayangan terletak di tak hingga, dapat dipastikan benda berada di fokus.

$$s_{ok} = f_{ok} = 2 \text{ cm.}$$



## Pembahasan Soal

Pada teropong bintang ....

- (1) bayangan oleh lensa objektif terletak di titik api II.
- (2) titik api II lensa objektif diimpitkan dengan titik api I lensa okuler
- (3) bayangan akhir terletak di tak terhingga
- (4) bayangan akhir terbalik

UMPTN, 1993

Jawaban : D



- Perbesaran teleskop

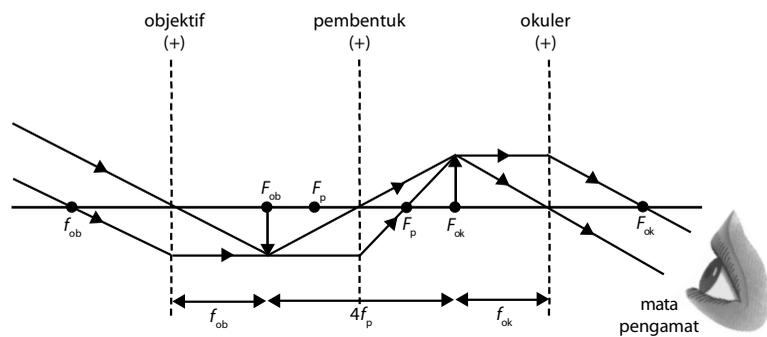
$$M = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}} = \frac{60 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} = 30 \text{ kali.}$$

Jadi, sudut diameter matahari ketika diamati menggunakan teleskop adalah

$$M = \frac{\beta}{\alpha} \rightarrow 30 = \frac{\beta}{0,6^\circ} \rightarrow \beta = (30)(0,6^\circ) = 18^\circ.$$

### b. Teleskop Bumi

Teleskop ini digunakan untuk dapat melihat benda-benda jauh di permukaan Bumi. Bayangan akhir yang dihasilkan tentu harus bersifat tegak dan diperbesar. Oleh karena itu, teleskop Bumi dilengkapi dengan sebuah lensa yang berfungsi untuk membalikkan bayangan. Lensa tersebut dinamakan lensa pembalik. Lensa ini diletakkan di antara lensa objektif dan lensa okuler. Perhatikan gambar pembentukan bayangan akhir oleh sebuah teleskop Bumi berikut ini (**Gambar 6.51**).



**Gambar 6.51**  
Pembentukan bayangan pada teleskop Bumi oleh mata yang berakomodasi maksimum.

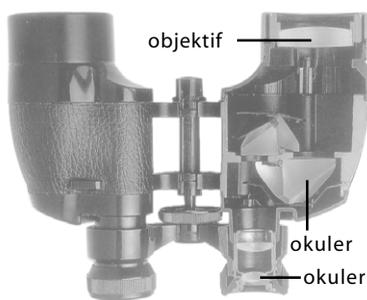
Berdasarkan **Gambar 6.48**, panjang teleskop Bumi adalah

$$L = f_{\text{ob}} + f_{\text{ok}} + 4f_p \quad (6-42)$$

Keterangan:

$f_p$  = jarak fokus lensa pembalik

$L$  = panjang teleskop Bumi



Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

**Gambar 6.52**  
Teleskop prisma

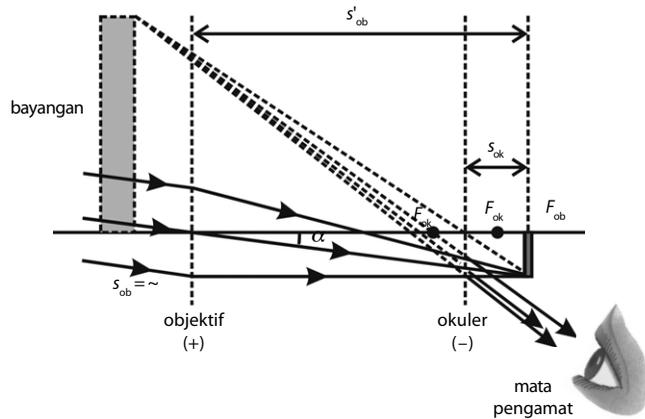
### c. Teleskop Prisma

Teleskop prisma disebut juga teleskop binokuler. Fungsi teleskop ini sama dengan teleskop Bumi. Jika pada teleskop Bumi dilengkapi dengan lensa pembalik, sedangkan teleskop prisma dilengkapi dengan prisma siku-siku. Fungsi prisma ini untuk membalikkan bayangan. Penggunaan prisma dimaksudkan agar teleskop ini tidak terlalu panjang dan praktis untuk digunakan.

Teleskop prisma ditunjukkan pada **Gambar 6.52**. Setiap teleskop prisma biasanya dilengkapi dengan informasi nomor seperti  $7 \times 50$  atau  $20 \times 30$ . Angka pertama menunjukkan perbesaran dan angka kedua menunjukkan diameter lensa objektif dalam milimeter.

### d. Teleskop Galilei (Teleskop Panggung)

Teleskop ini merupakan modifikasi dari teleskop Bumi. Pembalikan bayangan dalam teleskop ini dilakukan dengan menggunakan lensa cekung sebagai lensa okulernya. Teleskop ini sering juga disebut teleskop panggung atau teleskop Galilei. Perhatikan **Gambar 6.52**.



**Gambar 6.53**

Pembentukan bayangan oleh teleskop panggung oleh mata yang berakomodasi.

Berdasarkan **Gambar 6.53**, perbesaran anguler teleskop Galilei adalah

$$M_{\text{anguler}} = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}} \quad (6-43)$$

Adapun panjang teleskop Galilei sebesar

$$L = f_{\text{ob}} + f_{\text{ok}} \quad (6-44)$$

### Contoh 6.23

Sebuah teleskop Galilei yang memiliki perbesaran anguler 16 kali dan memiliki jarak fokus objektif 160 cm, digunakan untuk menyelidiki sebuah benda yang terletak sangat jauh. Hitung panjang teleskop Galilei ini.

**Jawab:**

Diketahui:

$$f_{\text{ob}} = 160 \text{ cm}$$

$$M_{\text{anguler}} = 16 \text{ kali}$$

Oleh karena dalam teleskop ini lensa okulernya lensa cekung, berarti  $f_{\text{ok}}$  bernilai negatif.

Jadi, jarak fokus lensa okuler adalah  $-10 \text{ cm}$  sehingga

$$L = f_{\text{ob}} + f_{\text{ok}}$$

$$L = 160 + (-10)$$

$$L = 150 \text{ cm}$$

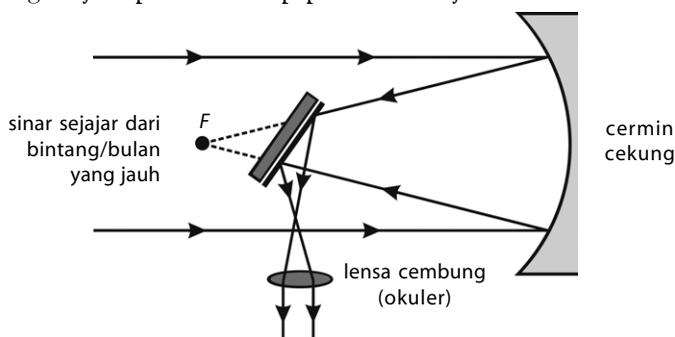
Jadi, panjang teleskop Galilei adalah 150 cm atau 1,5 m.

### Tugas Anda 6.3

Anda mengenal ada dua macam teleskop, yaitu teleskop bias dan teleskop pantul. Mengapa teleskop pantul yang berukuran besar lebih mudah dibuat dibandingkan dengan teleskop bias?

### e. Teleskop Pantul

Teleskop ini dilengkapi dengan cermin cekung besar sebagai cermin objektifnya. Selain itu dilengkapi pula dengan cermin datar dan lensa cembung sebagai okulernya. Cermin datar berfungsi untuk memantulkan cahaya. Oleh karena itu, teleskop ini disebut teleskop pantul. Perjalanan sinar yang terjadi pada teleskop pantul ditunjukkan oleh **Gambar 6.54**.

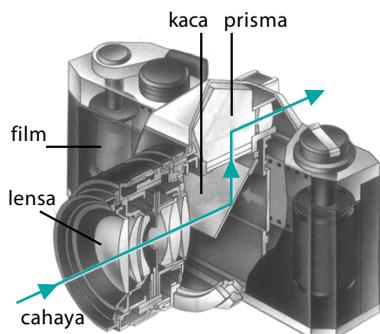


**Gambar 6.54**

Teleskop pantul

### f. Kamera

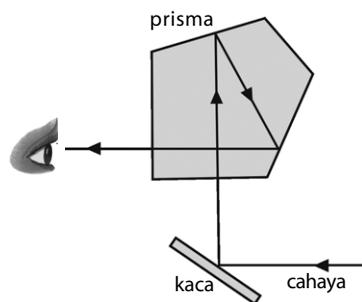
Kamera adalah alat untuk merekam gambar dari suatu objek berupa tempat atau peristiwa. Prinsip kerja kamera mirip dengan mata. Lensa kamera merupakan bagian dari kamera yang berfungsi untuk membentuk bayangan, mirip lensa mata pada mata. Kamera dilengkapi dengan film yang berfungsi sebagai tempat bayangan, mirip dengan retina pada mata. Jika mata memiliki kemampuan untuk berakomodasi, pada kamera pengaturan bayangan agar jatuh tepat pada film dilakukan dengan cara menggerakkan lensa. **Gambar 6.55** menunjukkan sebuah kamera lengkap dengan bagian-bagiannya.



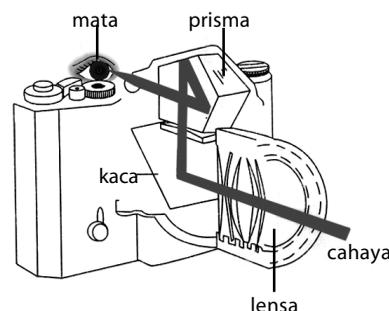
**Gambar 6.55**  
Kamera dan bagian-bagiannya

Proses pengambilan gambar oleh kamera adalah sebagai berikut. Setelah kamera dibidikkan ke objek yang menjadi perhatian, lalu jarak antara lensa dan film diatur sehingga bayangan tepat jatuh pada film. Kemudian, tombol pembuka ditekan. Cahaya segera masuk melalui lensa untuk membentuk bayangan pada film selama selang waktu pembuka cahaya terbuka dan bayangan di film terbentuk.

Pada **Gambar 6.56**, sebuah prisma digunakan pada beberapa kamera refleks lensa tunggal (SLR) modern. Dalam kamera ini, prisma digunakan untuk membelokkan cahaya hingga dapat berputar mengelilingi bagian dalam kamera agar fotografer dapat melihat gambar aktual yang akan diambilnya melalui lensa kamera.



**Gambar 6.56**  
Penjalaran sinar pada kamera



**Kata Kunci**

- daya akomodasi
- *punctum proximum*
- *punctum remotum*
- emetropi
- miopi
- hipermetropi
- presbiopi
- astigmatisma
- lup
- mikroskop
- teropong/teleskop
- teleskop bintang
- teleskop bumi
- teleskop Galilei
- kamera

### Contoh 6.24

Sebuah kamera memiliki titik api 80 mm, awalnya digunakan untuk mengambil gambar benda yang cukup jauh. Kemudian, kamera digunakan untuk mengambil gambar sebuah benda yang jaraknya 2 m dari lensa. Tentukan ke mana dan berapa jauh lensa kamera harus digeser.

**Jawab:**

Diketahui:

$$f = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

Keadaan mula-mula  $s_1 = \infty$ , maka

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{\infty} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{0,08} + \frac{1}{s_1'} \rightarrow \frac{100}{8} \rightarrow s_1' = 0,08 \text{ m}$$

Keadaan akhir untuk  $s_2 = 2 \text{ m}$

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{0,08} \rightarrow \frac{1}{s_2'} = \frac{100}{8} - \frac{1}{2} \rightarrow s_2' = 0,0833 \text{ m}$$

Besar pergeseran lensa kamera adalah

$$d = s_2' - s_1' = 0,0833 - 0,08 = 0,0033 \text{ m} = 3,3 \text{ mm}$$

Oleh karena  $s_2' > s_1'$  maka  $d > 0$ , artinya lensa kamera harus digeser menjauhi film.

## Mari Mencari Tahu



Anda bisa memperoleh uraian materi mengenai bab ini dengan *searching* di [www.google.com](http://www.google.com) atau dengan mengunjungi situs internet mengenai cahaya dan optikas di antaranya adalah di [accept.la.asu.edu/PIN/mod/light/patt light optics. html](http://accept.la.asu.edu/PIN/mod/light/patt%20light%20optics.html).

## Tes Kompetensi Subbab D

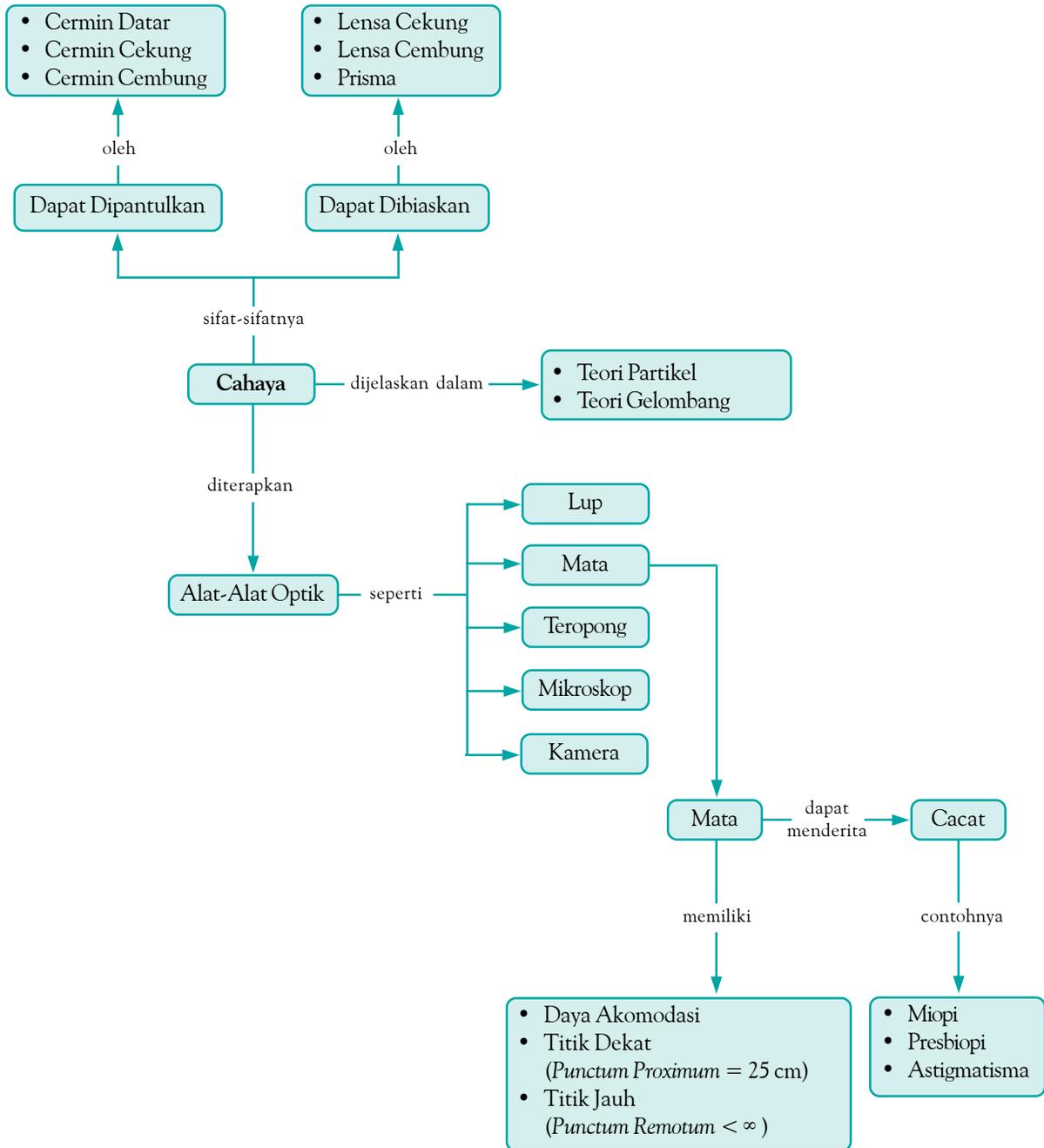
Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Seorang teman Anda menggunakan lensa cekung  $-\frac{3}{4}$  dioptri. Berapakah jarak fokus lensa dan titik jauh yang masih dapat dilihat oleh teman Anda tersebut ketika ia tidak berkacamata?
2. Sebuah kaca pembesar memiliki kekuatan lensa 20 dioptri. Tentukan perbesaran lup untuk mata berakomodasi maksimum dan tidak berakomodasi.
3. Sebuah mikroskop memiliki jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler berturut-turut 10 mm dan 4 cm. Jika sebuah benda diletakkan 11 mm di depan lensa objektif, sedangkan jarak antarlensa adalah 15 cm. Hitung perbesaran yang dihasilkan untuk mata normal tidak berkacamata.
4. Sebuah teleskop bintang memiliki lensa objektif dengan jarak fokusnya 100 cm dan lensa okuler yang jarak fokusnya 5 cm. Hitung perbesaran sudut dan panjang teleskop untuk:
  - a. penggunaan normal;
  - b. bayangan akhirnya maya yang dibentuk 25 cm dari lensa okuler.
5. Sebuah kamera dengan fokus 25 mm, awalnya digunakan untuk mengambil gambar sebuah benda pada jarak 2 m dari lensa. Kemudian, kamera tersebut digunakan untuk mengambil gambar sebuah benda yang terletak cukup jauh.
  - a. Berapa jauhkah lensa kamera harus digeser?
  - b. Ke manakah arah pergeseran lensa kamera tersebut?

## Rangkuman

1. Ada dua teori tentang cahaya, yaitu teori partikel dan teori gelombang. Teori partikel lahir dari buah pikiran **Isaac Newton** yang berpendapat bahwa cahaya merupakan partikel. Adapun teori gelombang lahir dari buah pikiran **Huygens** yang berpendapat bahwa cahaya merupakan gelombang.
2. Cahaya dapat dipantulkan dan dibiaskan.
3. Pembiasan cahaya hanya terjadi jika cahaya datang dari suatu medium ke medium lain, dengan syarat kedua medium tersebut memiliki indeks bias yang berbeda.
5. Pembiasan terjadi juga pada lensa cembung dan lensa cekung.
6. Cacat mata terjadi biasanya karena bayangan benda tidak tepat jatuh di retina.
7. Mata, lup, mikroskop, teropong, dan kamera merupakan contoh alat-alat optik.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda dapat menyebutkan dan menganalisis alat-alat optik seperti mata, lup, mikroskop, teropong dan kamera. Dapatkah Anda menyebutkan alat-alat optik lainnya? Adakah

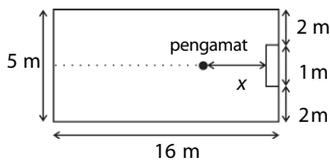
materi dalam bab ini yang Anda anggap sulit? Agar semua materi dalam bab ini dapat Anda pahami, cobalah diskusikan dengan teman Anda atau minta penjelasan kepada guru.

**A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihanmu.**

- Seberkas sinar mengenai sistem optik yang terdiri atas dua cermin datar yang saling tegak lurus. Setelah berkas sinar mengalami pemantulan dua kali, arah berkas sinar ....
  - menuju sinar datang
  - memotong sinar datang
  - tegak lurus sinar datang
  - sejajar dan berlawanan arah sinar datang
  - sejajar dan searah dengan sinar datang

- Seorang wanita setinggi 1,60 m berdiri di depan cermin datar vertikal. Tinggi minimum cermin agar ia dapat melihat bayangan seluruh tubuhnya, andaikan posisi mata wanita tersebut 10 cm di bawah bagian atas kepala adalah ....
  - 160 cm
  - 150 cm
  - 80 cm
  - 75 cm
  - 10 cm

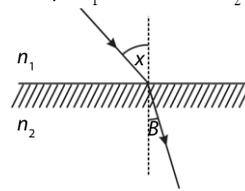
- Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut memperlihatkan seorang pengamat berdiri di depan cermin datar sejauh  $x$  m. Agar ia dapat melihat seluruh lebar dinding yang berada di belakangnya maka nilai  $x$  maksimum adalah ....

- 160 cm
  - 150 cm
  - 80 cm
  - 75 cm
  - 10 cm
- Sebuah benda diletakkan 20 cm di depan cermin cembung yang jarak fokusnya 30 cm. Letak dan sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin tersebut adalah ....
    - 60 cm di depan cermin, maya, tegak
    - 60 cm di belakang cermin, nyata, tegak
    - 60 cm di depan cermin, nyata, terbalik
    - 12 cm di belakang cermin, maya, tegak
    - 12 cm di depan cermin, nyata, tegak
  - Bayangan maya yang terbentuk oleh sebuah cermin cekung tiga kali lebih besar daripada bendanya. Jika jarak fokus cermin 30 cm, jarak benda di depan cermin adalah ....
    - 5 cm
    - 10 cm
    - 20 cm
    - 30 cm
    - 40 cm
  - Jika bayangan yang terbentuk oleh cermin cekung dengan jari-jari kelengkungan 20 cm adalah nyata dan diperbesar dua kali, bendanya terletak di muka cermin sejauh ....

- 60 cm
  - 30 cm
  - 25 cm
  - 15 cm
  - 45 cm
- Suatu sinar datang pada permukaan kaca dengan sudut datang  $i$ , kemudian dibiaskan dengan sudut bias  $r$ . Sinar bias tersebut mengalami deviasi sebesar ....
    - $r$
    - $i - r$
    - $180^\circ - r$
    - $180^\circ - i$
    - $180^\circ - r$
  - Seberkas sinar merambat dari medium yang indeks biasnya  $n_1$  ke medium  $n_2$  seperti gambar.



Pernyataan yang benar adalah ....

- $n_1 \sin x = n_2 \sin B$
  - $n_1 \sin B = n_2 \sin x$
  - $n_1 \cos B = n_2 \cos x$
  - $n_1 \cos x = n_2 \cos B$
  - $n_1 \sin x = n_2 \cos B$
- Pada pembiasan cahaya dari udara ke air, semakin kecil sudut datang ....
    - semakin besar sudut bias
    - sudut bias tetap saja
    - semakin kecil pula sudut bias
    - sudut bias semakin bergantung pada indeks bias
    - sudut bias dapat menjadi kecil atau besar, bergantung pada polarisasi cahaya
  - Seberkas cahaya datang dari medium A ke medium B dengan sudut datang  $30^\circ$  dan dibiaskan dengan sudut sebesar  $45^\circ$ . Indeks bias relatif medium A terhadap medium B adalah ....
    - $\frac{1}{2}$
    - $\frac{1}{2}\sqrt{2}$
    - $\frac{1}{2}\sqrt{3}$
    - $\sqrt{2}$
    - 2
  - Jika cahaya monokromatis memasuki medium yang berindeks bias lebih besar, panjang gelombang  $x$  dan kecepatan  $v$  berubah sebagai berikut. Pernyataan yang benar adalah ....
    - $x$  dan  $v$  menjadi lebih besar
    - $x$  dan  $v$  menjadi lebih kecil
    - $x$  menjadi lebih besar dan  $v$  menjadi kecil
    - $x$  menjadi lebih kecil dan  $v$  menjadi lebih besar
    - $x$  dan  $v$  tetap

12. Cahaya memiliki kecepatan di dalam vakum sebesar  $c = 3 \times 10^8$  m/s. Jika masuk ke dalam air, kecepatan menjadi 0,75c. Berarti, indeks bias air itu adalah ....
- 0,56
  - 0,75
  - 1,33
  - 1,45
  - 1,78
13. Jika pada permukaan zat cair (indeks bias 1,4) dijatuhkan sinar monokromatis dengan panjang gelombang  $7.000 \text{ \AA}$  dan sudut datang  $30^\circ$ , maka sinar yang dibiaskan di dalam zat cair memiliki panjang gelombang ....
- $4.000 \text{ \AA}$
  - $5.000 \text{ \AA}$
  - $5.500 \text{ \AA}$
  - $6.000 \text{ \AA}$
  - $6.500 \text{ \AA}$
14. Seberkas cahaya dengan panjang gelombang  $6,0 \times 10^{-5}$  cm masuk dari udara ke dalam balok kaca yang indeks biasnya 1,5. Panjang gelombang cahaya di dalam kaca tersebut adalah ....
- $9,0 \times 10^{-5}$  cm
  - $7,5 \times 10^{-5}$  cm
  - $6,0 \times 10^{-5}$  cm
  - $4,5 \times 10^{-5}$  cm
  - $4,0 \times 10^{-5}$  cm
15. Dalam tabung yang diisi eter (indeks bias  $n = 1,36$ ), jarak antara permukaan cairan dengan alas tabungnya adalah 17 cm. Jika Anda memandang secara tegak lurus dari permukaan, jarak antara alas tabung dan permukaan cairan menjadi ....
- 8,5 cm
  - 10 cm
  - 12,5 cm
  - 15 cm
  - 17 cm
16. Sebuah bayangan terbentuk pada jarak 1 m di belakang lensa yang berkekuatan 5 dioptri. Letak benda terhadap lensa tersebut adalah ....
- 0,25 m
  - 0,30 m
  - 0,35 m
  - 0,40 m
  - 0,45 m
17. Sebuah lensa di udara memiliki jarak fokus 15 cm. Indeks bias bahan lensa = 1,5. Pada saat lensa berada di dalam air yang indeks biasnya  $\frac{3}{4}$ , jarak fokus lensa menjadi ....
- 10 cm
  - 15 cm
  - 22,5 cm
  - 60 cm
  - 120 cm
18. Jika dua buah lensa tipis yang berjarak fokus  $-5$  cm dan  $10$  cm digabungkan, kekuatan lensa gabungan (dalam dioptri) ....
- $\frac{1}{2}$
  - $-2$
  - 4
  - $-5$
  - 10
19. Tiga buah lensa masing-masing memiliki jarak fokus 10 cm,  $-10$  cm, dan  $10$  cm. Sumbu-sumbu optiknya terletak pada satu garis lurus. Jarak antara satu lensa dan lensa yang lain masing-masing 4 cm. Jika sinar matahari memasuki lensa pertama sepanjang sumbu optiknya maka bayangan matahari yang dibentuk oleh susunan lensa itu terletak di belakang lensa ke tiga sejauh ....
- 3,43 cm
  - 4,61 cm
  - 5,24 cm
  - 15,09 cm
  - 18,08 cm
20. Jika kekuatan dua lensa tipis yang digabungkan adalah 4 dioptri dan jarak fokus lensa pertama 5 cm, jarak lensa kedua adalah ....
- $-6,25$  cm
  - 6,25 cm
  - $-12,55$  cm
  - 12,50 cm
  - 25 cm

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

- Dua buah cermin datar mula-mula membentuk sudut  $x$  sehingga banyaknya bayangan yang terbentuk =  $n$ . Jika sudut antara kedua cermin diperbesar  $90^\circ$  jumlah bayangan yang terbentuk berkurang 9 buah, tentukan nilai  $x$  dan  $n$ .
- Sebuah benda setinggi 9 cm diletakkan 25 cm di depan sebuah cermin cembung yang jarak fokusnya 10 cm. Tentukan letak bayangan benda.
- Sebuah prisma dengan sudut pembias  $60^\circ$  memiliki indeks bias 1,67. Hitunglah:
  - sudut deviasinya jika sudut datangnya  $60^\circ$ ,
  - sudut deviasi minimum.
- Seekor ikan terletak di dalam sebuah akuarium berbentuk bola dengan diameter 150 cm ( $n_{\text{air}} = \frac{4}{3}$ ). Ikan tersebut berada 50 cm dari dinding akuarium dan seseorang berdiri pada jarak 100 cm dari dinding tersebut.
  - Di mana bayangan ikan yang dilihat orang?
  - Di mana bayangan orang yang dilihat ikan?
- Sebuah lensa cembung rangkap memiliki jari-jari kelengkungan 80 cm dan 40 cm terbuat dari gelas ( $n = 1,56$ ). Hitunglah jarak fokus dan kekuatan lensa.

# Bab 7



Sumber: CD Image

Perubahan musim yang terjadi dengan diikuti perubahan wujud dari cair ke padat, atau sebaliknya (musim salju), merupakan fenomena berlakunya konsep-konsep kalor yang terjadi di alam ini.

## Kalor

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep kalor dan prinsip konservasi energi pada berbagai perubahan energi.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat;
- menganalisis cara perpindahan kalor;
- menerapkan asas Black dalam pemecahan masalah.

Berdasarkan wujudnya, materi dibedakan menjadi zat padat, cair, dan gas. Ketiga zat tersebut memiliki karakteristik masing-masing. Akan tetapi, ada beberapa zat yang dapat berubah wujud karena pengaruh suhu dan kalor. Amatilah ketika Anda sedang minum minuman yang di dalamnya terdapat es batu. Semakin lama, es batu dalam minuman akan mencair dan berubah wujud. Mengapa terjadi demikian? Benarkah es tersebut tidak hilang, melainkan berubah wujud?

Mengapa di suatu tempat di Bumi terjadi hujan salju? Mengapa di Indonesia tidak terjadi musim salju? Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang kalor. Jika Anda telah memahami konsep-konsep kalor, pertanyaan tersebut akan mudah Anda jawab. Oleh karena itu, pelajaryliah bab ini dengan sungguh-sungguh.

### A. Kalor B. Perpindahan Kalor

## Tes Kompetensi Awal

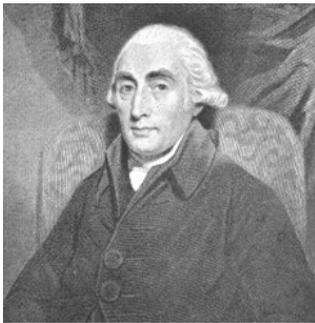
Sebelum mempelajari konsep Kalor, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang disebut dengan pemuai?
2. Sebutkan tiga cara perpindahan kalor?
3. Apakah sama titik didih air ketika dididihkan di pegunungan dibandingkan dengan titik didih air di daerah pantai? Jelaskan jawaban Anda?



## Tokoh

**Joseph Black**  
(1728–1799)



**Joseph Black**, adalah seorang kimiawan Skotlandia yang mendukung teori tentang panas, yaitu bahwa suhu merupakan konsentrasi kalori dalam suatu benda. Ia kemudian menemukan ilmu baru yang disebut kalorimetri. Ketika menyelidiki tentang panas (kalori), ia mengira bahwa kapasitas panas merupakan jumlah panas yang dapat ditampung oleh suatu benda. Padahal, ini sebenarnya merupakan ukuran tentang jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda dalam jumlah tertentu.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1996

## A. Kalor

Pernahkah Anda melakukan pengukuran suhu? Misalnya, pada suatu termometer kolom raksa, Anda mengamati perubahan panjang kolom sebagai indikator adanya perubahan suhu. Sesungguhnya, perubahan suhu itu terjadi akibat benda yang sedang diukur melepaskan kalor atau menerima kalor.

### 1. Pengertian Kalor

Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari benda yang satu ke benda yang lain. Jika dua buah benda yang suhunya berbeda disentuh, suatu saat akan terjadi kesetimbangan termal (suhunya sama). Hal ini terjadi karena adanya perpindahan kalor dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.

Kalor berbeda dengan suhu, walaupun keduanya memiliki hubungan erat. Suhu adalah derajat panas atau dingin suatu benda, sedangkan *kalor* adalah energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda yang lain. Suhu dan kalor dapat dibedakan dengan jelas pada peristiwa perubahan wujud suatu zat.

Untuk mengubah es menjadi air diperlukan kalor. Pada peristiwa perubahan wujud ini, es bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$  berubah menjadi air bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Jadi, tidak ada perubahan suhu pada saat es mencair, tetapi dibutuhkan kalor untuk mengubah wujud es tersebut.

Satuan SI untuk kalor adalah joule (disingkat J). Satuan kalor yang lain adalah kalori atau kilokalori. *Satu kalori* didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram air sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ .

### 2. Kalor Jenis

Misalkan, pada 200 mL air dan 200 mL alkohol diberikan kalor yang sama. Ternyata, kenaikan suhu pada alkohol lebih besar daripada air. Demikian halnya jika pada 200 mL air dan 500 mL air diberikan kalor yang sama banyaknya, kenaikan suhu pada 200 mL air lebih besar daripada 500 mL air. Peristiwa tersebut menunjukkan hal-hal sebagai berikut.

- a. Kalor yang diberikan pada zat sebanding dengan kenaikan suhu.
  - b. Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat sebanding massa zat.
  - c. Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat bergantung jenis zat.
- Secara matematis, ditulis sebagai berikut.

$$Q = mc \Delta T \quad (7-1)$$

Keterangan:

$Q$  = banyaknya kalor yang diberikan (kalori atau joule)

$m$  = massa zat (g atau kg)

$c$  = kalor jenis (kal/g $^{\circ}\text{C}$  atau J/kg $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Persamaan (7-1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (7-2)$$

Jadi, kalor jenis dapat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan suatu zat untuk menaikkan suhu 1 kg zat tersebut sebesar 1°C. Tabel 7.1 menunjukkan kalor jenis beberapa zat pada suhu 20°C dan tekanan tetap 1 atmosfer.

**Tabel 7.1**

Kalor Jenis Beberapa Zat pada Suhu 20°C dan Tekanan 1 atm

Zat Padat	Kalor jenis (J/kg°C)	Zat Cair	Kalor jenis (J/kg°C)
Kuningan	367	Alkohol (etil)	2.400
Aluminium	900	Raksa	140
Tembaga	390	Air	
Besi atau baja	450	es (-5°C)	2.100
Timah	130	cair (15°C)	4.186
Marmer	860	uap (110°C)	2.010
Perak	230	Badan manusia	3.470
Kayu	1.700	Protein	1.700
Seng	388		

Sumber: Physics, 1980

## Tugas Anda 7.1

Anda telah mengenal besaran kalor jenis suatu benda. Diskusikan dengan teman sekelas Anda jika kalor jenis suatu zat besar, apakah benda akan cepat panas atau lambat panas?

## Mari Mencari Tahu



Ketika Anda berjalan di atas pasir di pantai di bawah terik Matahari, Anda dapat merasakan pasir kering yang terinjak terasa panas. Kemudian, Anda beralih menginjak air laut. Air laut relatif lebih dingin, bukan? Padahal, pasir dan air laut sama-sama terkena sinar Matahari. Misalnya, Anda tinjau 1 kg air laut dan 1 kg pasir pantai di antaranya. Menurut Anda, manakah yang memiliki kalor jenis lebih tinggi, air atau pasir?

## Ingatlah



Kesetaraan kalori dan joule adalah  
 1 kalori = 4,2 joule  
 1 joule = 0,24 kalori  
 1 kkal = 1.000 kalori

### 3. Kapasitas Kalor

*Kapasitas kalor* adalah *banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar 1°C*. Secara matematis, pernyataan tersebut ditulis sebagai berikut.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (7-3)$$

Pada **Persamaan (7-3)**,  $C$  adalah kapasitas kalor (kal/°C atau J/K). Terdapat perbedaan pengertian antara kapasitas kalor ( $C$ ) dan kalor jenis ( $c$ ), tetapi secara matematis keduanya memiliki hubungan sebagai berikut.

Dari **Persamaan (7-2)** dan **Persamaan (7-3)** diperoleh

$$c = \frac{C}{m}$$

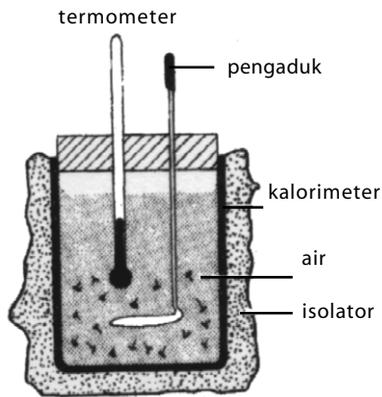
$$C = mc \quad (7-4)$$

Keterangan:

$m$  = massa zat (kg);  $c$  = kalor jenis (J/kg°C)

### 4. Hukum Kekekalan Energi untuk Kalor

Anda telah mempelajari bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak pernah musnah, tetapi energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi ke bentuk energi lain. Sebagai contoh, energi mekanik dapat berubah menjadi energi listrik. Kemudian, energi listrik dapat berubah lagi menjadi energi cahaya, dan seterusnya. Demikian juga, energi dalam bentuk kalor berasal dari bentuk energi lain.



**Gambar 7.1**  
Kalorimeter

Hukum Kekekalan Energi untuk kalor dapat diamati dengan menggunakan *kalorimeter* seperti tampak pada **Gambar 7.1**. Sejumlah massa zat cair dipanaskan. Kemudian, zat cair tersebut dimasukkan ke dalam kalorimeter. Suhu zat cair tersebut diukur dengan termometer dan dicatat. Selanjutnya, sejumlah massa zat cair dengan suhu yang lebih rendah dimasukkan ke dalam kalorimeter dan diaduk dengan pengaduk hingga kedua zat cair bercampur dan merata. Kemudian, suhu zat cair yang tercampur diukur dan dicatat. Selama pengadukan berlangsung, terjadi perpindahan kalor. Zat cair yang bersuhu lebih tinggi melepaskan kalornya, sedangkan zat cair yang bersuhu lebih rendah menyerap kalor dari zat cair yang bersuhu tinggi sehingga pada akhirnya mencapai suhu kesetimbangan yang disebut dengan *setimbang termal*.

Menurut **Joseph Black** (1728 – 1799), jumlah kalor yang dilepas ( $Q_{\text{lepas}}$ ) sama dengan jumlah kalor yang diterima ( $Q_{\text{terima}}$ ). Secara matematis, pernyataan tersebut ditulis sebagai berikut.

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}} \quad (7-5)$$

$$(mc \Delta T)_{\text{lepas}} = (mc \Delta T)_{\text{terima}}$$

Selanjutnya, **Persamaan (7-5)** dikenal sebagai *asas Black*.

### Contoh 7.1

Sepotong aluminium bermassa 200 g dan bersuhu 20°C dimasukkan ke dalam 100 g air yang bersuhu 80°C. Dengan mengabaikan pertukaran kalor dengan lingkungan, hitung suhu akhir campuran jika kalor jenis aluminium 900 J/kg K dan kalor jenis air 4.200 J/kg K.

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } m_{\text{air}} &= 100 \text{ g}; & T_{\text{air}} &= 80^\circ\text{C}; & m_{\text{Al}} &= 200 \text{ g}; \\ T_{\text{Al}} &= 20^\circ\text{C}; & c_{\text{air}} &= 4.200 \text{ J/kg K}; & c_{\text{Al}} &= 900 \text{ J/kg K}; \\ Q_{\text{lepas}} &= Q_{\text{terima}} \end{aligned}$$

$$m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta T_1 = m_{\text{Al}} c_{\text{Al}} \Delta T_2$$

$$(100 \text{ g}) (4.200 \text{ J/kgK}) (80^\circ\text{C} - T) = (200 \text{ g}) (900 \text{ J/kgK}) (T - 20^\circ\text{C})$$

$$7(80 - T) = 3(T - 20^\circ\text{C})$$

$$10 T = 620^\circ\text{C}$$

$$T = 62^\circ\text{C}$$

Jadi, suhu akhir setelah terjadi kesetimbangan termal adalah 62°C.

### Contoh 7.2

Sebanyak 300 gram air dipanaskan dari 30°C menjadi 50°C. Jika massa jenis air adalah 1 kal/g°C atau 4.200 J/kgK, tentukan:

- banyaknya kalor yang diterima air tersebut (dalam kalori);
- banyaknya kalor yang diterima air tersebut (dalam joule).

**Jawab:**

$$\text{Diketahui: } m = 300 \text{ g}; \quad c = 1 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 50^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{a. } Q = mc \Delta T = (300 \text{ g}) (1 \text{ kal/g}^\circ\text{C}) (20^\circ\text{C}) = 6.000 \text{ kalori}$$

Jadi, banyaknya kalor yang diterima air tersebut adalah 6.000 kalori.

- Dari kesetaraan kalori dan joule diketahui bahwa

$$1 \text{ kalori} = 4,2 \text{ joule sehingga}$$

$$Q = 6.000 \times 4,2 \text{ joule} = 25.200 \text{ joule}$$

## 5. Perubahan Wujud Zat

Telah Anda pelajari, bahwa zat dapat berbentuk tiga wujud, yaitu padat, cair, dan gas. Akibat pengaruh suhu, wujud zat dapat berubah dari wujud padat menjadi cair dan dari cair menjadi gas, atau sebaliknya. Zat selalu menerima atau melepaskan kalor selama perubahan wujud berlangsung, tetapi tidak disertai dengan kenaikan atau penurunan suhu. Sebagai contoh, ketika es sedang mencair terjadi perubahan wujud dari padat menjadi cair. Pada peristiwa tersebut dibutuhkan sejumlah kalor, tetapi tidak disertai dengan kenaikan suhu.

Pelajari diagram pada **Gambar 7.2**. Perubahan wujud dari cair ke gas disebut *menguap*. Proses sebaliknya, dari gas ke cair disebut *mengembun*. Proses perubahan wujud dari padat ke gas disebut *menyublim*. Proses sebaliknya, dari gas ke padat disebut *menyublim*.

### a. Kalor Uap dan Kalor Embun

Jika Anda meneteskan spiritus pada kulit tangan, bagian kulit yang ditetesi spiritus akan terasa dingin. Hal tersebut disebabkan kalor pada bagian kulit tangan yang ditetesi spiritus diserap oleh spiritus untuk menguap. Banyaknya kalor yang diperlukan untuk menguapkan spiritus sebanding dengan massa spiritus dan bergantung pada kalor laten uap (kalor uap) spiritus tersebut.

*Kalor uap* adalah kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud 1 kg zat cair menjadi uap pada titik didihnya. Adapun *kalor embun* adalah kalor yang dilepas untuk mengubah wujud 1 kg uap menjadi cair pada titik leburnya. Kalor uap suatu zat sama besar dengan kalor embun zat tersebut. Misalnya, kalor uap raksa 272.000 J/kg, kalor embun raksa pun 272.000 J/kg.

Jika kalor uap (kalor embun) suatu zat adalah  $L$ , untuk menguapkan (mengembunkan) zat yang massanya  $m$  akan memerlukan kalor sebanyak

$$Q = mL_u \quad (7-6)$$

dengan  $L_u$  adalah kalor uap (J/kg).

**Tabel 7.2** memperlihatkan titik didih dan kalor uap berbagai zat pada tekanan 1 atmosfer. Pelajari tabel tersebut, zat manakah yang memiliki kalor uap terbesar?

**Tabel 7.2**

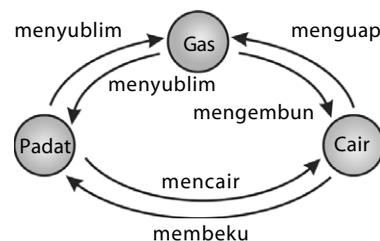
Titik Didih dan Kalor Uap Berbagai Zat Pada Tekanan 1 atm.

Zat	Titik didih (°C)	Kalor didih (J/kg)
Helium	-268,93	$209 \times 10^3$
Hidrogen	-252,89	$425 \times 10^3$
Nitrogen	-195,81	$201 \times 10^3$
Oksigen	-182,97	$213 \times 10^3$
Alkohol	78	$853 \times 10^3$
Raksa	357	$272 \times 10^3$
Air	100,00	$2.256 \times 10^3$
Sulfur	444,60	$326 \times 10^3$
Timah hitam	1.750	$871 \times 10^3$
Antimon	1.440	$561 \times 10^3$
Perak	2.193	$2.336 \times 10^3$
Emas	2.660	$1.578 \times 10^3$
Tembaga	1.187	$5.069 \times 10^3$

Sumber: Physics, 1980

## Tugas Anda 7.2

Seperempat kilogram es, dengan suhu  $-10^\circ\text{C}$ , dicampur dengan 2 kg air yang suhunya  $20^\circ\text{C}$ . Diskusikan dengan teman sebangku Anda, bagaimana fase akhir campuran tersebut dan berapakah suhu akhir campuran tersebut?



**Gambar 7.2**

Diagram perubahan wujud zat



## Pembahasan Soal

Sebanyak 320 gram campuran es dan air pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  berada dalam bejana yang kapasitas kalornya dapat diabaikan. Kemudian, dimasukkan 79g uap air yang bersuhu  $100^{\circ}\text{C}$  ke dalam bejana tersebut. Suhu akhir menjadi  $79^{\circ}\text{C}$ . Jika kalor lebur es  $79,0 \text{ kal/g}$  dan kalor penguapan air  $540 \text{ kal/g}$ , maka banyaknya air mula-mula adalah ... gram.

- a. 4                      d. 65  
b. 10                     e. 79  
c. 35

SPMB, 2002

### Pembahasan

Diketahui:

$$m_{\text{es+air}} = 320 \text{ gram}, T = 0^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{uap}} = 79 \text{ gram}, T = 100^{\circ}\text{C}$$

Kalor lebur es,  $L = 79,0 \text{ kal/gram}$

Kalor penguapan air,  $L = 540 \text{ kal/gram}$

$$T_{\text{akhir}} = 79^{\circ}\text{C}$$

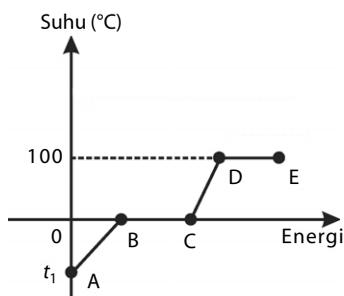
Kalor yang di lepas uap air ( $100^{\circ}\text{C}$ )

$$\begin{aligned} Q_{\text{lepas}} &= m_{\text{uap}} L + m_{\text{uap}} c \Delta T \\ &= (79) (540) + (79) (1) (100 - 79) \\ &= 79 (561) \text{ kalori} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{terima}} &= m_{\text{es}} L + m_{\text{es}} c \Delta T + m_{\text{air}} c \Delta T \\ &= (320 - m_{\text{air}}) 79 + (320 - m_{\text{air}}) (1) \\ &\quad (79 - 0) + m_{\text{air}} (1) (79 - 0) \\ &= (640 - m_{\text{air}}) 79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asas black: } Q_{\text{lepas}} &= Q_{\text{terima}} \\ 79 (561) &= (640 - m_{\text{air}}) 79 \\ m_{\text{air}} &= 79 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jawaban : E



Gambar 7.3

Pemanasan es pada tekanan 1 atmosfer.

## b. Kalor Lebur dan Kalor Beku

Sebongkah es dipanaskan pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan tekanan udara 1 atmosfer, es mulai mencair. Pada saat es mencair dibutuhkan kalor. Suhu ketika es mencair disebut titik lebur. Sebaliknya, jika air tersebut Anda dinginkan, air itu akan membeku. Peristiwa pembekuan ini disertai dengan pelepasan kalor. Suhu ketika air membeku disebut titik beku. Banyaknya kalor yang dibutuhkan atau dilepaskan oleh suatu zat untuk mencair pada titik leburnya atau membeku pada titik leburnya sebanding dengan massa zat itu dan bergantung pada kalor lebur (beku) zat tersebut.

Kalor lebur adalah kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud 1 kg zat padat menjadi cair pada titik leburnya. Adapun kalor beku adalah kalor yang dilepaskan untuk mengubah wujud 1 kg zat cair menjadi padat. Kalor lebur suatu zat sama besar dengan kalor beku zat tersebut.

Jika kalor lebur (kalor beku) suatu zat adalah  $L$ , untuk melebur (membeku) zat yang massanya  $m$  pada titik lebur (titik beku) akan memerlukan kalor sebanyak:

$$Q = mL_b \quad (7-7)$$

Tabel 7.3 menunjukkan titik lebur dan kalor lebur berbagai zat pada tekanan 1 atmosfer. Pelajari tabel tersebut, zat manakah yang memiliki titik lebur terendah?

Tabel 7.3

Titik Lebur dan Kalor Lebur Berbagai Zat pada Tekanan 1 atm.

Zat	Titik Lebur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kalor Lebur ( $\text{J/kg}$ )
Helium	-269,65	$5,23 \times 10^3$
Hidrogen	-259,31	$58,6 \times 10^3$
Nitrogen	-209,97	$25,5 \times 10^3$
Oksigen	218,79	$13,8 \times 10^3$
Alkohol	-114	$104,2 \times 10^3$
Raksa	-39	$11,8 \times 10^3$
Air	0,00	$334 \times 10^3$
Sulfur	119	$38,1 \times 10^3$
Timah hitam	327,3	$24,5 \times 10^3$
Antimon	630,50	$165 \times 10^3$
Perak	960,80	$88,3 \times 10^3$
Emas	1.063	$64,5 \times 10^3$
Tembaga	1.083	$134 \times 10^3$

Sumber: Physics for Scientist & Engineer, (2000).

## c. Perubahan Wujud Es Menjadi Uap

Jika sejumlah massa es yang suhunya di bawah  $0^{\circ}\text{C}$  dipanaskan (diberikan kalor) hingga suhunya di atas  $100^{\circ}\text{C}$ , sejumlah massa es tersebut berubah wujud seluruhnya menjadi uap. Perubahan wujud es menjadi uap dapat diamati pada Gambar 7.3.

Keterangan:

A-B : Sejumlah kalor diberikan kepada es sehingga suhu es naik dari  $-t_1^{\circ}\text{C}$  menjadi  $0^{\circ}\text{C}$ . Seluruh massa masih berbentuk zat padat yaitu es.

B-C : Sejumlah kalor diberikan untuk mengubah wujud zat sehingga es menjadi air dengan suhu tetap, yaitu  $0^{\circ}\text{C}$ .

C-D : Sejumlah kalor diberikan untuk menaikkan suhu dari  $0^{\circ}\text{C}$  hingga air mendidih pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Seluruh massa masih berbentuk wujud zat cair, yaitu air.

D–E : Sejumlah kalor diberikan untuk mengubah wujud zat sehingga zat cair yang mendidih berubah menjadi uap pada suhu tetap, yaitu 100°C.

### Contoh 7.3

Di dalam sebuah bejana terdapat 0,5 kg air bersuhu 30°C. Ke dalam bejana tersebut dimasukkan sepotong es bersuhu –20°C sebanyak 0,4 kg. Diketahui kalor lebur es  $3,36 \times 10^5$  J/kg. Jika pertukaran kalor hanya terjadi antara air dan es, tentukan suhu akhir kesetimbangan termal.

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } m_{\text{air}} &= 0,5 \text{ kg}; & L &= 3,36 \times 10^5 \text{ J/kg}; & T_{\text{air}} &= 30^\circ\text{C} \\ c_{\text{air}} &= 4.200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}; & T_{\text{es}} &= -20^\circ\text{C}; & c_{\text{es}} &= 2.100 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Misalkan,  $Q_3$  adalah kalor yang dilepaskan air dari 30°C sampai 0°C.

$$\begin{aligned} Q_3 &= m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta T = (0,5 \text{ kg}) (4.200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) (30^\circ\text{C}) \\ &= 6.300 \text{ joule} \end{aligned}$$

$Q_1$  adalah kalor yang dibutuhkan untuk mengubah es bersuhu –20°C menjadi es bersuhu 0°C.

$$\begin{aligned} Q_1 &= m_{\text{es}} c_{\text{es}} \Delta T = (0,4 \text{ kg}) (2.100 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) (0 - (-20)) \\ &= 16.800 \text{ J} \end{aligned}$$

$Q_2$  adalah kalor yang diserap es untuk melebur

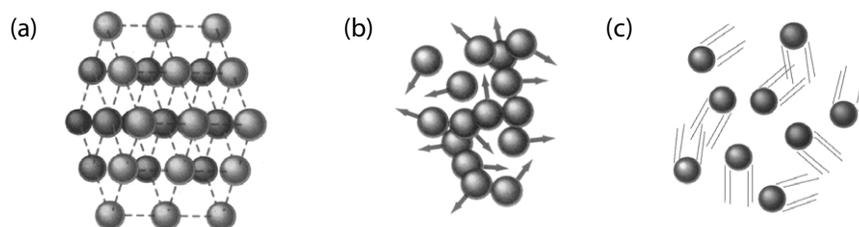
$$\begin{aligned} Q_2 &= m_{\text{es}} L_{\text{es}} = (0,4 \text{ kg}) (3,36 \times 10^5 \text{ J/kg}) \\ &= 134.400 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor yang diserap es} &= Q_1 + Q_2 = 16.800 \text{ J} + 134.400 \text{ J} \\ &= 151.200 \text{ J} \end{aligned}$$

Ternyata, kalor yang diserap es lebih besar daripada kalor yang dilepaskan air. Berarti, kalor yang dibutuhkan es untuk mencair lebih besar daripada kalor yang dilepaskan air sampai 0°C. Jadi, hanya sebagian es yang mencair dan suhu kesetimbangan termal adalah 0°C.

## 4. Pemuaian Zat

Suatu benda baik padat, cair, maupun gas terdiri atas partikel-partikel sangat kecil yang selalu bergetar disebut molekul. Jarak antarmolekul zat padat sangat berdekatan. Pada zat cair, jarak antarmolekulnya agak renggang, sedangkan pada gas jarak antarmolekulnya sangat renggang. Perhatikan Gambar 7.4.



**Gambar 7.4**  
Partikel-partikel pada  
(a) zat padat  
(b) cair  
(c) gas.

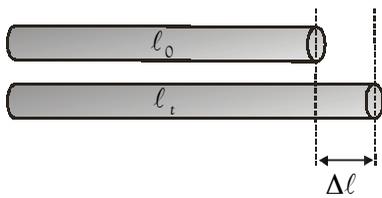
Jika suatu benda dipanaskan, molekul-molekul itu bergetar semakin cepat. Getaran antarmolekul tersebut menyebabkan molekul-molekul saling dorong.

### a. Pemuaian Zat Padat

Pemuaian pada zat padat dapat diamati melalui perubahan panjang, luas, dan volume.

#### 1) Pemuaian panjang

Seutas kawat logam yang panjangnya  $\ell_0$  dan bersuhu  $T_0$  dipanaskan sampai suhu  $T$  maka kawat logam itu akan memuai sehingga panjangnya menjadi  $\ell$ .



**Gambar 7.5**  
Pemuai panjang pada kawat logam.

Perhatikan **Gambar 7.5**.

$$\Delta l = l - l_0 \quad (7-8)$$

Pertambahan panjang kawat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T \quad (7-9)$$

Pada **Persamaan (7-9)** tersebut,  $\alpha$  adalah koefisien muai panjang. Dari **Persamaan (7-8)** dan **Persamaan (7-9)**, diperoleh

$$l - l_0 = \alpha l_0 \Delta T$$

$$l = l_0 + \alpha l_0 \Delta T$$

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta T) \text{ atau } l = l_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \quad (7-10)$$

Agar Anda lebih memahami pemuai panjang lakukanlah kegiatan berikut.



### Informasi untuk Anda

Di toko peralatan elektronik yang menjual kabel (penghubung), terdapat berbagai jenis merek dagang. Untuk memperoleh kabel yang baik dapat dilakukan percobaan seperti pada **Aktivitas 7.1** untuk membandingkan sifat termal antara merek yang satu dan yang lainnya.

Kabel penghubung yang baik sebagai konduktor adalah kabel yang menghantarkan listrik secara baik sekalipun pada suhu yang tinggi. Ini artinya bahwa koefisien muai panjangnya relatif kecil nilainya. Dengan demikian, Anda dapat memilih untuk menggunakan kabel berdasarkan kualitasnya.

#### Information for You

*In wire selling market, there is a various kind of trade mark. To obtain wire we can do an activities as in **Physics Activity 7.1** to compare thermal properties between one trademark to others.*

*Good wire as a conductor is a wire that conducting electricity good enough even in high temperature. Its mean that the linear expansion coefficient relatively small. By that, you can choose to use wire according to its quality.*



### Aktivitas Fisika 7.1

#### Pemuai Panjang

##### Tujuan Percobaan

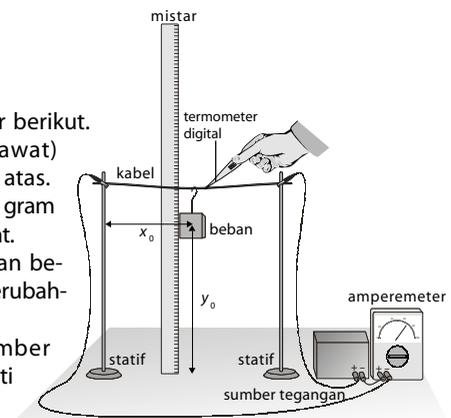
Menentukan koefisien muai panjang suatu kabel konduktor

##### Alat-Alat Percobaan

1. Kabel (bahan uji: kawat tembaga dan kawat besi) diameter 1,5 mm
2. Statif
3. Beban (massa 5–50 gram)
4. Mistar tegak (100 cm)
5. Amperemeter digital
6. Termometer digital

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susun alat seperti pada gambar berikut.
2. Ikatkan kedua ujung kabel (kawat) pada batang peyangga bagian atas.
3. Gantungkan beban bermassa 50 gram pada kawat, tepat di tengah kawat.
4. Tempatkan mistar sejajar dengan beban untuk mengetahui besar perubahan yang dapat terjadi.
5. Hubungkan amperemeter, sumber tegangan dan termometer seperti pada gambar.
6. Catat awal  $l_0$  dan  $T_0$  kabel dan posisi beban  $x_0$  dan  $y_0$ .
7. Catat perubahan yang terjadi pada kawat  $x$ ,  $y$ , dan  $T$  setiap perubahan tegangan yang dinaikkan.
8. Gunakan perhitungan metode grafik untuk menentukan koefisien muai panjangnya.
9. Bandingkan koefisien muai panjang antara kedua kawat tersebut, apakah sama untuk kedua bahan kawat tersebut? Menurut Anda, mengapa koefisiennya berbeda/sama?
10. Apa kesimpulan yang Anda peroleh dari percobaan tersebut?



Berdasarkan **Aktivitas Fisika 7.1** di atas, berapa koefisien muai panjang kawat tembaga? Bandingkan hasilnya dengan **Tabel 7.4** berikut ini yang memuat koefisien muai panjang beberapa bahan pada suhu 20°C.

**Tabel 7.4**

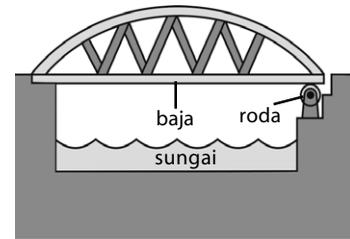
Koefisien Muai Panjang Berbagai Zat pada Suhu 20°C

Zat	Koefisien Muai Panjang $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Aluminium	$2,5 \times 10^{-5}$
Kuningan dan perunggu	$1,9 \times 10^{-6}$
Beton dan batu	$\approx 1,2 \times 10^{-5}$
Kaca (biasa)	$9 \times 10^{-6}$
Kaca (pyrex)	$3 \times 10^{-6}$
Timah	$2,9 \times 10^{-5}$
Besi	$1,1 \times 10^{-5}$
Kwarsa	$0,4 \times 10^{-6}$
Baja	$1,2 \times 10^{-5}$
Marmar	$1,4 \times 10^{-6} - 3,6 \times 10^{-6}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-5}$

Sumber: Physics, 1980

Kebutuhan pengetahuan mengenai koefisien muai panjang suatu bahan adalah untuk memperhitungkan penggunaan bahan tersebut. Misalnya, pemilihan bahan dan ukuran yang digunakan untuk konstruksi jembatan.

Pada salah satu ujung konstruksi jembatan modern, diberikan roda baja yang dapat berputar bebas. Ketika jembatan memuai akibat panas, dasar jembatan dapat menggerakkan roda baja tersebut. Pada ujung yang lain juga diberikan celah yang memungkinkan dasar jembatan dapat bergerak.



**Gambar 7.6**

Pada salah satu ujung jembatan ini, dipasang roda dan diberi celah untuk memberi ruangan ketika jembatan memuai.

### Contoh 7.4

Pada suhu 20°C, panjang kawat besi adalah 20 m. Berapakah panjang kawat besi tersebut pada suhu 100°C jika koefisien muai panjang besi  $1,1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ?

**Jawab:**

Diketahui:  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $T = 100^{\circ}\text{C}$ ;  $L_0 = 20$  m.

$$\alpha = 1,1 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L = L_0[1 + \alpha (T - T_0)]$$

$$L = (20 \text{ m})[1 + (1,1 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C})(100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})] = 20,0176 \text{ m}$$

Jadi, panjang kawat besi tersebut pada suhu 100°C adalah 20,0176 m.

### 2) Pemuai Luas

Sekeping logam yang panjangnya  $x$  dan lebarnya  $y$  akan mengalami muai luas jika dipanaskan. Pemuai luas suatu zat bergantung kepada koefisien muai luas yang diberi lambang  $\beta$ . Muai luas terbentuk dari dua pemuai, yaitu pertambahan panjang dan pertambahan lebar. Akibatnya, besar koefisien muai luas ( $\beta$ ) sama dengan dua kali koefisien muai panjang, yaitu

$$\beta = 2\alpha \quad (7-11)$$

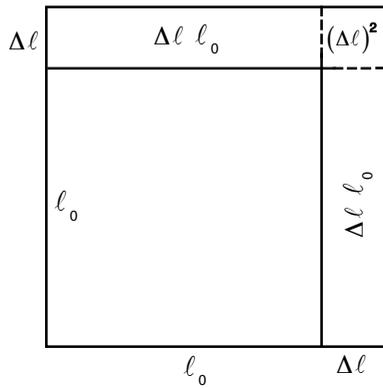
Jika sekeping logam yang luasnya  $A_0$  dan suhunya  $T_0$  dipanaskan sampai suhu  $T$ , logam tersebut akan memuai sehingga luasnya menjadi  $A$ . Besarnya pertambahan luas keping logam  $\Delta A$  tersebut dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

Misalnya, luas persegi.

$$A = \ell_0^2$$

$$\Delta \ell = \alpha \ell_0 \Delta T$$

$$\Delta A = 2 \ell_0 \Delta \ell$$



**Gambar 7.7**

Pemuaian luas pada keping logam.

$$\Delta A = 2\alpha \ell_0^2 \Delta T$$

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T \quad (7-12)$$

Dengan memasukkan harga  $\Delta A = A - A_0$  maka **Persamaan (7-12)** menjadi

$$A - A_0 = \beta A_0 \Delta T$$

$$A = A_0 (1 + \beta \Delta T) \text{ atau } A = A_0 [1 + \beta (T - T_0)] \quad (7-13)$$

### Contoh 7.5

Sekeping aluminium dengan panjang 40 cm dan lebar 30 cm dipanaskan dari 40°C sampai 140°C. Jika koefisien muai panjang aluminium tersebut ( $\alpha$ ) adalah  $2,5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , tentukan luas keping aluminium setelah dipanaskan.

**Jawab:**

Diketahui:

$$A_0 = 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 1.200 \text{ cm}^2$$

$$\beta = 2\alpha = 2(2,5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}) = 5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 140^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C} \text{ maka}$$

$$A = A_0 (1 + \beta \Delta T)$$

$$A = 1.200 \text{ cm}^2 [1 + (5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C})] = 1.206 \text{ cm}^2$$

Jadi, luas keping aluminium setelah dipanaskan adalah 1.206 cm<sup>2</sup>.

### 3) Pemuaian Volume

Pemuaian volume benda bergantung kepada koefisien muai volume yang diberi lambang  $\gamma$ . Pemuaian volume terbentuk dari tiga pemuaian, yaitu pertambahan panjang, pertambahan lebar, dan pertambahan tinggi. Akibatnya, besar koefisien muai volume ( $\gamma$ ) sama dengan tiga kali koefisien muai panjang, yaitu

$$\gamma = 3\alpha \quad (7-14)$$

Jika sebuah benda berbentuk balok yang volumenya  $V_0$  dan suhunya  $T_0$  dipanaskan sampai suhu  $t$ , benda tersebut akan memuai sehingga volumenya menjadi  $V$ .

Besarnya pertambahan volume benda berbentuk ruang dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut.

$$V = \ell_0^3$$

Misalnya, volume kubus.

$$\Delta \ell = \alpha \ell_0 \Delta T$$

$$\Delta V = 3\ell_0^2 \Delta \ell$$

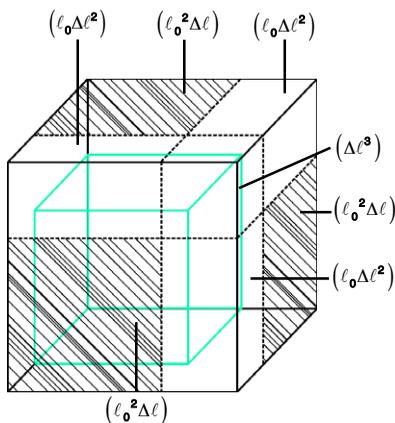
$$\Delta V = 3\alpha \ell_0^3 \Delta T \quad (7-15)$$

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

Dengan memasukkan harga  $\Delta V = V - V_0$  maka **Persamaan (7-15)** menjadi

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

$$V = V_0 (1 + \gamma \Delta T) \text{ atau } V = V_0 [1 + \gamma (T - T_0)] \quad (7-16)$$



**Gambar 7.8**

Pemuaian volume pada benda berbentuk balok.

## Contoh 7.6

Sebuah besi bervolume  $1 \text{ m}^3$  dipanaskan dari  $0^\circ\text{C}$  sampai  $1.000^\circ\text{C}$ . Jika massa jenis besi pada suhu  $0^\circ\text{C}$  adalah  $7.200 \text{ kg/m}^3$  dan koefisien muai panjangnya  $1,1 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$ , hitunglah massa jenis besi pada suhu  $1.000^\circ\text{C}$ .

**Jawab:**

Diketahui:

$$V_0 = 1 \text{ m}^3; \quad \rho = 7.200 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = 3\alpha = 3(1,1 \times 10^{-5}) = 3,3 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}; \quad \Delta T = 1.000^\circ\text{C}$$

Volume besi setelah dipanaskan adalah

$$\begin{aligned} V &= V_0(1 + \gamma\Delta T) \\ &= 1 \text{ m}^3[1 + (3,3 \times 10^{-5} /^\circ\text{C})(1.000^\circ\text{C})] \\ &= 1,033 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Setelah dipanaskan, volume benda berubah tetapi massanya tetap.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{V} = \frac{7.200 \text{ kg}}{1,033 \text{ m}^3} \\ &= 6.969,99 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, massa jenis besi menjadi  $6.969,99 \text{ kg/m}^3$ .

### b. Pemuai Zat Cair

Pada umumnya, pemuai zat cair hanya dapat diamati melalui perubahan volumenya. Jika sebuah bejana gelas yang berisi air hampir penuh dipanaskan, setelah kenaikan suhu, air akan tumpah. Peristiwa tersebut dapat diterangkan sebagai berikut.

Ruang gerak partikel pada zat cair lebih besar daripada ruang gerak partikel pada zat padat. Jika kedua zat itu mengalami pemanasan secara bersamaan, partikel pada zat cair lebih leluasa bergerak dibandingkan dengan partikel zat padat. Oleh karena itu, volume air lebih cepat bertambah daripada volume bejana gelas sehingga air akan tumpah. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa koefisien muai volume zat cair lebih besar daripada koefisien muai volume zat padat.

### c. Anomali Air

Telah Anda ketahui bahwa jika zat padat, zat cair, dan gas dipanaskan, zat-zat tersebut akan memuai seiring dengan kenaikan suhu. Pada pemanasan air, ada hal menarik yang dapat diamati. Misalkan, Anda memanaskan air bersuhu  $0^\circ\text{C}$  sebanyak  $1,0002 \text{ cm}^3$ . Di antara suhu  $0^\circ\text{C}$  dan  $4^\circ\text{C}$ , volume air akan menyusut, tetapi massanya tetap sehingga massa jenisnya naik. Jika pemanasan diteruskan sampai di atas  $4^\circ\text{C}$ , volume air akan memuai seperti zat-zat yang lain. Sifat pemuai air yang tidak teratur ini disebut *anomali air*, seperti diperlihatkan grafik pada **Gambar 7.9**.

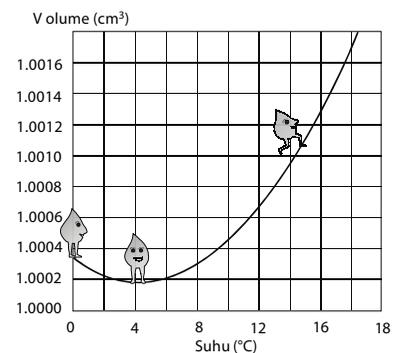
Dari grafik tersebut, tampak bahwa dari  $0^\circ\text{C}$  sampai  $4^\circ\text{C}$  volume air terus menyusut sampai kurang dari  $1,0000 \text{ cm}^3$ . Kemudian, di atas suhu  $4^\circ\text{C}$  volume air memuai.

Untuk massa yang sama, pada suhu  $0^\circ\text{C}$  volume es lebih besar daripada volume air. Berarti, massa jenis es lebih kecil daripada massa jenis air karena massa jenis berbanding terbalik dengan volume

( $\rho = \frac{m}{V}$ ). Itulah sebabnya, bongkahan es dapat mengapung di atas air.

## Kata Kunci

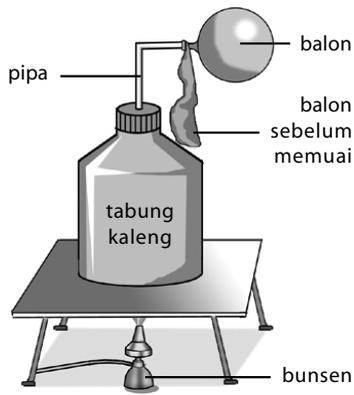
- kalor
- energi
- kalor jenis
- kapasitas kalor
- hukum kekekalan energi untuk kalor
- titik didih
- kalor uap
- kalor embun
- kalor lebur
- kalor beku
- koefisien muai panjang
- koefisien muai volume
- koefisien muai luas



Sumber: Physics, 1980

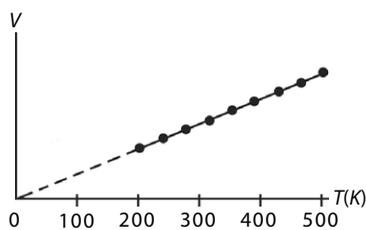
**Gambar 7.9**

Grafik peristiwa anomali air



**Gambar 7.10**

Gas dipanaskan pada tekanan tetap



**Gambar 7.11**

Volume gas sebagai fungsi dari suhu pada pemanasan gas dengan tekanan tetap.

#### d. Pemuai Gas

Pada 1787, **Jacques Charles** melakukan percobaan yang menunjukkan bahwa semua gas memuai dengan koefisien muai yang sama yaitu sebesar  $\frac{1}{273^\circ\text{C}}$ . Menurutnya, jika semua gas dipanaskan, volume dan tekanannya berubah.

##### 1) Pemuai gas pada tekanan tetap

Perhatikan **Gambar 7.10**. Sebuah tabung kaleng, tutupnya diberi pipa kecil yang ujungnya dipasang balon kempes. Jika tabung tersebut dipanaskan, suhu gas yang berada di dalam tabung akan naik. Pada keadaan itu, partikel gas bergerak saling berdesakan ke segala arah dan masuk ke dalam balon melalui pipa sehingga balon membesar. Peristiwa tersebut menunjukkan telah terjadi pemuai gas di dalam tabung pada tekanan tetap (sama dengan tekanan udara di luar tabung).

Grafik suhu terhadap volume pada proses pemanasan gas dengan tekanan tetap tampak pada **Gambar 7.11**.

Dari gambar tersebut, tampak bahwa jika tekanan gas tetap, volume gas berbanding lurus dengan suhunya. Selanjutnya, pernyataan ini disebut Hukum Charles.

Secara matematis hukum ini ditulis:

$$V = CT$$

$$\frac{V}{T} = C \text{ atau } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

(7-17)

Keterangan:

$V_1$  = volume awal ( $\text{m}^3$ )

$V_2$  = volume gas setelah dipanaskan ( $\text{m}^3$ )

$T_1$  = suhu awal (K)

$T_2$  = suhu gas setelah dipanaskan (K)

Besarnya pertambahan volume gas saat dipanaskan memenuhi persamaan yang sama dengan besarnya pertambahan volume zat padat, yaitu

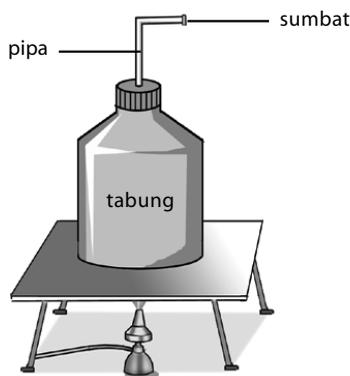
$$V_t = V_0(1 + \gamma\Delta T)$$

(7-14)

Oleh karena  $\Delta T = T$  dan  $\gamma = \frac{1}{273}$  maka

$$V_t = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} \Delta T \right)$$

(7-15)



**Gambar 7.12**

Gas dipanaskan pada volume tetap

##### 2) Pemanasan gas pada volume tetap

Perhatikan **Gambar 7.12**. Pada bagian ujung pipa ditutup rapat dengan sumbat paralon. Jika tabung pada **Gambar 7.12** dipanaskan, volume gas tetap. Akibatnya, tekanan gas bertambah besar. Jadi, pada pemanasan ini volume gas tetap, sedangkan tekanannya berubah.

Anda dapat mengetahui hubungan antara kenaikan suhu dan tekanan pada pemanasan gas pada volume tetap dengan melakukan percobaan berikut.



## Aktivitas Fisika 7.2

### Hubungan Suhu dan Tekanan

#### Tujuan Percobaan

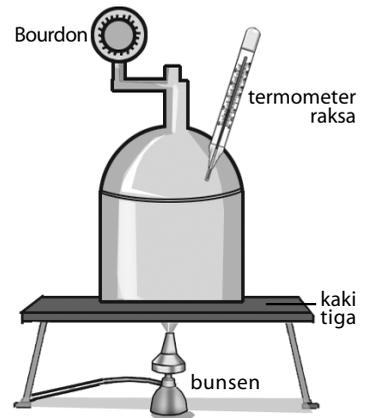
Mengetahui hubungan antara kenaikan suhu dan tekanan.

#### Alat-Alat Percobaan

Alat ukur Bourdon, termometer raksa, tabung gas, pembakar bunsen, dan kaki tiga.

#### Langkah-Langkah Percobaan

1. Rancanglah peralatan tersebut seperti pada **Gambar 7.13**. Pastikan tidak ada kebocoran gas dalam tabung.
2. Setelah terjadi kesetimbangan termal antara termometer dan gas dalam tabung, catat suhu awal gas (terlihat pada termometer) dan tekanan udara (terlihat pada alat Bourdon).
3. Panaskan tabung dengan pembakar bunsen. Catat kenaikan suhu udara dan tekanan udara dalam tabung pada suatu tabel.
4. Dari tabel tersebut, buatlah grafik suhu terhadap tekanan gas.
5. Buatlah kesimpulan dari kegiatan ini.



**Gambar 7.13**

Perangkat percobaan untuk mengetahui hubungan antara kenaikan suhu dan tekanan.

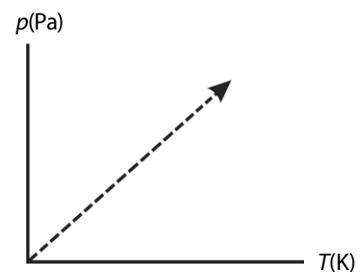
Percobaan serupa dengan kegiatan tersebut pernah dilakukan para ahli Fisika. Dari hasil percobaan yang mereka lakukan, diperoleh grafik tekanan gas terhadap suhu pada volume tetap berbentuk garis lurus lihat kembali **Gambar 7.14**.

Secara matematika, garis ini memenuhi persamaan:

$$p = CT$$

$$\frac{p}{T} = C \text{ atau } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

(7-20)



**Gambar 7.14**

Grafik tekanan terhadap suhu

Keterangan:

$p$  = tekanan gas (atm)

$T$  = suhu gas (K)

$C$  = konstanta

Dari persamaan  $p = CT$  diketahui bahwa tekanan gas berbanding lurus dengan suhunya pada volume tetap. Selanjutnya, pernyataan tersebut disebut Hukum Gay-Lussac.

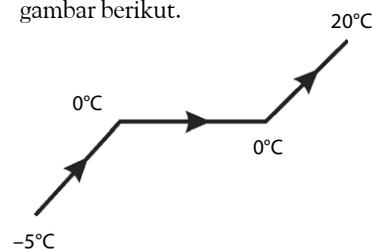
### Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Hitung banyak kalor yang diperlukan untuk mengubah:
  - a. 1 kg es dari  $0^\circ\text{C}$  menjadi air  $50^\circ\text{C}$
  - b. 50 g es dari  $0^\circ\text{C}$  menjadi uap  $120^\circ\text{C}$
2. Sebuah gelas berisi 500 g air pada  $80^\circ\text{C}$ . Berapa gram es yang suhunya  $-20^\circ\text{C}$  harus dicampur ke dalam air sehingga suhu akhir campuran es dan air menjadi  $30^\circ\text{C}$ ? (diketahui: kalor jenis air  $4.200 \text{ J/kg K}$ ). Abaikan pertukaran kalor dengan gelas.
3. Pada bejana yang berisi 200 g air bersuhu  $20^\circ\text{C}$  dimasukkan es balok yang massanya 200 g bersuhu  $-4^\circ\text{C}$ . Hitunglah suhu akhir campuran dan massa es yang melebur.
4. Ketinggian air terjun diketahui 84 m. Jika seluruh energi mekanik diubah menjadi energi kalor, kalor jenis air  $4.200 \text{ J/kg K}$ , dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah kenaikan suhu air terjun setelah jatuh.

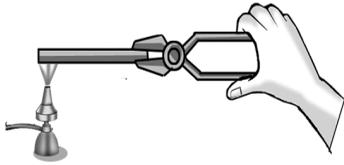
Petunjuk: gunakan persamaan energi potensial = energi kalor untuk menaikkan suhu.

5. Berapa banyaknya kalor yang diperlukan untuk mengubah es ( $-5^\circ\text{C}$ ) yang massanya 400 gram menjadi air ( $20^\circ\text{C}$ ), jika kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$ , kalor jenis air  $1 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$  dan kalor lebur es  $80 \text{ kal/g}$ ? Perhatikan gambar berikut.



## B. Perpindahan Kalor

Jika ingin memasak air, diperlukan kalor yang berasal dari api kompor. Pada pemanasan sepanci air, mula-mula, kalor dari api kompor berpindah ke panci tempat air, kemudian kalor dari panci tersebut berpindah ke air.



**Gambar 7.15**

Contoh perpindahan kalor secara konduksi.

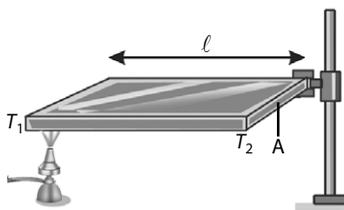
Perpindahan kalor terjadi dari benda bersuhu tinggi (panas) ke benda bersuhu lebih rendah (dingin). Benda yang panas memberikan kalor kepada benda yang dingin. Seandainya kalor tidak dapat berpindah, akan sulit untuk memasak air sebab kalor dari api kompor tidak dapat berpindah ke air.

Ada tiga bentuk perpindahan kalor, yaitu: *konduksi* (hantaran), *konveksi* (aliran), dan *radiasi* (pancaran).

### 1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Misalkan Anda memanaskan salah satu ujung batang logam seperti **Gambar 7.15**. Tentunya, partikel-partikel pada ujung logam yang dipanasi bergetar lebih cepat. Semakin besar jumlah kalor yang diberikan kepada ujung logam itu, semakin cepat getaran partikelnya. Sebagian energi kinetik yang dimiliki partikel yang bergetar tersebut diberikan kepada partikel-partikel di dekatnya melalui tumbukan. Akibatnya, partikel-partikel yang ditumbuk itu ikut bergetar, demikian seterusnya hingga getaran partikel sampai ke ujung logam yang tidak dipanasi.

Perambatan getaran partikel tersebut disertai dengan perambatan kalor dari ujung logam yang dipanasi sampai ke ujung logam yang tidak dipanasi. Akibatnya, ujung logam yang tidak dipanasi menjadi panas. Rambat kalor ini tidak disertai dengan perpindahan partikel-partikel logam. *Perpindahan kalor melalui zat perantara (logam) dengan tidak disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut secara permanen disebut hantaran atau konduksi.*



**Gambar 7.16**

Hantaran kalor

**Gambar 7.16** memperlihatkan sebatang logam dengan luas penampang  $A$  dan panjang batang  $\ell$  dipanaskan salah satu ujungnya. Pada peristiwa tersebut, kalor akan merambat ke ujung sebelah kanan yang suhunya lebih rendah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa perpindahan kalor secara konduksi bergantung pada jenis logam, luas penampang penghantar kalor, perbedaan suhu dari ujung-ujung logam tempat kalor merambat, serta panjang jalan yang dilalui oleh kalor. Perpindahan kalor setiap satuan waktu dirumuskan sebagai berikut.

$$H = k A \frac{T_2 - T_1}{\ell} \quad (7-30)$$

$$H = kA \frac{\Delta T}{\ell} \quad (7-31)$$

Keterangan:

$H$  = kalor yang merambat persatuan waktu (J/s atau watt)

$k$  = koefisien konduksi termal zat (J/msK atau W/mK)

$A$  = luas penampang batang ( $m^2$ )

$\ell$  = panjang batang (m)

Tabel 7.5 dan Tabel 7.6 memperlihatkan koefisien konduksi termal zat bukan logam dan logam.

**Tabel 7.5**

Koefisien Konduksi Termal Zat Bukan Logam Rata-Rata

Nama Bahan	$k$ (J/ms <sup>°C</sup> )
Es	1,6
Bata merah	0,6
Beton	0,8
Kaca	0,8
Kayu kering	0,12
Gabus	0,04
Styrofoam	0,01
Kain tebal	0,04
Udara	0,024

Sumber: Fisika Universitas, 2002

**Tabel 7.6**

Koefisien Konduksi Termal Logam Rata-Rata

Nama Bahan	$k$ (J/ms <sup>°C</sup> )
Perak	406
Tembaga	385
Aluminium	205
Kuningan	109
Timbal	34,7
Baja	50,2
Raksa	8,3

Sumber: Fisika Universitas, 2002

## 2. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Pada saat Anda memanaskan air di dalam panci, kalor akan berpindah dari dasar panci ke permukaan air secara konveksi. Perpindahan kalor secara konveksi disertai gerakan massa atau gerakan partikel-partikel zat perantaranya. Konveksi hanya terjadi pada zat yang dapat mengalir (fluida).

Ada dua cara perpindahan kalor melalui hantaran (konveksi), yaitu konveksi secara alamiah dan konveksi paksa.

### a. Konveksi Alamiah

Misalkan, Anda memanaskan sepenci air seperti pada Gambar 7.17. Setelah air di bagian bawah panci menerima kalor, air tersebut akan memuai sehingga massa jenisnya lebih kecil daripada massa jenis air di bagian atas. Perbedaan massa jenis tersebut mengakibatkan partikel-partikel air yang bermassa jenis lebih kecil akan bergerak ke atas.

Tempat yang ditinggalkan partikel air yang bermassa jenis lebih kecil akan terisi oleh partikel air yang bermassa jenis lebih besar. Peristiwa tersebut berlangsung terus-menerus sehingga partikel-partikel air dalam panci berputar naik dan turun. Aliran-aliran partikel yang bergerak tersebut disertai dengan perpindahan kalor. Perpindahan kalor dengan mengalirkan partikel-partikel air seperti ini disebut *konveksi alamiah*.

Konveksi alamiah banyak dijumpai di pabrik-pabrik yang menggunakan cerobong asap. Gas hasil pembakaran memiliki massa jenis lebih kecil daripada massa jenis udara di sekitarnya. Akibatnya, gas hasil pembakaran akan mengalir ke atas. Tempat yang ditinggalkan oleh gas hasil pembakaran akan diisi oleh udara sekitar yang memiliki massa jenis lebih besar daripada massa jenis gas hasil pembakaran.

Angin laut dan angin darat terjadi berdasarkan konveksi alamiah udara. Angin laut dan angin darat yang dimanfaatkan nelayan untuk berlayar, terjadi melalui konveksi alamiah udara, di mana panas dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain dengan pergerakan partikel yang



## Tantangan untuk Anda

Berapa kalor yang diperlukan untuk mengubah 500 g es dari  $-10^{\circ}\text{C}$  menjadi uap bersuhu  $120^{\circ}\text{C}$  (kalor lebur, dan kalor uap dapat dilihat pada Tabel 7.2 dan Tabel 7.3).



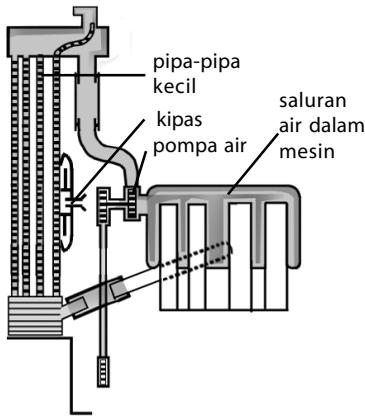
**Gambar 7.17**  
Peristiwa konveksi alamiah

dipindahkan. Pada siang hari, daratan lebih cepat panas daripada laut sehingga udara panas di atas daratan naik dan tempatnya digantikan udara dingin dari atas laut, ini yang disebut angin laut. Pada malam hari, terjadi sebaliknya. Daratan lebih cepat dingin daripada laut sehingga udara di atas laut naik dan tempatnya digantikan oleh udara dari atas daratan yang disebut angin darat.

### b. Konveksi Paksa

Konveksi paksa banyak digunakan pada sistem pendingin mesin, misalnya pada mesin mobil, mesin kapal laut, mesin diesel stasioner, dan kipas angin.

Konveksi paksa seperti pada **Gambar 7.18** dipakai dalam sistem pendingin mesin mobil. Air mengalir di sekitar ruang mesin melalui pipa-pipa dibantu oleh sebuah pompa air (*water pump*). Kalor yang diterima mesin mobil dari hasil proses pembakaran mencapai suhu  $1.600^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu ini memungkinkan mesin mobil memuai melebihi batas keamanan dan mengakibatkan bagian-bagian mesin mobil menjadi lemah. Kerusakan pertama yang sering dijumpai adalah pada kop silinder mesin menjadi melengkung. Pengaruh berikutnya viskositas minyak pelumas menjadi rendah (*encer*).



**Gambar 7.18**

Sistem peredaran pendingin air pada mobil.

Panas pada mesin mobil berpindah oleh sirkulasi air menuju ke radiator. Udara dingin dari luar mesin ditarik oleh sebuah kipas untuk mendinginkan air pada radiator sehingga air yang dingin ini kembali mengalir dan bersentuhan dengan blok-blok mesin untuk mengulang sirkulasi berikutnya. Jadi, fungsi radiator adalah menjaga suhu mesin agar tidak melampaui batas panas yang diizinkan.

Jumlah energi kalor per satuan waktu yang diterima oleh fluida sekitarnya secara konveksi adalah sebanding dengan luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida dengan beda suhu  $\Delta t$ . Secara matematis, ditulis:

$$\frac{Q}{t} = hA \Delta T \quad (7-23)$$

atau

$$H = hA \Delta T \quad (7-24)$$



### Tantangan untuk Anda

Misalkan Anda menyeduh secangkir kopi dengan air panas, lalu Anda mengaduknya dengan sendok yang terbuat dari logam. Mengapa sendok itu terasa lebih panas dibandingkan jika Anda mengaduknya menggunakan sendok yang terbuat dari plastik?

Keterangan:

$H$  = jumlah kalor per satuan waktu (J/s)

$h$  = koefisien konveksi termal ( $\text{J}/\text{sm}^2\text{C}$ )

$A$  = luas penampang perpindahan kalor ( $\text{m}^2$ )

$\Delta t$  = perbedaan suhu yang dipanasi dengan suhu fluida ( $^{\circ}\text{C}$ )

Nilai koefisien konveksi termal  $h$  bergantung pada bentuk dan kedudukan permukaan air jenis fluida yang bersentuhan dengan permukaan.

### Contoh 7.7

Suhu udara dalam sebuah ruangan sebesar  $20^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu permukaan jendela pada ruangan tersebut  $30^{\circ}\text{C}$ . Berapa laju kalor yang diterima oleh jendela kaca seluas  $1,5 \text{ m}^2$ , jika koefisien konveksi udara saat itu  $7,5 \times 10^{-1} \text{ kal/s m}^2\text{C}$ ?

Jawab:

$$\Delta T = t_2 - t_1 \\ = 30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$$

$$A = 1,5 \text{ m}^2$$

$$h = 7,5 \times 10^{-1} \text{ kal/s m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$H = h A \Delta T = (7,5 \times 10^{-1} \text{ kal/s m}^2\text{ }^\circ\text{C}) (1,5 \text{ m}^2) (10^\circ\text{C}) \\ = 11,25 \text{ kal}$$

Jadi, laju kalor yang diterima oleh jendela kaca 11,25 kal.

### 3. Perpindahan Kalor secara Radiasi

Panas matahari merupakan sumber energi terbesar bagi kelangsungan hidup makhluk di bumi. Panas dari matahari sampai ke Bumi tidak melalui hantaran (konduksi) ataupun aliran (konveksi) sebab konduksi dan konveksi memerlukan zat perantara, sedangkan antara Matahari dan Bumi terdapat ruang hampa atau dengan kata lain tidak ada zat perantara. Panas (kalor) dari Matahari sampai ke Bumi terjadi secara radiasi (pancaran). Kalor dari Matahari sampai ke Bumi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Jadi, *radiasi* adalah *perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik*.

Permukaan benda yang berwarna hitam dapat menyerap dan memancarkan energi kalor radiasi dengan baik, sedangkan permukaan benda berwarna putih menyerap dan memancarkan kalor radiasi dengan buruk. Panel surya (*solar panel*) digunakan untuk menyerap dan memancarkan radiasi sinar Matahari. Oleh karena itu, bidang logam berongganya diberi warna hitam. Energi kalor radiasi dimanfaatkan untuk memanaskan air. Mobil-mobil tangki pengangkut minyak pada bagian atas tangki dicat dengan warna putih. Hal tersebut dimaksudkan guna menghindari penyerapan energi panas secara konveksi oleh minyak.

Permukaan benda hitam lebih banyak menyerap dan memancarkan energi kalor, sebaliknya permukaan benda berwarna putih lebih sedikit menyerap dan memancarkan kalor radiasi.

#### a. Api Unggun

Pernahkah Anda melakukan *camping* di daerah pegunungan? Sudah menjadi hal yang biasa di dalam perkemahan membuat api unggun. Api unggun dibuat dari ranting-ranting pohon kering yang dibakar. Setelah dibuat api unggun, tentu Anda menjadi merasa hangat walaupun tubuh Anda tidak bersentuhan dengan api. Panas api mengalir melalui udara lebih banyak secara radiasi dari api unggun mengenai tubuh Anda daripada secara konveksi.

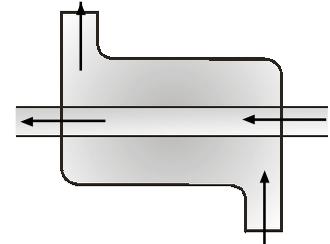
#### b. Rumah Kaca

Tidak semua gelombang radiasi sinar Matahari dapat merambat masuk ke dalam rumah kaca. Hanya cahaya tampak yang dapat merambat dinding kaca atau plastik, sedangkan sinar ultraviolet dan sinar infra merah dipantulkan kembali oleh dinding kaca. Energi kalor radiasi dari cahaya tampak diserap oleh tanah dan tanaman di dalam ruang rumah kaca. Sebaliknya, tanah dan tanaman akan memancarkan kembali gelombang radiasi berupa sinar inframerah. Panjang gelombang yang lebih besar, menyebabkan gelombang inframerah terperangkap oleh dinding kaca sehingga suhu ruangan menjadi lebih hangat dan tanaman dapat hidup dengan segar.

## Informasi untuk Anda



### Alat Penukar Kalor



Seperti namanya, alat penukar kalor adalah seperangkat instrumen di mana terjadi pertukaran kalor antara dua aliran fluida bergerak tanpa pencampuran. Alat penukar kalor banyak digunakan diberbagai industri dengan berbagai model.

Bentuk paling sederhana dari alat penukar kalor adalah penukar kalor pipa ganda, yakni tersusun oleh dua pipa konsentris dengan diameter berbeda. Satu fluida mengalir di dalam pipa, dan fluida lainnya mengalir pada pipa yang menembus ruang antara pipa. Kalor dipindahkan dari fluida yang panas ke fluida yang dingin melalui dinding pemisahannya. Terkadang pipa yang berada di dalam dibuat dua putaran di dalam selongsong untuk menambah pertukaran kalor.

### Information for You

As the name implies, heat exchangers are devices where two moving fluid streams exchange heat without mixing. Heat exchanger are widely used in various industries, and they come in numerous designs.

The simplest form of a heat exchanger is a double tube heat exchanger. It is composed of two concentric pipes of different diameters. One fluids flows in the inner pipes, and the other in the annular space between the two pipes. Heat is transferred from the hot fluid to the cold one through the wall separating them. Sometimes the inner tube makes a couple of turn inside the shell to increase the heat transfer area.

Sumber: Thermodynamics, 1998

Uap air yang dikeluarkan oleh tanah dan tanaman menyebabkan penguapan terperangkap oleh dinding kaca. Aliran uap air ke atas secara konveksi tidak berjalan sehingga uap air kembali jatuh ke dalam tanah dan tanaman dalam bentuk zat cair. Pada akhirnya, kelembaban udara dalam rumah kaca dapat terjaga sepanjang radiasi kalor Matahari berlangsung.

### c. Radiasi Benda Hitam

Joseph Stefan (1835–1893) dan Ludwig Boltzmann (1844–1906) menyatakan bahwa besarnya energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas sebanding dengan pangkat empat suhu permukaan itu, dapat ditulis dengan persamaan:

$$E = e\sigma T^4 \quad (7-25)$$

Keterangan:

$E$  = energi yang dipancarkan atau diserap per satuan waktu per satuan luas ( $\text{J}/\text{sm}^2$  atau  $\text{watt}/\text{m}^2$ )

$\sigma$  = konstanta umum Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ watt}/\text{m}^2\text{K}^4$

$T$  = suhu mutlak (K)

$e$  = emisivitas permukaan (tidak bersatuan)

Untuk benda hitam sempurna harga  $e = 1$ , benda-benda lain harga koefisien emisivitasnya lebih kecil daripada satu, sedangkan untuk benda berwarna putih sempurna  $e = 0$ . Harga  $e$  bergantung pada keadaan permukaan benda, yaitu kekasarannya serta warna dari benda. Energi yang dipancarkan oleh sebuah benda dalam satuan joule ditentukan dengan persamaan:

$$W = e\sigma T^4 At \quad (7-26)$$

Keterangan:

$W$  = energi yang dipancarkan oleh permukaan benda (J)

$A$  = luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

$t$  = lama waktu emisi energi (sekon)

Jika dibandingkan terhadap lingkungan yang bersuhu  $T_0$ , persamaannya akan menjadi:

$$W = e\sigma(T^4 - T_0^4)At \quad (7-27)$$

Penerapan konsep radiasi dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai, contohnya pembakaran pada alat pemanggang (*oven*), pengeringan kopi dan tembakau, dan sistem pendingin atau pemanasan rumah,.



### Tantangan untuk Anda

Seorang petinju profesional setelah selesai bertanding berada di ruangan yang bersuhu  $15^\circ\text{C}$ . Berapa laju energi yang dikeluarkan tubuhnya jika suhu tubuhnya saat itu  $34^\circ\text{C}$ , emisivitasnya 0,7, dan luas tubuhnya yang berhubungan langsung dengan udara adalah  $1,5 \text{ m}^2$ ?

### Contoh 7.8

Sebuah benda memiliki permukaan hitam sempurna bersuhu  $127^\circ\text{C}$ . Luas permukaan  $300 \text{ cm}^2$  memancarkan energi ke lingkungan yang bersuhu  $27^\circ\text{C}$ . Tentukan energi per satuan waktu yang dipancarkan benda tersebut.

Jawab:

$e = 1$  (benda hitam)

$T_1 = (273 + 127) = 400 \text{ K}$

$T_2 = (273 + 27) = 300 \text{ K}$

$A = 300 \text{ cm}^2 = 3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

$$\sigma = 5,672 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$$

$$\frac{W}{t} = e\sigma(T^4 - T_0^4)A$$

$$= (1)(5,672 \times 10^{-8})[(400)^4 - (300)^4](3 \times 10^{-2}) = 29,78 \text{ W}$$

Jadi, besar energi per satuan waktu yang dipancarkan oleh benda tersebut adalah 29,78 W.

### Kata Kunci

- konduksi
- konveksi
- radiasi
- rumah kaca
- radiasi benda hitam

### Contoh 7.9

Pada suhu 2.000 K, sebuah benda memancarkan energi sebesar 480 J/s. Berapa energi yang dipancarkan benda tersebut pada suhu 3.000 K?

**Jawab:**

Diketahui:

$$W_1 = 480 \text{ J/s}; \quad T_2 = 3.000 \text{ K}$$

$$T_1 = 2.000 \text{ K}$$

$$W_1 : W_2 = e\sigma T_1^4 : e\sigma T_2^4$$

$$W_1 : W_2 = T_1^4 : T_2^4$$

$$480 : W_2 = (2.000)^4 : (3.000)^4$$

$$W_2 = 2.430 \text{ J/s}$$

Jadi, energi yang dipancarkan benda pada suhu 3.000 K adalah 2.430 J/s.

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

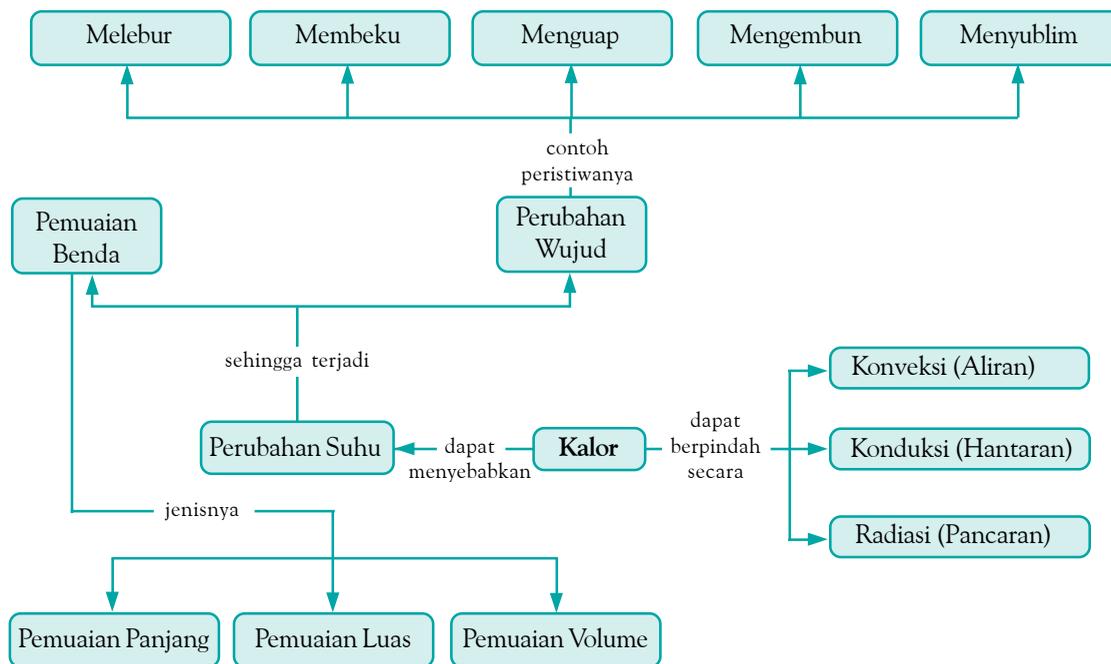
1. Teh panas bersuhu 87°C dituangkan ke dalam dua buah teko yang satu teko keramik warna hitam ( $e = 0,8$ ) dan satunya lagi teko mengilat ( $e = 0,3$ ). Jika suhu ruang 27°C, berapa kecepatan hilangnya kalor dari setiap teko ke lingkungan jika luas permukaan teko adalah  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ?
2. Pengaduk terbuat dari aluminium dengan luas penampang 5 mm<sup>2</sup> dan panjang 10 cm. Jika suhu air dalam bejana 60°C, suhu di ujung pengaduk 62°C, dan konduktivitas termal = 200 W/m°C, tentukan:
  - a. kecepatan aliran kalor pada aliran kalor pada pengaduk,
  - b. kalor yang mengalir melalui pengaduk selama 1 jam.
3. Kopi panas bersuhu 77°C dituangkan ke dalam cangkir keramik warna cokelat ( $e = 0,5$ ). Jika suhu ruang 27°C, tentukan kecepatan hilangnya kalor dari cangkir ke lingkungan. (luas cangkir 20 cm<sup>2</sup>)

### Rangkuman

1. Kalor adalah energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda yang lain.
2. Kalor jenis dapat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan suatu zat untuk menaikkan suhu 1 kg zat tersebut sebesar 1°C.
3. Kapasitas kalor adalah banyaknya yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda sebesar 1°C.
4. Asas Black menyatakan bahwa jumlah kalor yang dilepas pada suatu sistem akan sama dengan jumlah kalor yang diterima.
5. Pemuaian pada zat padat dapat diamati melalui perubahan panjang, luas, dan volume.
6. Pada umumnya, pemuaian zat cair hanya dapat diamati melalui perubahan volume saja.

7. Kalor adalah energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda yang lain.
8. Ada tiga bentuk perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.
9. Perpindahan kalor melalui zat perantara dengan tidak disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut secara permanen disebut hantaran atau konduksi.
10. Perpindahan kalor secara konveksi (aliran) disertai gerakan massa atau gerakan partikel perantaranya (fluida).
11. Radiasi adalah perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah Anda mempelajari bab ini, tentunya Anda telah memahami tentang perubahan wujud zat akibat perubahan kalor. Dapatkah Anda menerangkan mengenai cara perpindahan kalor pada suatu zat?

Bagaimana dari cara perpindahan tersebut yang belum Anda pahami? Diskusikan dengan teman Anda tentang materi yang belum Anda pahami tersebut. Jika masih menemui kesulitan, bertanyalah kepada guru Fisika Anda.

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Dalam sistem satuan internasional, besaran suhu memiliki satuan ....
  - newton
  - watt
  - joule
  - kelvin
  - kalori
- Dalam botol termos terdapat 230 gram kopi pada suhu  $90^{\circ}\text{C}$ . Ditambahkan susu sebanyak 20 gram bersuhu  $5^{\circ}\text{C}$ . Jika tidak ada kalor campuran maupun kalor yang terserap botol termos ( $c_{\text{air}} = c_{\text{kopi}} = c_{\text{susu}} = 1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ ). Suhu campurannya adalah ....
  - $5^{\circ}\text{C}$
  - $20^{\circ}\text{C}$
  - $47^{\circ}\text{C}$
  - $83^{\circ}\text{C}$
  - $90^{\circ}\text{C}$
- Suhu sebatang baja yang panjangnya 1 m ditingkatkan dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  sehingga panjangnya bertambah 1 milimeter. Pertambahan panjang suatu batang baja yang panjangnya 60 cm jika dipanaskan dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $129^{\circ}\text{C}$  adalah ....
  - 0,50 mm
  - 0,60 mm
  - 0,72 mm
  - 1,20 mm
  - 2,40 mm
- Sebuah bola berongga terbuat dari perunggu dengan koefisien muai linear ( $\alpha$ ) =  $18 \times 10^{-6} \text{ m}^{\circ}\text{C}$ . Pada  $0^{\circ}\text{C}$ , jari-jarinya 1 m. Jika bola tersebut dipanaskan sampai  $80^{\circ}\text{C}$ , pertambahan luas permukaan bola adalah sebesar (dalam  $\text{m}^2$ ) ....
  - $0,83 \times 10^{-2} \pi$
  - $1,02 \times 10^{-2} \pi$
  - $1,11 \times 10^{-2} \pi$
  - $1,15 \times 10^{-2} \pi$
  - $1,21 \times 10^{-2} \pi$
- $a$ ,  $b$ , dan  $c$  berturut-turut adalah koefisien muai panjang, koefisien muai luas, dan koefisien muai volume. Berikut ini, yang menunjukkan hubungan yang benar dari ketiganya adalah ....
  - $c = 2a$
  - $2a = 3c$
  - $3c = 2a$
  - $2c = 3b$
  - $3c = 2b$
- Sebatang besi mula-mula panjangnya  $\ell_0$  dipanaskan dari suhu  $t_1$  menjadi  $t_2$ . Jika koefisien muai panjang batang tersebut  $\alpha$ , pertambahan panjang batang adalah ....
  - $\ell_0 \alpha t_1$
  - $\ell_0 \alpha (t_2 - t_1)$
  - $\frac{\ell_0}{\alpha} (t_2 - t_1)$
  - $\frac{\alpha}{\ell_0 \alpha} (t_2 - t_1)$
  - $\Delta \ell \alpha \Delta t$
- Pelat tipis dari logam panjangnya 10 cm dan lebarnya 15 cm pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika pelat tersebut dipanaskan sampai dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , ternyata luasnya  $150,15 \text{ cm}^2$ . Koefisien muai panjang logam tersebut adalah ....
  - $1,25 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$
  - $1,50 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$
  - $6,25 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$
  - $1,50 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$
  - $9,30 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$
- Pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ , massa jenis emas =  $19.300 \text{ kg/m}^3$ , koefisien muai panjang emas =  $1,43 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ . Massa jenis emas tersebut pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  adalah ....
  - $19.326 \text{ kg/m}^3$
  - $19.310 \text{ kg/m}^3$
  - $19.260 \text{ kg/m}^3$
  - $19.253 \text{ kg/m}^3$
  - $19.239 \text{ kg/m}^3$
- Gas dalam ruang tertutup sebanyak 5 L, tekanannya diubah menjadi 2 kali semula pada suhu yang sama. Volume gas akan berubah menjadi ....
  - 20 L
  - 10 L
  - 3,5 L
  - 2,5 L
  - 0,2 L
- Suatu gas ideal sebanyak 4 L pada tekanan 1,5 atm dan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, gas tersebut dipanaskan hingga suhunya  $47^{\circ}\text{C}$  dan volumenya 3,2 L. Tekanan gas sekarang adalah ....
  - 0,5 atm
  - 1,0 atm
  - 1,5 atm
  - 2,0 atm
  - 2,5 atm
- Satuan kalor jenis dalam SI adalah ....
  - kal/ $^{\circ}\text{C}$
  - kal/ $\text{g}^{\circ}\text{C}$
  - kkal/ $\text{kg}^{\circ}\text{C}$
  - joule/K
  - joule/ $\text{kg}^{\circ}\text{C}$
- Jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu  $20^{\circ}\text{C}$  pada  $\frac{1}{2}$  gram air adalah ....
  - 4 kal
  - 3 kal
  - 2 kal
  - 1 kal
  - 0,5 kal
- Panas jenis suatu benda ditentukan oleh ....
  - jenis bendanya
  - kenaikan suhu benda
  - volume benda
  - massa benda
  - luas permukaan benda
- Di dalam gelas berisi 200 g air, bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$ , dimasukkan 50 g es bersuhu  $-2^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis es tersebut  $0,5 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ . Jika hanya terjadi pertukaran kalor antara air dan es, setelah terjadi kesetimbangan akan diperoleh ....
  - seluruh es mencair dan suhunya di atas  $0^{\circ}\text{C}$
  - seluruh es mencair dan suhunya  $0^{\circ}\text{C}$
  - tidak seluruh es mencair dan suhunya  $0^{\circ}\text{C}$
  - suhu seluruh sistem di bawah  $0^{\circ}\text{C}$
  - sebagian air membeku dan suhu seluruh sistem  $0^{\circ}\text{C}$

15. Dua buah bola logam yang sejenis masing-masing bersuhu  $27^{\circ}\text{C}$ , dimasukkan ke dalam air yang suhunya  $100^{\circ}\text{C}$ . Keduanya mencapai kesetimbangan termal pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . Jika massa setiap bola  $0,5\text{ kg}$  dan  $3\text{ kg}$ , kalor jenis logam adalah  $3,4 \times 10^3\text{ J/kgK}$  dan kalor jenis air adalah  $4,2 \times 10^3\text{ J/kgK}$ , selisih kalor yang diterima kedua bola adalah ....
- $3,060 \times 10^5\text{ J}$
  - $3,780 \times 10^5\text{ J}$
  - $4,280 \times 10^5\text{ J}$
  - $6,205 \times 10^5\text{ J}$
  - $7,665 \times 10^5\text{ J}$
16. Terjadinya perpindahan kalor pada suatu zat karena getaran atom-atomnya disebut ....
- radiasi
  - konveksi
  - translasi
  - konduksi
  - rotasi
17. Lempeng tembaga tebalnya  $20\text{ cm}$  dan luas penampangnya  $4\text{ m}^2$ . Permukaan yang satu memiliki suhu  $273\text{ K}$ , sedangkan yang lain bersuhu  $373\text{ K}$ . Jika konduktivitas termal tembaga =  $390\text{ J/msK}$ , besarnya kalor yang merambat tiap sekon adalah ....
- $7,8 \times 10^4\text{ J}$
  - $7,8 \times 10^5\text{ J}$
  - $3,9 \times 10^4\text{ J}$
  - $3,9 \times 10^5\text{ J}$
18. Jika suhu benda yang berpijar menjadi 2 kali semula, energi yang dipancarkan tiap detik tiap satuan luas menjadi ....
- 2 kali semula
  - 4 kali semula
  - 6 kali semula
  - 8 kali semula
  - 16 kali semula
19. Bola yang permukaannya hitam sempurna memiliki suhu konstan  $1.000\text{ K}$ . Besarnya energi yang dipancarkan tiap detik oleh permukaan bola tersebut jika konstanta Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{K}^4$  adalah ....
- $5,67 \times 10^4\text{ W/m}^2$
  - $5,67 \times 10^5\text{ W/m}^2$
  - $11,34 \times 10^4\text{ W/m}^2$
  - $11,34 \times 10^5\text{ W/m}^2$
  - $30,35 \times 10^5\text{ W/m}^2$
20. Dua benda hitam yang sejenis masing-masing bersuhu  $327^{\circ}\text{C}$  dan  $27^{\circ}\text{C}$ . Jika kedua benda tersebut memancarkan energi dalam bentuk radiasi, perbandingan jumlah energi per detik yang dipancarkan adalah ....
- 1 : 4
  - 4 : 1
  - 1 : 16
  - 16 : 1
  - 8 : 3

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

- Pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ , sebuah kubus homogen panjang rusuk-rusuknya  $20\text{ cm}$ . Jika koefisien muai panjang kubus itu  $0,0001/^{\circ}\text{C}$ , berapakah volume kubus pada suhu  $125^{\circ}\text{C}$ ?
- Dua rel baja masing-masing panjangnya  $30\text{ m}$  pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  akan disambung untuk membentuk suatu lintasan kereta. Jika suhu maksimumnya  $40^{\circ}\text{C}$ , berapakah lebar celah minimum yang harus disediakan di antara sambungan rel?
- Pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  sebuah botol berisi penuh cairan yang volumenya  $500\text{ cc}$ . Jika koefisien muai volume botol dan cairan berturut-turut  $0,00004/^{\circ}\text{C}$  dan  $0,0004/^{\circ}\text{C}$ , berapakah cairan yang tumpah jika dipanaskan sampai  $70^{\circ}\text{C}$ ?
- Diketahui panas jenis es =  $0,5\text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ , panas jenis air =  $1\text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ , dan kalor lebur es =  $80\text{ kal/g}$ . Hitunglah suhu akhir campuran  $50\text{ g}$  es yang suhunya  $-5^{\circ}\text{C}$  berada dalam kalorimeter yang kapasitas panasnya  $40\text{ kal/^{\circ}\text{C}}$ , dituangi  $100\text{ g}$  air yang bersuhu  $60^{\circ}\text{C}$ .
- Dua puluh gram suatu zat diberi kalor  $4.800\text{ kal}$  sehingga suhu benda tersebut berubah dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $70^{\circ}\text{C}$ . Berapakah kalor yang dilepaskan agar suhu benda turun dari  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi  $20^{\circ}\text{C}$ ?
- Suhu pada kedua permukaan keping besi yang memiliki luas  $50\text{ cm}^2$  dan tebal  $2\text{ cm}$  adalah  $80^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$ . Jika konduktivitas besi =  $0,1\text{ kal/scm}^{\circ}\text{C}$ , tentukan panas yang dihantarkan tiap menit.
- Sebuah lubang kecil pada dinding tungku menyerupai benda hitam. Jika luas lubang =  $1\text{ cm}^2$  dan suhunya sama dengan suhu tungku, yaitu  $1.727^{\circ}\text{C}$ , berapa kalor yang diradiasikan lubang setiap sekon?
- Bola yang radiusnya  $2\text{ cm}$  memiliki emisivitas =  $0,8$ . Bola tersebut menyerap energi kalor dari lingkungannya dengan laju  $4,536\pi\text{ J/s}$ . Berapa suhu bola itu sekarang?

# Bab 8



Sumber: Young Scientist, 1994

Nyala lampu pada malam hari, selain berfungsi sebagai penerangan juga menjadi bagian dari keindahan kota.

## Listrik Dinamis

### Hasil yang harus Anda capai:

menerapkan konsep kelistrikan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu loop);
- mengidentifikasi penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari;
- menggunakan alat ukur listrik.

Malam hari tidak menjadi hambatan bagi masyarakat kota untuk melakukan aktivitasnya. Hal ini disebabkan penerangan lampu-lampu di hampir semua sudut kota sudah terpasang. Lampu-lampu ini merupakan contoh peralatan dalam kehidupan sehari-hari yang memanfaatkan energi listrik setelah diubah menjadi energi cahaya. Lalu, bagaimana energi listrik ini dapat menyalakan lampu? Anda akan mempelajarinya pada bab ini.

Ada dua jenis arus listrik, yaitu arus listrik bolak-balik (*Alternating Current* = AC) dan arus listrik searah (*Direct Current* = DC). Pada arus listrik bolak-balik, muatan listrik mengalir dalam dua arah (bolak-balik). Adapun pada arus listrik searah, muatan listrik hanya mengalir dalam satu arah. Contoh peralatan listrik yang menggunakan arus searah, yaitu kalkulator, *remote control*, jam, dan lampu senter. Pada bab ini, akan dipelajari arus listrik searah. Sedangkan arus listrik bolak-balik akan dipelajari lebih banyak di kelas XII.

- A. Arus Listrik dan Muatan**
- B. Hukum Ohm dan Hambatan**
- C. Rangkaian Seri dan Paralel**
- D. Hukum II Kirchhoff**
- E. Sumber Arus Searah dari Proses Kimiawi**
- F. Tegangan Listrik Searah dan Bolak-Balik**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Listrik Dinamis, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apakah arah gerak arus listrik searah dengan arah gerak elektron? Jelaskan jawaban Anda.
2. Dari potensial mana ke potensial manakah arus listrik mengalir?
3. Tuliskanlah faktor-faktor yang memengaruhi besarnya suatu hambatan penghantar.
4. Mengapa voltmeter dalam suatu rangkaian harus dipasang secara paralel?
5. Tuliskanlah contoh sumber tegangan listrik yang Anda ketahui.

## A. Arus Listrik dan Muatan

Di SMP, Anda telah mempelajari konsep kuat arus dan tegangan listrik. Pada bab ini, Anda akan kembali mempelajarinya lebih mendalam.

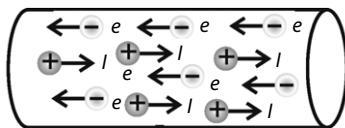
Apakah arus listrik itu? Bagaimana hubungannya dengan tegangan listrik? Bagaimana Anda mengetahui besarnya arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup? Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, pelajari subbab ini dengan saksama.

### 1. Pengertian Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik setiap selang waktu tertentu. Dalam suatu penghantar, muatan yang mengalir adalah elektron-elektron yang bebas bergerak. Proses aliran arus listrik mirip dengan aliran panas dari suatu benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Aliran panas akan berhenti setelah kedua suhu benda tersebut sama (setimbang termal). Dalam aliran listrik juga demikian, jika kedua titik telah memiliki tegangan sama, aliran muatan akan berhenti.

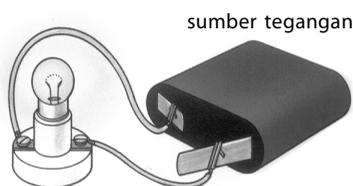
Arah pergerakan elektron berlawanan dengan arah arus listrik, perhatikan **Gambar 8.1**. Dalam sebuah penghantar, sesungguhnya pembawa muatan listrik adalah elektron. Walaupun demikian, telah disepakati bahwa arah arus listrik berlawanan dengan arah gerak elektron.

Muatan listrik hanya akan mengalir dalam rangkaian tertutup. Pada rangkaian tertutup seperti pada **Gambar 8.2**, akan terjadi beda potensial antara kedua ujung penghantar. Beda potensial inilah yang menyebabkan muatan listrik mengalir (terjadi arus listrik).



**Gambar 8.1**

Arah arus listrik ( $I$ ) dan arah elektron ( $e$ ) berlawanan arah.



**Gambar 8.2**

Arus listrik akan mengalir dalam rangkaian tertutup.

### 2. Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik ( $I$ ) didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam suatu penghantar setiap satu satuan waktu. Secara matematis, dituliskan sebagai berikut.

$$I = \frac{q}{t} \quad (8-1)$$

#### Contoh 8.1

Ketika hujan lebat, terjadi kilat dan terdeteksi arus listrik sebesar 3 kiloampere mengalir dalam waktu 0,2 milisekon. Hitung muatan yang dipindahkan dari awan bermuatan listrik ke Bumi pada saat itu.

**Jawab:**

Diketahui:

$$I = 3.000 \text{ A}; \quad t = 0,0002 \text{ s}$$

$$I = \frac{q}{t} \text{ maka } q = It$$

$$q = (3.000 \text{ A})(0,0002 \text{ s})$$

$$= 0,6 \text{ As}$$

Jadi, muatan yang dipindahkan adalah 0,6 As atau 0,6 C.

### 3. Mengukur Kuat Arus

Untuk mengukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian listrik, digunakan amperemeter atau ammeter. Pengukuran arus listrik dalam suatu penghantar dapat dilakukan dengan cara menghubungkan alat ukur arus listrik (amperemeter) secara seri, seperti pada **Gambar 8.3**.

Cara membaca skala amperemeter adalah sebagai berikut.

$$\text{Hasil pengukuran} = \frac{\text{skala yang ditunjuk}}{\text{skala maksimum}} \times \text{batas ukur} \quad (8-2)$$

#### Contoh 8.2

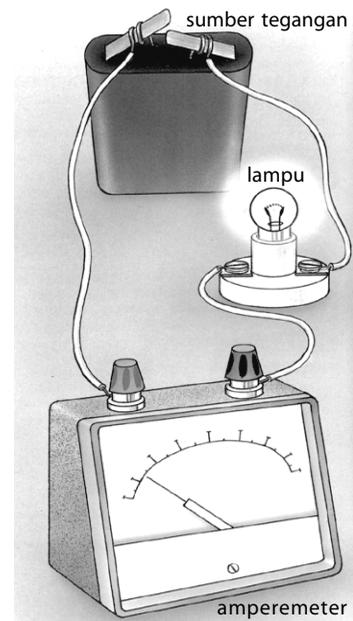
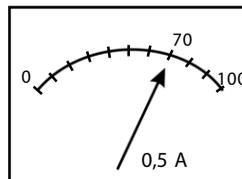
Di laboratorium sekolah, biasanya digunakan amperemeter untuk mengukur kuat arus. Pada suatu pengukuran arus listrik didapat data seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Tentukan hasil pengukuran amperemeter tersebut.

**Jawab:**

Informasi yang diperoleh dari gambar tersebut, yaitu skala yang ditunjuk = 70; skala maksimum = 100; batas ukuran = 0,5 A.

$$\text{Hasil pengukuran} = \frac{70}{100} \times 0,5 \text{ A} = 0,35 \text{ A}$$

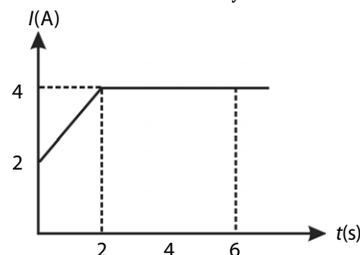
Jadi, hasil pengukurannya 0,35 A.



**Gambar 8.3**  
Mengukur kuat arus listrik

#### Contoh 8.3

Grafik berikut menunjukkan kuat arus yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup.



Berdasarkan grafik tersebut, tentukan banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam rangkaian selama 6 s pertama dalam satuan coulomb (C).

**Jawab:**

- Dari  $t = 0$  sampai  $\Delta t = 2$  s diperoleh  $\Delta t = 2 - 0 = 2$  s, arus pada selang waktu ini bertambah secara linear. Nilai rata-ratanya adalah sebagai berikut.

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{2 \text{ A} + 4 \text{ A}}{2} = 3 \text{ A.}$$

Jumlah muatannya:  $\Delta q_1 = I \Delta t = (3 \text{ A})(2 \text{ s}) = 6 \text{ C}$

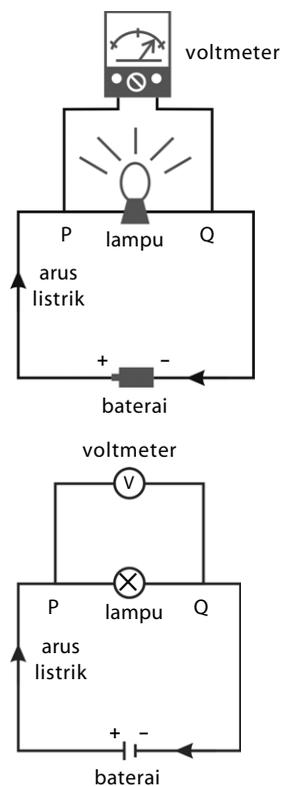
- Dari  $t = 2$  s sampai  $t = 6$  s, diperoleh  $\Delta t = 6 \text{ s} - 2 \text{ s} = 4 \text{ s}$ . Arus pada selang waktu ini tetap  $I = 4 \text{ A}$ . Jumlah muatannya  $\Delta q_2 = I \Delta t = (4 \text{ A})(4 \text{ s}) = 16 \text{ C}$ .

Jadi, jumlah muatan yang mengalir melalui rangkaian selama 6 s adalah

$$q = \Delta q_1 + \Delta q_2 = 6 \text{ C} + 16 \text{ C} = 22 \text{ C.}$$

### 4. Mengukur Beda Potensial

Untuk mengukur besar beda potensial atau tegangan di antara ujung-ujung penghantar, digunakan voltmeter yang dirangkaikan seperti pada **Gambar 8.4**.



**Gambar 8.4**  
Cara mengukur beda potensial.

## Kata Kunci

- arus listrik
- elektron
- beda potensial
- amperemeter
- voltmeter

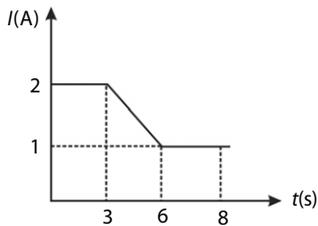
Voltmeter disusun paralel (sejajar) dengan sumber listrik atau peralatan listrik yang akan diukur beda potensialnya.

Pada voltmeter, terdapat dua buah kutub, yaitu kutub positif dan kutub negatif. Kutub-kutub ini harus dihubungkan secara bersesuaian dengan kutub-kutub pada rangkaian.

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

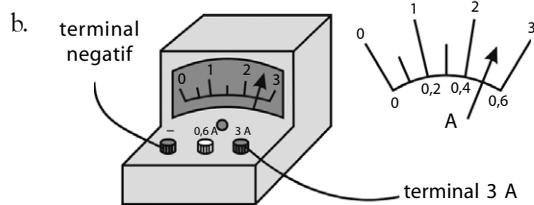
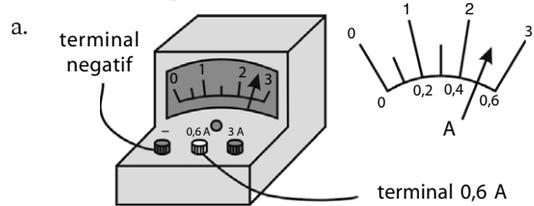
1. Jelaskan yang disebut dengan:
  - a. listrik statis;
  - b. listrik dinamis.
2. Grafik berikut menunjukkan kuat arus yang mengalir dalam hambatan  $R$  sebagai fungsi waktu.



Tentukan banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam hambatan selama 8 s.

3. Dalam suatu rangkaian listrik mengalir arus listrik sebesar 0,04 A selama 2 menit. Berapa muatan yang mengalir dalam rangkaian tersebut?
4. Jika sebuah elektron memiliki muatan  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , berapa banyak elektron yang mengalir dalam sebuah kawat penghantar yang dialiri arus listrik 0,5 A selama 5 s?

5. Sebuah amperemeter dengan batas ukur 1 mA dan skala 50 digunakan untuk mengukur kuat arus yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik. Pada saat pengukuran jarum amperemeter menunjukkan angka 40, tentukan besar kuat arus pada pengukuran ini.
6. Tentukan hasil pengukuran berikut.



## B. Hukum Ohm dan Hambatan

Pada subbab A, Anda telah mempelajari konsep arus dan tegangan serta cara pengukurannya. Pada subbab ini, Anda akan mempelajari hukum Ohm dan hambatan. Bagaimana hubungan antara tegangan, arus listrik, dan hambatan? Hukum Ohm akan membahas hubungan tersebut. Sebelum mempelajari bab ini lebih jauh, lakukan kegiatan berikut.



### Aktivitas Fisika 8.1

#### Hubungan Tegangan dan Arus Listrik

##### Tujuan

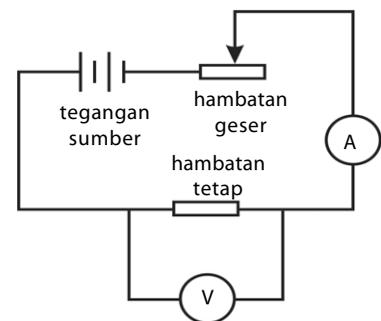
Mengetahui hubungan antara tegangan dan arus listrik.

##### Alat-Alat Percobaan

1. Dua buah baterai
2. Hambatan tetap
3. hambatan geser (hambatan yang dapat diubah-ubah)
4. Amperemeter DC
5. Voltmeter DC

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susunlah semua peralatan seperti pada gambar.



- Ubahlah hambatan geser dengan cara menggeser-geser kontak luncur, bacalah kuat arus  $I$  pada amperemeter dan tegangan hambatan tetap pada voltmeter. Tulislah hasil yang Anda peroleh dalam bentuk tabel.
- Dari tabel yang Anda tulis, buatlah grafik tegangan  $V$  terhadap kuat arus  $I$ .
- Dari grafik tersebut, buatlah kesimpulannya.

## 1. Hukum Ohm

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan **Georg Simon Ohm** (1787–1854) didapat kesimpulan bahwa *kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar sebanding dengan tegangan atau beda potensial suatu penghantar listrik tersebut, perbandingannya selalu konstan yang disebut sebagai hambatan*. Pernyataan ini dikenal dengan Hukum Ohm.

Karakteristik hambatan yang terbuat dari logam dan memenuhi Hukum Ohm ( $R = \text{konstan}$ ) disebut ohmik atau linear. Misalkan, dari suatu hasil percobaan diperoleh nilai tegangan  $V$  dan kuat arus  $I$ . Data tersebut dapat Anda lihat pada **Tabel 8.1**. Tabel tersebut dapat menghasilkan suatu grafik linear seperti tampak pada **Gambar 8.5**.

**Tabel 8.1**

Nilai Tegangan  $V$  dan Kuat Arus  $I$  pada Hambatan Logam Ohmik

Tegangan $V$ (volt)	Kuat Arus $I$ (ampere)	$\frac{V}{I}$
1,0	0,2	5
2,0	0,4	5
3,0	0,6	5
4,0	0,8	5
5,0	1,0	5

Secara matematis, pernyataan Hukum Ohm dapat dituliskan

$$R = \frac{V}{I} \quad (8-3)$$

Keterangan:

$V$  = beda potensial (V)

$R$  = hambatan ( $\Omega$ )

$I$  = kuat arus (A)

Kemiringan ( $\tan \alpha$ ) pada grafik tersebut merupakan besarnya hambatan  $R$  yang memiliki nilai sama dari suatu percobaan. Akan tetapi, dari setiap percobaan, tidak selalu menghasilkan grafik kemiringan yang sama. Hubungan antara hambatan  $R$  dan kemiringan grafik  $\tan \alpha$  dinyatakan dengan persamaan:

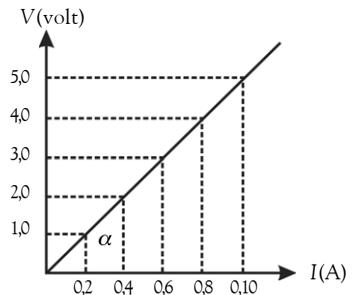
$$R = \tan \alpha \quad (8-4)$$

Keterangan:

$R$  = besar hambatan ( $\Omega$ );

$\tan \alpha$  = kemiringan grafik;

maka 1 ohm besarnya sama dengan 1 volt per ampere (V/A).



**Gambar 8.5**

Grafik linear  $V$  terhadap  $I$



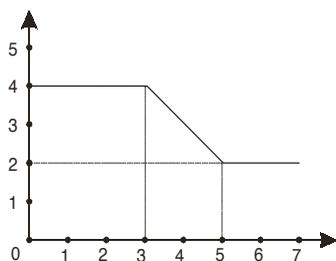
## Tantangan untuk Anda

Suatu alat pemanas listrik (*heater*) memakai arus listrik 11 A jika dihubungkan dengan sumber potensial 220 V. Hitunglah hambatan pemanas tersebut.





## Pembahasan Soal



Grafik di atas menunjukkan kuat arus yang mengalir dalam suatu hambatan  $R$ , sebagai fungsi waktu. Banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam hambatan tersebut selama 6 sekon pertama adalah ....

- 8
- 10
- 14
- 18
- 20

Ebtanas, 1990

### Pembahasan

Diketahui:

Pada  $t = 0$  sampai  $t = 3$ s

$$q = I \Delta t$$

$$q = 4 \times (3) = 12 \text{ Coloumb}$$

$$A = 4,5040 \text{ cm}^3$$

Pada  $t = 0$  sampai  $t = 3$ s

$$q = I \Delta t$$

$$q = (3) \cdot (1) = 2 \text{ Coloumb}$$

$$q_{\text{total}} = 12 \text{ Coloumb} + 6 \text{ Coloumb} + 2 \text{ Coloumb} = 20 \text{ Coloumb}$$

Jawab: E

## Contoh 8.4

Sebuah pemanas listrik diberi tegangan 12 V sehingga mengalir arus listrik sebesar 0,2 A. Hitung hambatan pemanas tersebut.

Jawab:

Diketahui:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 0,2 \text{ A}$$

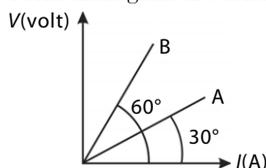
$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{12 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = 60 \Omega$$

Jadi, hambatan jenis pemanas listrik tersebut adalah  $60 \Omega$ .

## Contoh 8.5

Perhatikan gambar berikut.



Tentukanlah nilai perbandingan hambatan A dan hambatan B.

Jawab:

Dengan memerhatikan grafik  $V - I$ , diperoleh nilai perbandingan  $R_A : R_B$ , yaitu

$$R_A : R_B = \tan \alpha_A : \tan \alpha_B$$

$$\tan 30^\circ : \tan 60^\circ = 1 : 3.$$

Jadi,  $R_A : R_B = 1 : 3$

## 2. Hambatan (Resistansi)

Setiap bahan (material) baik itu logam ataupun bukan logam memiliki hambatan tertentu. Hal ini bisa Anda amati bahwa suatu bahan tidak selalu dapat menghantarkan arus listrik secara baik apabila dialiri arus listrik. Agar dapat memahaminya, lakukan **Aktivitas Fisika 8.2** berikut.



## Aktivitas Fisika 8.2

### Hubungkan Panjang Kawat dan Nilai Hambatan Logam

#### Tujuan Percobaan

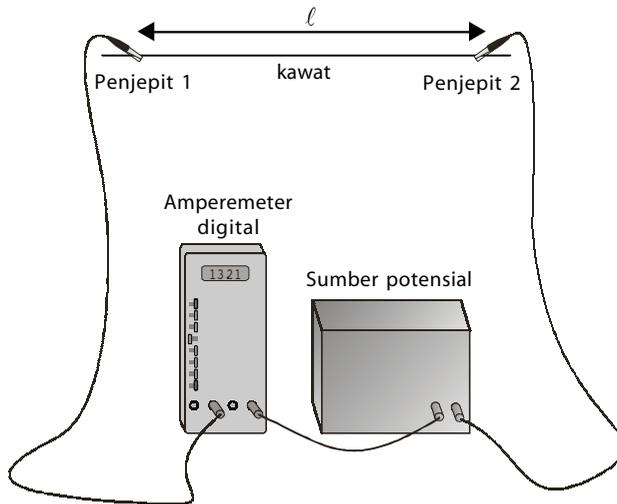
Menyelidiki pengaruh panjang kawat dari jenis kawat terhadap nilai hambatan logam.

#### Alat-Alat Percobaan

- Amperemeter digital (0 mA – 1,2 mA)
- Sumber tegangan (DC 1,5 volt)
- Kawat nikrom ( $d = 0,5$  mm) dan kawat tembaga berlapis email ( $d = 0,5$  mm; 1,0 mm; dan 1,5 mm)
- Kabel
- Penjepit
- Penggaris
- Mikrometer sekrup
- Spidol

### Langkah-Langkah Percobaan

1. Dengan menggunakan penggaris, ukurlah panjang kawat dari salah satu ujungnya sepanjang 10 cm. Kemudian, beri tanda dengan spidol. Lakukan hal yang sama untuk setiap 25 cm berikutnya hingga 100 cm.
2. Susun semua peralatan seperti gambar berikut.



3. Hubungkan kabel negatif sumber tegangan dengan salah satu ujung kawat (anggap ujung ini sebagai titik nol kawat). Kemudian, hubungkan kabel positif amperemeter ujung kawat lain yang berjarak 25 cm
4. Catatlah kuat arus yang terbaca pada amperemeter, kemudian tuliskan hasilnya pada tabel berikut.

No.	Panjang Kawat (cm)	Tegangan Sumber (V)	Kuat Arus (A)	Hambatan ( $\Omega$ )
1.	25	...	...	...
2.	50	...	...	...
3.	75	...	...	...
4.	100	...	...	...
5.	125	...	...	...

5. Perhatikan data yang telah Anda tuliskan dalam tabel. Kesimpulan apakah yang Anda peroleh? Bagaimanakah hubungan antara panjang ( $\ell$ ) dengan hambatan ( $R$ )?
6. Ulangi langkah 2, 3, dan 4 untuk kawat tembaga dengan diameter 0,5 mm dan panjang 50 cm.
7. Hitunglah nilai hambatannya. Bandingkan dengan nilai hambatan untuk kawat nikrom dengan panjang 50 cm.
8. Mengapa nilai hambatannya sama atau mengapa nilai hambatannya berbeda?
9. Ulangi langkah 2, dan 3 untuk kawat tembaga lain dengan nilai diameter 1,0 mm dan 1,5 mm, serta panjangnya 50 cm.
10. Catatlah hasilnya pada tabel berikut.

No.	Diameter (mm)	Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)	Hambatan ( $\Omega$ )
1	0,5	...	...	...	...
2	1,0	...	...	...	...
3	1,5	...	...	...	...

11. Bagaimanakah hubungan antara luas penampang kawat tembaga dengan hambatan ( $R$ )?

Berdasarkan **Aktivitas Fisika 8.2**, Anda dapat memperoleh kesimpulan bahwa semakin panjang kawat, hambatannya semakin besar. Kesimpulan ini dapat dituliskan dalam bentuk berikut.

$$R \approx \ell$$

Selain itu, semakin besar luas penampang kawat, semakin kecil hambatan kawat tersebut, dapat dituliskan dalam bentuk berikut.

$$R \approx \frac{1}{A}$$

Jika kedua kesimpulan tersebut digabungkan, akan diperoleh persamaan berikut.

$$R \approx \frac{\ell}{A}$$

Selain bergantung pada  $\ell$  dan  $A$ ,  $R$  juga bergantung pada jenis hambatan. Jenis penghantar tersebut diwakili oleh suatu besaran hambatan jenis ( $\rho$ ), hambatan jenis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (8-5)$$

**Tabel 8.2**

Nilai Hambatan Jenis pada 20°C

Bahan	$\rho$ ( $\Omega$ meter)
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5,6 \times 10^{-8}$
Nikrom	$100 \times 10^{-8}$
Karbon	$(3 - 60) \times 10^{-5}$
Germanium	$(0,01 - 5) \times 10^{-1}$
Silikon	0,1 - 60
Kaca	$10^9 - 10^{12}$

Sumber: Physics, 2000

Nilai hambatan jenis beberapa bahan diberikan pada **Tabel 8.2**. Hambatan jenis suatu penghantar bergantung pada suhu penghantar tersebut. Secara matematis, hubungan antara hambatan jenis dan suhu diperoleh dari:

$$\Delta\rho = \rho_t - \rho_0$$

$$\Delta\rho = \rho_0 \alpha \Delta T$$

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (8-6)$$

Keterangan:

$\rho_t$  = hambatan jenis akhir ( $\Omega$  m);  $\rho_0$  = hambatan jenis mula-mula ( $\Omega$  m)

$\alpha$  = koefisien suhu hambatan;  $\Delta T$  = pertambahan suhu ( $^{\circ}$ C)

Oleh karena hambatan ( $R$ ) sebanding dengan hambatan jenis ( $\rho$ ), pengaruh suhu terhadap hambatan juga dapat ditulis:

$$\Delta R = R_t - R_0$$

$$\Delta R = R_0 \alpha \Delta T$$

$$R_t = \Delta R + R_0$$

$$R_t = R_0 \alpha \Delta T + R_0$$

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (8-7)$$

Keterangan:

$R_t$  = hambatan akhir ( $\Omega$ )

$R_0$  = hambatan mula-mula ( $\Omega$ )

### Kata Kunci

- beda potensial
- hambatan (resistor)
- hambatan jenis
- koefisien suhu hambatan

### Contoh 8.6

Tentukan hambatan sebatang aluminium yang panjangnya 50 cm dan luas penampangnya  $0,5 \text{ cm}^2$  (diketahui:  $\rho = 2,75 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ). Jika kedua ujung batang aluminium diberi beda tegangan sebesar  $1,5 \times 10^{-3} \text{ V}$ , berapakah arus yang mengalir dalam penghantar aluminium tersebut?

Jawab:

$$\ell = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}; \quad \rho = 2,75 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$A = 0,5 \text{ cm}^2 = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2; \quad V = 1,5 \times 10^{-3} \text{ V}$$

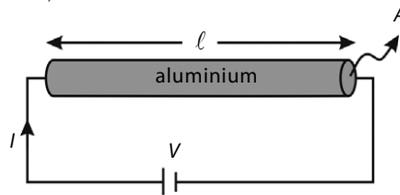
Untuk menentukan  $R$  kawat penghantar aluminium digunakan persamaan

$$R = \rho \frac{\ell}{A} = (2,75 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}) \frac{0,5 \text{ m}}{5 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 2,75 \times 10^{-4} \Omega$$

Berdasarkan Hukum Ohm.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ V}}{2,75 \times 10^{-4} \Omega} = 5,5 \text{ A}$$

Jadi, arus yang mengalir dalam penghantar aluminium adalah 5,5 A.



### Contoh 8.7

Sebuah termometer dari kawat tungsten memiliki hambatan  $40 \Omega$  pada suhu  $20^\circ\text{C}$ , dan hambatannya menjadi  $60 \Omega$  pada saat suhu  $100^\circ\text{C}$ . Tentukanlah suhu yang ditunjukkan termometer tersebut ketika hambatan kawatnya  $50 \Omega$ .

Jawab:

Diketahui:

$$T_0 = 20^\circ\text{C} \quad T_t = 100^\circ\text{C} \quad R_0 = 40 \Omega \quad R_t = 60 \Omega$$

Melalui persamaan perubahan hambatan, besar hambatan jenis akan diperoleh.

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta T} = \frac{(60 - 40) \Omega}{(40 \Omega)(80^\circ\text{C})} = 6,25 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Ketika hambatan kawatnya  $50 \Omega$ , suhunya adalah:

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{R_0 \alpha} = \frac{(50 - 40) \Omega}{(40 \Omega)(6,25 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C})} = 40^\circ\text{C}$$

sehingga

$$\Delta T = T_2 - T_0$$

$$40^\circ\text{C} = T_2 - 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C}$$

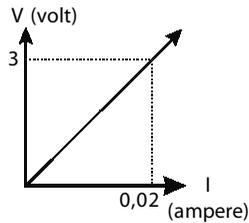
Jadi, suhu yang ditunjukkan termometer adalah  $60^\circ\text{C}$ .

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

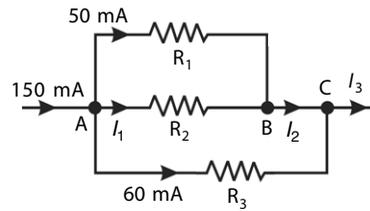
1. Berapakah kuat arus yang mengalir pada sebuah penghantar yang memiliki hambatan  $300 \Omega$  jika diberi tegangan sebesar 200 volt?
2. Sebuah komponen listrik diberi tegangan 60 volt sehingga mengalirkan arus  $\frac{1}{4} \text{ A}$ . Berapakah kuat arus yang mengalir pada komponen tersebut jika diberi tegangan 240 volt?

3. Hasil percobaan diperoleh grafik hubungan tegangan ( $V$ ) dan kuat arus ( $I$ ) pada sebuah resistor seperti pada gambar berikut. Jika  $V = 4,5$  volt, tentukan besar kuat arus yang mengalir.



4. Dari gambar rangkaian pada soal nomor 5, tentukan besarnya  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$ .

5. Perhatikan gambar rangkaian berikut ini.



Tentukan besarnya  $R_2$  jika  $V_{AB}$  adalah 1,6 volt.

## C. Rangkaian Seri dan Paralel

Pada subbab ini, Anda akan mempelajari rangkaian seri dan paralel komponen-komponen listrik. Perhatikan sistem instalasi listrik di rumahmu. Lampu, kompor listrik, setrika listrik, televisi, radio, komputer, dan pompa air merupakan alat-alat rumah tangga yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Alat-alat listrik tersebut dirangkai sedemikian rupa sehingga alat-alat tersebut dapat dinyalakan dan dimatikan masing-masing tanpa saling mengganggu alat-alat listrik lain. Sebagai contoh, Anda sedang menonton televisi, ibu sedang menyetrika, dan ayah sedang mandi. Alat-alat listrik yang sedang beroperasi saat itu, yaitu televisi, setrika listrik, dan pompa air. Apa yang terjadi ketika ibu mematikan setrika listrik? Apakah televisi dan pompa air juga mati? Tentu tidak, bukan? Mengapa demikian?

Contoh tersebut merupakan salah satu keuntungan penggunaan rangkaian paralel dalam merangkai alat-alat listrik. Bagaimana jika alat-alat tersebut dirangkai seri? Dalam mempelajari rangkaian seri dan paralel, Anda batasi penggunaan komponen-komponen listrik yang digunakan. Dalam hal ini, Anda akan menggunakan resistor sebagai komponen listriknya.

### 1. Hukum I Kirchhoff

Sebelum mempelajari lebih jauh mengenai Hukum I Kirchhoff, lakukanlah kegiatan berikut.



Perjanjian cara penggambaran baterai (sumber potensial DC) pada rangkaian adalah sisi yang lebih panjang menandakan kutub positifnya.



### Aktivitas Fisika 8.3

#### Hukum I Kirchhoff

##### Tujuan

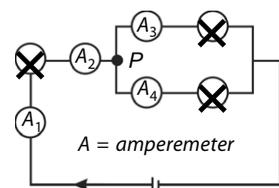
Memahami Hukum I Kirchhoff.

##### Alat-Alat Percobaan

1. Amperemeter DC (0 – 1 A),
2. Tiga lampu kecil (masing-masing 1,5 V)
3. Sebuah baterai (1,5 V)
4. Kabel penghubung secukupnya.

##### Langkah-Langkah Percobaan

1. Susunlah peralatan seperti pada gambar, letakkan amperemeter di posisi  $A_1$ ,
2. Amatilah, apakah semua lampu menyala?
3. Catat kuat arus yang ditunjukkan amperemeter, kemudian pindahkan amperemeter ke posisi  $A_2$ ,  $A_3$ , dan  $A_4$ .
4. Catat kuat arus yang ditunjukkan amperemeter pada semua posisi tersebut
5. Apakah  $A_1$  dan  $A_2$  menunjukkan angka yang sama?
6. Jumlahkan angka yang ditunjukkan oleh  $A_3$  dan  $A_4$ . Apakah hasil penjumlahannya sama dengan angka yang ditunjukkan oleh  $A_1$  atau  $A_2$ ?
7. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?



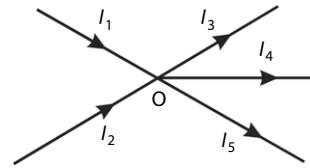
Dari kegiatan tersebut, diperoleh kesimpulan tentang Hukum I Kirchhoff. *Hukum I Kirchhoff berbunyi jumlah arus listrik yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan jumlah arus listrik yang keluar dari titik cabang tersebut.* Hukum ini merupakan pernyataan lain dari hukum kekekalan muatan yang menyatakan bahwa jumlah muatan yang mengalir tidak berubah.

Perhatikan **Gambar 8.6**. Gambar tersebut menunjukkan beberapa arus listrik yang keluar-masuk dari suatu titik percabangan. Sesuai dengan Hukum I Kirchhoff, akan berlaku

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}} \quad (8-8)$$

Dengan demikian, pada **Gambar 8.6** berlaku:

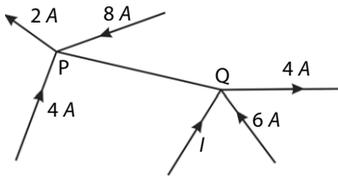
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$



**Gambar 8.6**  
Arus listrik yang memasuki dan keluar dari titik percabangan O.

### Contoh 8.8

Perhatikan gambar berikut.



Tentukan arah dan besar kuat arus listrik  $I$ .

**Jawab:**

Berdasarkan gambar, terdapat dua titik cabang, yaitu titik P dan Q.

- Untuk titik cabang P, misalkan arus pada cabang PQ memiliki arah keluar dari titik cabang P.

Berdasarkan Hukum I Kirchhoff:

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

$$4 \text{ A} + 8 \text{ A} = 2 \text{ A} + I_{\text{PQ}}$$

Jadi,  $I_{\text{PQ}} = 10 \text{ A}$  (berarah dari P ke Q).

- Untuk titik cabang Q, misalkan arah  $I$  masuk ke titik cabang Q.

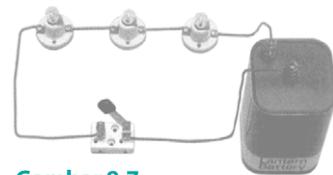
Berdasarkan Hukum I Kirchhoff

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

$$10 \text{ A} + 6 \text{ A} + I = 4 \text{ A}$$

Jadi,  $I = -12 \text{ A}$ .

(tanda negatif (-) menunjukkan bahwa arah  $I$  bukan masuk, tetapi keluar dari titik cabang Q).

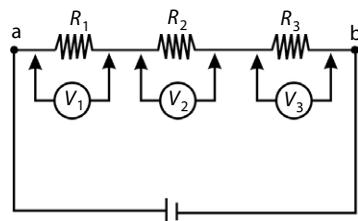


**Gambar 8.7**  
Rangkaian seri tiga buah lampu pijar.

## 2. Rangkaian Seri Resistor

Sebuah rangkaian listrik disebut rangkaian seri jika dalam rangkaian tersebut hanya ada satu lintasan yang dilalui arus listrik. Pada rangkaian seri, kuat arus listrik yang melalui setiap komponen sama besar, walaupun hambatan setiap komponen berbeda, **Gambar 8.7** menunjukkan rangkaian seri dari tiga buah lampu pijar.

Sekarang, perhatikan **Gambar 8.8** Tegangan pada ujung-ujung  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  adalah  $V_1$ ,  $V_2$  dan  $V_3$ ; sedangkan tegangan total antara titik  $a$  dan  $b$  adalah  $V_{ab}$ . Untuk hambatan-hambatan yang disusun seri berlaku:



**Gambar 8.8**  
Susunan seri hambatan

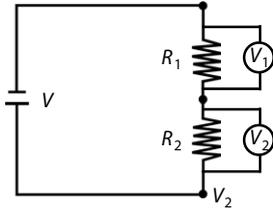
$$V_{ab} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (8-9)$$

Oleh karena  $V_1 = IR_1$ ;  $V_2 = IR_2$ ;  $V_3 = IR_3$ ; dan  $V_{ab} = IR_{tot}$  sehingga

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (8-10)$$

Untuk  $n$  buah hambatan, berlaku:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (8-11)$$



**Gambar 8.9**  
Rangkaian seri dua buah hambatan.

Persamaan-persamaan berikut untuk menyederhanakan dan mempermudah penyelesaian. Perhatikan **Gambar 8.9**.

a. Jika terdapat 2 hambatan disusun seri, berlaku

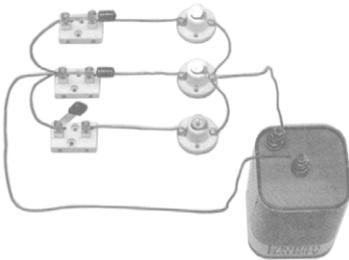
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad (8-12)$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (8-13)$$

b. Rangkaian seri berfungsi sebagai pembagi tegangan.

$$V_1 : V_2 : V_{tot} = R_1 : R_2 : R_{tot} \quad (8-14)$$

### 3. Rangkaian Paralel Resistor



**Gambar 8.10**  
Susunan paralel tiga buah lampu pijar

Jika suatu rangkaian listrik memberikan lebih dari satu lintasan untuk aliran arus listriknya, rangkaian tersebut dinamakan rangkaian paralel. Pada rangkaian paralel, tegangan pada setiap komponen sama besar, walaupun hambatan setiap komponen berbeda.

Beberapa lampu pijar yang disusun secara paralel tampak pada **Gambar 8.10**. Rangkaian paralel berfungsi sebagai pembagi arus.

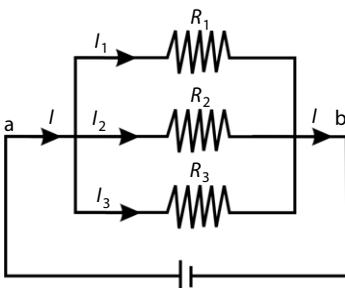
Seperti yang telah Anda pelajari pada Hukum I Kirchhoff, pada **Gambar 8.11**, kuat arus listrik yang melalui  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  adalah  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$ . Adapun kuat arus antara titik  $a$  dan  $b$  adalah  $I$ . Pada rangkaian paralel berlaku:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (8-15)$$

Oleh karena  $I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1}$ ;  $I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$ ;  $I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$  dan  $I = \frac{V_{ab}}{R_p}$

Dengan demikian,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (8-16)$$



**Gambar 8.11**  
Susunan paralel hambatan

untuk  $n$  buah hambatan berlaku:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (8-17)$$

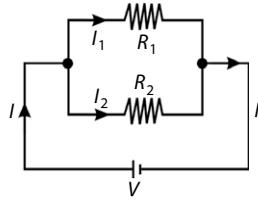
Selain dapat disusun secara seri dan paralel, komponen-komponen listrik dapat pula disusun secara gabungan seri-paralel.

## Mari Mencari Tahu



Perhatikan gambar berikut.

Sebuah rangkaian tertutup yang terdiri atas dua buah resistor dan sebuah sumber tegangan.



Tugas Anda adalah membuktikan persamaan-persamaan berikut. Persamaan-persamaan berikut berguna untuk menyederhanakan dan mempermudah penyelesaian.

1. Jika terdapat 2 hambatan disusun paralel, berlaku:

$$\bullet \quad I_{tot} = \frac{V_{ab}}{R_1 + R_2} \quad \bullet \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_{tot}$$

$$\bullet \quad I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_{tot}$$

2. Untuk  $n$  buah hambatan yang disusun paralel dan setiap hambatan besarnya  $R$ , hambatan totalnya adalah:

$$R_m = \frac{\Sigma R}{n}$$

3. Hambatan paralel berfungsi sebagai pembagi arus dengan nilai perbandingan kuat arus pada setiap cabang adalah:

$$R_1 : R_2 : R_{tot} = \frac{1}{I_1} : \frac{1}{I_2} : \frac{1}{I_{tot}}$$

4. Beda potensial setiap hambatan sama besar.

## 4. Jembatan Wheatstone

Jembatan *Wheatstone* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengukur hambatan yang belum diketahui. Selain itu, jembatan *wheatstone* digunakan untuk mengoreksi kesalahan yang dapat terjadi dalam pengukuran hambatan menggunakan Hukum Ohm. Susunan rangkaian jembatan *Wheatstone* ditunjukkan pada **Gambar 8.12**.

Jika jarum galvanometer  $G$  menunjukkan angka nol (setimbang), berarti pada galvanometer tidak ada arus listrik yang mengalir. Akibatnya, pada keadaan ini tegangan di  $R_1 (V_{PQ})$  sama dengan tegangan di  $R_4 (V_{PS})$  dan tegangan di  $R_2 (V_{QR})$  sama dengan di  $R_3 (V_{SR})$  sehingga jika  $G = 0$ , berlaku:

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad (8-18)$$

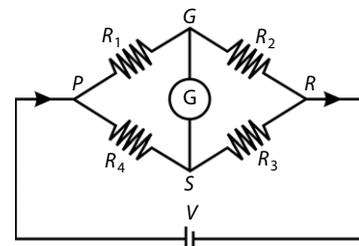
**Persamaan (8-18)** dikenal dengan prinsip jembatan *Wheatstone*.

Bentuk sederhana sebuah jembatan *Wheatstone* ditunjukkan seperti pada **Gambar 8.13**. Ketika saklar  $S$  dihubungkan, arus mengalir melalui

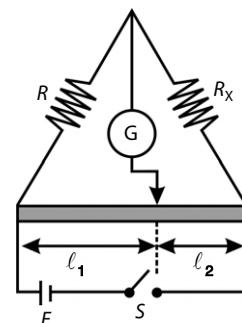


## Tantangan untuk Anda

Jika Anda telah memahami susunan seri hambatan pada rangkaian, tentukan oleh Anda sehingga diperoleh persamaan (8 - 12), persamaan (8 - 13), dan persamaan (8 - 14) dengan cara menurunkan dari persamaan (8 - 9) dan persamaan (8 - 10).



**Gambar 8.12**  
Rangkaian jembatan *Wheatstone*



**Gambar 8.13**  
Rangkaian sederhana jembatan *Wheatstone*

## Tugas Anda

Turunkan oleh Anda persamaan (8 – 19) berdasarkan **Gambar 8.13**.

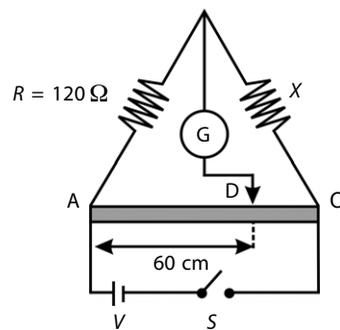
susunan rangkaian, sedangkan jarum Galvanometer menyimpang ke kiri atau ke kanan. Jembatan dalam keadaan setimbang akan diperoleh dengan menggeser-geser kontak sepanjang kawat  $\ell$ . Pada keadaan setimbang, jarum Galvanometer akan menunjukkan angka nol sehingga diperoleh:

$$R_x \ell_1 = R \ell_2 \text{ atau } R_x = \frac{\ell_2}{\ell_1} R \quad (8-19)$$

$R_x$  adalah hambatan yang hendak diukur, sedangkan  $R$  hambatan standar yang sudah diketahui. Panjang kawat  $\ell_1$  dan  $\ell_2$  dapat terbaca melalui skala panjang pada kawat tersebut.

### Contoh 8.9

Perhatikan gambar berikut.



Panjang AC = 80 cm. Jarum galvanometer akan setimbang ketika kontak D berada 60 cm dari ujung A. Tentukan nilai hambatan  $x$ .

**Jawab:**

$$CD = 80 \text{ cm} - 60 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Syarat jembatan dalam keadaan setimbang adalah

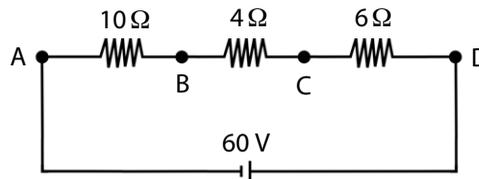
$$(x)(AD) = (120 \Omega)(CD)$$

$$x(60 \text{ cm}) = (120 \Omega)(20 \text{ cm})$$

$$x = 40 \Omega$$

### Contoh 8.10

Tiga buah resistor masing-masing  $10 \Omega$ ,  $4 \Omega$ , dan  $6 \Omega$  disusun seri dan ujung-ujungnya dihubungkan dengan baterai 60 V seperti pada gambar berikut.



Tentukan:

- kuat arus yang mengalir pada rangkaian;
- beda potensial antara A dan B;
- beda potensial antara B dan C;
- beda potensial antara C dan D.

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \text{a. } V_{AD} &= IR_{AD} \\ 60 \text{ V} &= I(10 + 4 + 6) \Omega \\ 60 \text{ V} &= I(20 \Omega) \\ I &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir pada rangkaian adalah 3 A.

$$\text{b. } V_{AB} = IR_{AB} = (3 \text{ A})(10 \Omega) = 30 \text{ V}$$

$$\text{c. } V_{BC} = IR_{BC} = (3 \text{ A})(4 \Omega) = 12 \text{ V}$$

$$\text{d. } V_{CD} = IR_{CD} = (3 \text{ A})(6 \Omega) = 18 \text{ V}$$

Jadi,  $V_{AB} = 30 \text{ V}$ ,  $V_{BC} = 12 \text{ V}$ , dan  $V_{CD} = 18 \text{ V}$ .

## 5. Rangkaian Seri dan Paralel Sumber Tegangan

Sebelum membahas susunan seri-paralel sumber tegangan, terlebih dahulu akan dibahas mengenai perbedaan gaya gerak listrik dengan tegangan listrik.

### a. Perbedaan Gaya Gerak Listrik dengan Tegangan Jepit

Gaya gerak listrik (ggl) adalah beda potensial antara ujung-ujung kutub sumber arus listrik ketika sumber arus listrik tersebut tidak mengalirkan arus listrik. Tegangan jepit adalah beda potensial antara ujung-ujung sumber arus listrik ketika sumber arus listrik tersebut terbebani atau mengalirkan arus listrik. Hubungan antara ggl dan tegangan jepit adalah

$$V_{\text{jepit}} = \varepsilon - IR \quad (8-20)$$

### b. Sumber Tegangan Disusun Seri

Untuk mendapatkan sumber tegangan yang lebih besar daripada tegangan setiap sumber tegangan, beberapa sumber tegangan harus disusun secara seri.

Tiga baterai disusun secara seri seperti pada **Gambar 8.14**. Jika Anda perhatikan, ketiga baterai disusun berderet di mana kutub kedua baterai yang berdekatan selalu berlawanan tanda.

Jika sejumlah sumber tegangan atau baterai disusun secara seri, berlaku:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots \quad (8-21)$$

dengan hambatan dalamnya

$$r_{\text{tot}} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots \quad (8-22)$$

Kuat arus yang mengalir melalui rangkaian pada **Gambar 8.14** tersebut memenuhi persamaan:

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{r_1 + r_2 + r_3 + R} \quad (8-23)$$

Untuk  $n$  buah sumber tegangan yang disusun seri, berlaku

$$I = \frac{n\varepsilon}{nr + R} \quad (8-24)$$

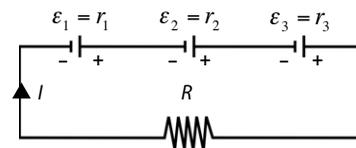
### c. Sumber Tegangan Disusun Paralel

Jika sejumlah sumber tegangan yang memiliki ggl sama  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \dots = \varepsilon$  disusun secara paralel maka berlaku:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon \quad (8-25)$$

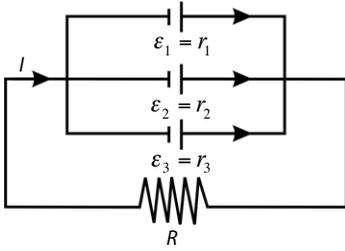
Hambatan dalamnya dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots \quad (8-26)$$



**Gambar 8.14**

Rangkaian seri tiga sumber tegangan atau baterai.



**Gambar 8.15**  
Tiga sumber tegangan disusun paralel.

Perhatikan **Gambar 8.15**. Kuat arus  $I$  yang mengalir pada rangkaian adalah:

$$I = \frac{\Sigma \varepsilon_{tot}}{R + \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right)} \quad (8-27)$$

untuk  $n$  buah sumber tegangan dengan  $ggl = \varepsilon$  dan hambatan dalam  $r$  yang disusun paralel berlaku:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}} \quad (8-28)$$



### Tantangan untuk Anda

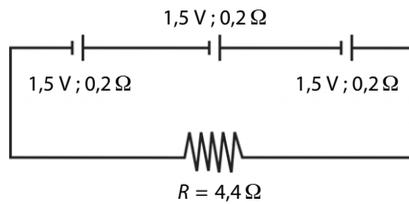
Empat buah hambatan masing-masing besarnya 1 ohm dihubungkan seperti pada gambar berikut.



Hitunglah hambatan total  $R$  antara titik A dan titik B.

### Contoh 8.11

Tiga buah baterai disusun secara seri seperti gambar berikut.



Setiap baterai memiliki  $ggl$  1,5 V dan hambatan dalam 0,2  $\Omega$ . Jika ketiga buah baterai tersebut dihubungkan dengan sebuah hambatan  $R = 4,4 \Omega$ , tentukan kuat arus yang mengalir melalui hambatan  $R$ .

**Jawab:**

Diketahui:

$$\varepsilon = 1,5 \text{ V}$$

$$r = 0,2 \Omega$$

$$n = 3$$

$$R = 4,4 \Omega$$

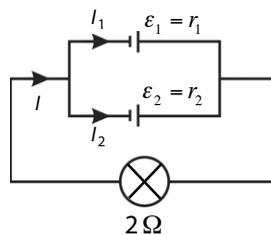
Untuk menentukan kuat arus yang mengalir, digunakan **Persamaan (8-24)**

$$\begin{aligned} I &= \frac{n\varepsilon}{nr + R} \\ &= \frac{(3)(1,5 \text{ V})}{3(0,2) + 4,4} = 0,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir 0,9 A.

### Contoh 8.12

Dua buah baterai disusun secara paralel seperti pada gambar berikut.



Jika setiap baterai memiliki ggl 1,5 V dan hambatan dalamnya 1 Ω, kemudian ujung-ujung rangkaianannya dihubungkan dengan lampu pijar yang memiliki hambatan 2 Ω, tentukan:

- kuat arus yang mengalir melalui lampu pijar;
- tegangan jepit setiap baterai.

**Jawab:**

Diketahui:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 1,5 \text{ V}; & R &= 2 \Omega \\ r &= 1 \Omega; & n &= 2 \end{aligned}$$

$$a. \quad I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{tot}} + r_{\text{tot}}} = \frac{1,5 \text{ V}}{\left(2 + \frac{1}{2}\right) \Omega} = 0,6 \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir 0,6 ampere.

$$b. \quad I_1 = I_2 = \frac{1}{2} I = 0,3 \text{ A}$$

$$V_{\text{jepit}} = \varepsilon - Ir = 1,5 \text{ V} - (0,3 \times 1) \text{ V} = 1,2 \text{ V}$$

Jadi, tegangan jepit setiap baterai adalah 1,2 V.

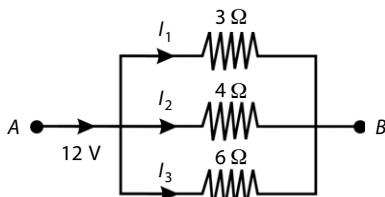
## Kata Kunci

- rangkaian seri
- rangkaian paralel
- Hukum I Kirchhoff
- titik percabangan
- jembatan Wheatstone
- galvanometer
- gaya gerak listrik
- tegangan jepit
- hambatan dalam

## Tes Kompetensi Subbab C

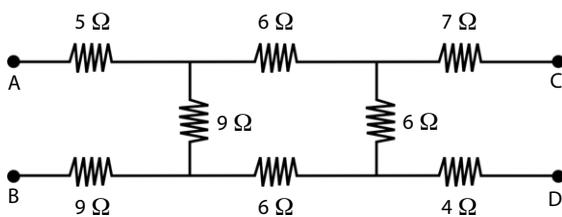
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Perhatikan gambar berikut.



Tentukan besarnya:

- hambatan total antara titik A dan B;
  - $I_1$ ;
  - $I_2$ ;
  - $I_3$ .
- Pada gambar rangkaian berikut.



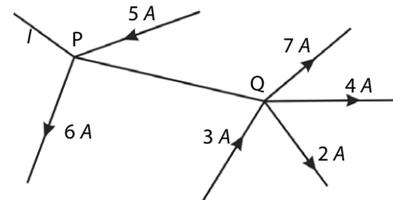
Tentukan:

- hambatan listrik antara titik A dan B;
  - hambatan listrik antara titik A dan C.
- Lima buah baterai masing-masing dengan ggl 1,5 V dan hambatan dalam 1 Ω disusun seri, kemudian ujung-ujungnya dihubungkan dengan sebuah lampu pijar yang berhambatan 0,8 Ω. Tentukan:

- kuat arus yang mengalir melalui lampu pijar;
- tegangan jepit setiap baterai.

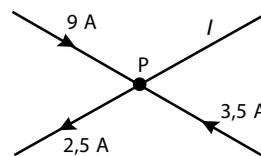
- Beberapa baterai masing-masing dengan ggl 1,5 V dan hambatan dalam 0,1 Ω disusun paralel, kemudian dihubungkan dengan sebuah lampu pijar yang hambatannya 1 Ω. Jika kuat arus yang mengalir melalui lampu 2 A, berapakah jumlah baterai yang disusun paralel?

- Perhatikan gambar berikut.

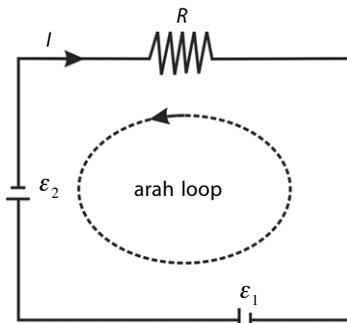


Tentukan arah dan besar kuat arus  $I$ .

- Tentukan besar dan arah arus  $I$  dari gambar berikut.



## D. Hukum II Kirchhoff



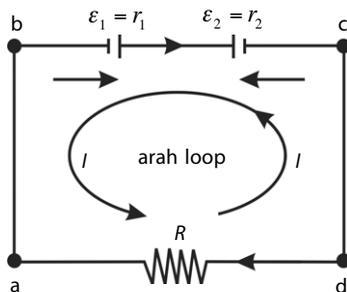
**Gambar 8.16**  
Sebuah rangkaian tertutup

$$\Sigma V = 0 \quad (8-29)$$

Perhatikan **Gambar 8.16**. Gaya gerak listrik  $\varepsilon$  dari sumber tegangan menyebabkan arus listrik mengalir sepanjang loop. Arus listrik di dalam loop mendapat hambatan sehingga mengalami penurunan tegangan. **Persamaan (8-29)** dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0 \quad (8-30)$$

### 1. Rangkaian dengan Satu Loop



**Gambar 8.17**  
Rangkaian dengan satu loop

**Gambar 8.17** menunjukkan rangkaian sederhana dengan satu loop. Pada rangkaian tersebut, arus listrik yang mengalir adalah sama, yaitu  $I$ . Misalkan, Anda mengambil arah loop searah dengan arah  $I$ , yaitu  $a-b-c-d-a$ . Selanjutnya, kuat arus  $I$  dapat dihitung dengan Hukum II Kirchhoff berikut.

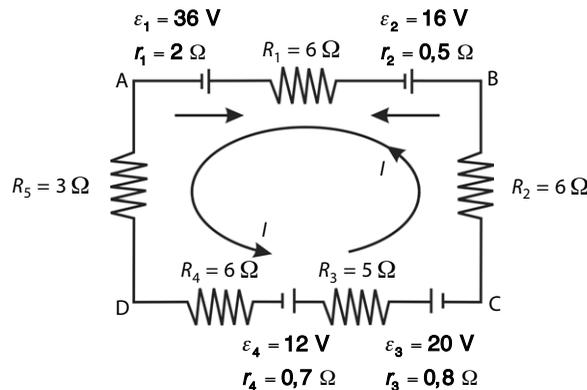
$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$

Maka pada **Gambar 8.17**, berlaku:

$$-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + I(r_1 + r_2 + R) = 0$$

### Contoh 8.13

Perhatikan rangkaian tertutup seperti gambar berikut.



Hitunglah:

- kuat arus yang mengalir pada rangkaian;
- $V_{BD}$ .

**Jawab:**

- Menurut Hukum II Kirchhoff, di dalam rangkaian tertutup tersebut berlaku:  
 $\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$ .

Misalkan, arah loop searah dengan putaran jarum jam sehingga persamaan tersebut menjadi

$$-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + I(R_1 + r_1 + r_2 + R_2 + r_3 + R_3 + r_4 + R_4 + R_5) = 0$$

$$-36 - 16 - 20 + 12 + I(6 + 2 + 0,5 + 6 + 0,8 + 5 + 0,7 + 6 + 3) = 0$$

$$60 \text{ V} = I(30) \Omega$$

$$I = 2 \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir adalah 2 A.

- b. Anda dapat menghitung  $V_{BD}$  untuk lintasan yang menempuh jalan BAD atau jalan BCD.

Untuk jalan BAD

$$V_{BD} = \sum \varepsilon + \sum IR = 16 + 36 + I(0,5 + 6 + 2 + 6) \\ = 52 + (-2(11,5)) = 52 - 23 = 29 \text{ V}$$

Untuk jalan BCD

$$V_{BD} = \sum \varepsilon + \sum IR \\ = -20 + 12 + I(6 + 0,8 + 5 + 0,7 + 6) = -8 + 2(18,5) = 29 \text{ V}$$

Jadi,  $V_{BD} = 29 \text{ V}$ .



Perjanjian tanda ggl dan kuat arus dalam rangkaian tertutup (loop).

- Kuat arus bertanda negatif jika searah dengan arah loop, dan bertanda positif jika berlawanan arah dengan arah loop.
- $\varepsilon$  (ggl) bertanda negatif jika kutub positifnya lebih dahulu dijumpai daripada kutub negatifnya ketika mengikuti arah loop, dan sebaliknya.

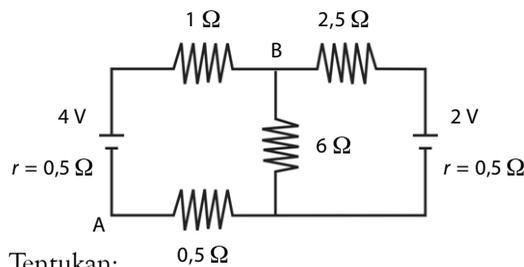
## 2. Rangkaian dengan Dua Loop atau Lebih

Rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih disebut juga rangkaian majemuk. Langkah-langkah dalam menyelesaikan rangkaian majemuk adalah sebagai berikut.

- Gambarlah rangkaian listrik majemuk tersebut.
- Tetapkan arah kuat arus untuk setiap cabang.
- Tuliskan persamaan-persamaan arus untuk tiap titik cabang menggunakan Hukum I Kirchhoff.
- Tetapkan loop beserta arahnya pada setiap rangkaian tertutup.
- Tuliskan persamaan-persamaan untuk setiap loop menggunakan Hukum II Kirchhoff.
- Hitung besaran-besaran yang ditanyakan menggunakan persamaan-persamaan pada langkah e.

### Contoh 8.14

Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut.



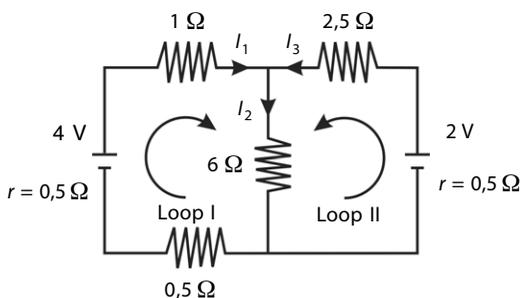
Tentukan:

- kuat arus yang mengalir dalam hambatan  $1 \Omega$ ,  $2,5 \Omega$  dan  $6 \Omega$ ;
- beda potensial antara titik A dan B.

**Jawab:**

Diketahui:

Rangkaian pada soal dapat diubah menjadi seperti gambar berikut.



## Kata Kunci

- Hukum II Kirchhoff
- rangkaian tertutup (loop)
- perubahan tegangan

a. Berdasarkan Hukum I Kirchhoff,  
 $I_1 + I_3 = I_2$  atau  $I_1 = I_2 - I_3$  ..... (1)  
 Berdasarkan Hukum II Kirchhoff, untuk Loop I diperoleh

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$

$$-4 + (0,5 + 1 + 0,5)I_1 + 6I_2 = 0$$

$$I_1 + 3I_2 = 2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan Hukum Kirchhoff II, untuk Loop II diperoleh

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$

$$2 - (2,5 + 0,5) I_3 - 6I_2 = 0$$

$$3I_3 - 6I_2 = 2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dengan mensubstitusikan **Persamaan (1)** ke dalam **Persamaan (2)** maka diperoleh

$$I_1 = \frac{6}{9} \text{ A}$$

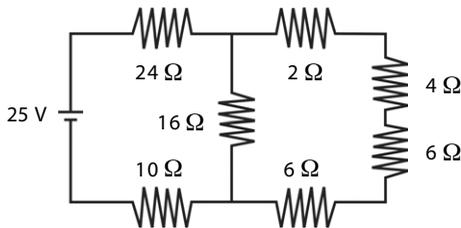
$$I_2 = \frac{4}{9} \text{ A dan } I_3 = -\frac{2}{9} \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir dalam hambatan  $1 \Omega$  adalah  $\frac{2}{9} \text{ A}$ , yang mengalir dalam hambatan  $2,5 \Omega$  adalah  $\frac{4}{9} \text{ A}$ , dan yang mengalir dalam hambatan  $6 \Omega$  adalah  $\frac{2}{9} \text{ A}$  (tanda (-) menunjukkan bahwa arah arus berlawanan arah dengan arah pemisalan).

## Tes Kompetensi Subbab D

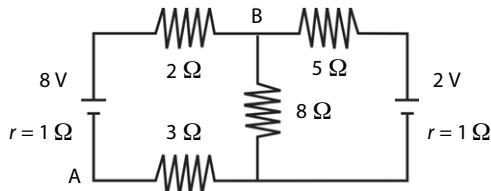
Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut.



Tentukan kuat arus yang mengalir dalam hambatan  $24 \Omega$ ,  $16 \Omega$ , dan kuat arus total dari sumber tegangan.

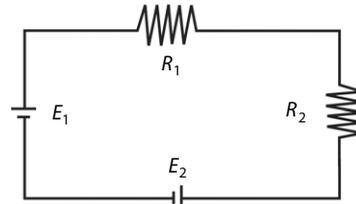
2. Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut.



Tentukan:

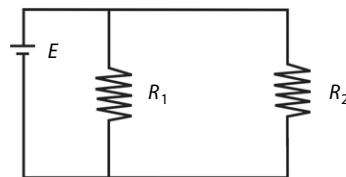
- a. kuat arus yang mengalir dalam hambatan  $2 \Omega$ ,  $5 \Omega$ , dan  $8 \Omega$ ;
- b. beda potensial antara titik A dan B.

3. Jika  $R_1 = 15 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ ,  $E_1 = 20 \text{ V}$ , dan  $E_2 = 20 \text{ V}$ , tentukan:



- a. arus yang mengalir pada rangkaian;
- b. tegangan pada setiap resistor.

4. Jika  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ , dan  $E = 20 \text{ V}$ , maka tentukan:



- a. tegangan pada setiap resistor;
- b. arus total;
- c. arus yang mengalir pada setiap resistor.

## E. Sumber Arus Searah dari Proses Kimiawi

Anda mungkin pernah melihat dan mengenal baterai yang digunakan pada jam dinding atau pada radio. Anda juga mungkin pernah mengenal sekelompok masyarakat di suatu daerah terpencil yang menggunakan sel fotovoltaik sebagai sumber arus listrik untuk penerangan. Semua itu merupakan sumber arus searah.

Sumber arus searah disebut juga sumber tegangan searah sebab arus ditimbulkan oleh sumber tegangan. Berikut contoh sumber-sumber arus listrik.

1. Sumber elektromagnetik, dapat menghasilkan arus listrik karena gejala induksi elektromagnetik. Misalnya, dinamo diperlihatkan pada **Gambar 8.18**.
2. Sumber listrik termoelektrik, arus listrik dapat dihasilkan dari efek termoelektrik.
3. Sumber fotolistrik, berasal dari suatu proses Fisika yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik.
4. Sumber piezoelektrik, dihasilkan dari efek piezoelektrik, yaitu sifat bahan yang apabila menerima tekanan dari luar dapat menghasilkan arus listrik.

### 1. Sumber Listrik dari Bahan Kimia

Penemuan sumber arus listrik dari bahan kimia diawali oleh ilmuwan Italia, **Luigi Galvani** (1737–1798). Ia menemukan bahwa otot-otot katak yang sudah mati menyentak jika disentuh dengan dua logam yang berbeda. Perkembangan berikutnya, **Alessandro Volta** menemukan baterai (elemen kering) pertama di dunia.

Sekarang, sumber arus listrik dari bahan kimia merupakan sumber arus listrik yang banyak digunakan. Sumber arus listrik dari bahan kimia dibedakan sebagai berikut.

1. *Elemen primer*, yaitu elemen yang memerlukan pergantian bahan-bahan pereaksi setelah membebaskan sejumlah energi melalui rangkaian luarnya. Elemen primer ini menggunakan bahan kimia yang reaksi kimianya tak dapat dibalikkan sehingga elemen primer hanya dapat digunakan satu kali pemakaian. Contohnya, sel Volta dan elemen kering (baterai).
2. *Elemen sekunder*, yaitu elemen yang bahan-bahan pereaksinya dapat diperbarui kembali setelah tidak berfungsi lagi. Contohnya, akumulator dan baterai isi ulang.

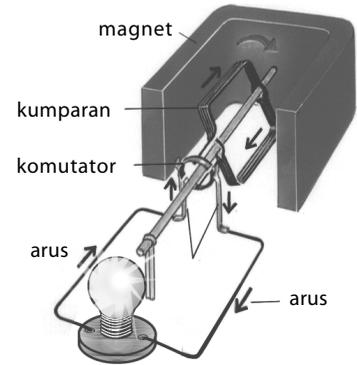
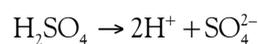
#### a. Elemen Primer

Elemen ini banyak macamnya. Berikut ini beberapa sumber arus listrik yang tergolong sebagai elemen primer.

##### 1) Elemen Volta

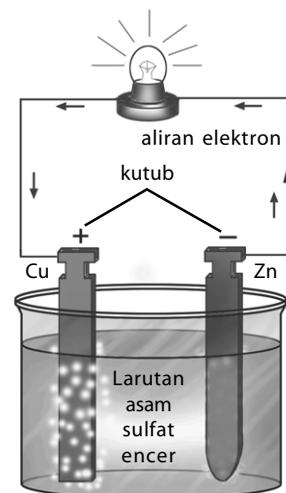
Elemen Volta ditemukan oleh **Alessandro Volta**. Volta menemukan bahwa berbagai logam dan larutan asam atau garam dapat digunakan sebagai elemen sederhana. Akan tetapi, biasanya yang digunakan ialah lempeng seng (Zn) yang dicelupkan ke dalam larutan asam sulfat. **Gambar 8.19** menunjukkan elemen Volta.

Proses kimia yang terjadi pada elemen Volta dapat dijelaskan dengan persamaan kimia berikut.



**Gambar 8.18**

Dinamo atau generator adalah contoh dari sumber elektromagnetik.



**Gambar 8.19**  
Elemen Volta

Setiap molekul asam sulfat di dalam air, pecah menjadi 2 ion hidrogen yang bermuatan positif dan 1 ion  $\text{SO}_4^{2-}$  yang bermuatan negatif. Atom seng yang melarut ke dalam larutan asam sulfat berupa  $\text{Zn}^{2+}$ . Setiap atom yang larut meninggalkan dua elektron pada lempeng seng. Elektron-elektron inilah yang mengalir dari seng ke tembaga (Cu) melalui kawat penghantar sehingga terjadi arus listrik.

## 2) Elemen Kering (Batu Baterai)

Elemen kering atau lebih dikenal dengan istilah batu baterai merupakan sumber arus listrik yang paling banyak digunakan. **Gambar 8.20** menunjukkan gambar susunan dasar sebuah elemen kering.

Kutub positif elemen kering terbuat dari karbon yang dikelilingi inti yang terbuat dari campuran oksida mangan dan arang yang dimampatkan. Kutub negatif elemen kering terbuat dari seng yang sekaligus menjadi wadah yang berisi semacam pasta amonium klorida. Campuran oksida mangan dan karbon di sekeliling batang karbon bertindak sebagai depolarisator (pencegahan pengkutuban).



**Gambar 8.20**

Susunan dasar sebuah elemen kering.

## b. Elemen Sekunder

Elemen sekunder adalah sumber arus dari bahan kimia yang reaksi kimianya dapat dibalik. Oleh karenanya, elemen ini dapat diperbaharui secara berulang-ulang. Salah satu contoh elemen ini yang paling dikenal di masyarakat adalah akumulator atau aki.

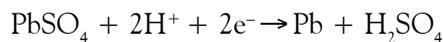
Dalam bab ini akan dibahas dua buah contoh elemen sekunder, yaitu akumulator timbal asam sulfat dan akumulator nikel kadmium.

### 1) Akumulator Timbal Asam Sulfat

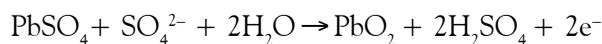
Akumulator ini banyak ditemukan pada mesin sepeda motor, mobil atau pada mesin-mesin yang lain sebagai sumber listrik. Pada akumulator jenis ini, bahan larutan elektrolit yang digunakan adalah asam sulfat. Itulah sebabnya, akumulator jenis ini disebut juga akumulator asam sulfat. Bagian-bagian akumulator asam sulfat ditunjukkan pada **Gambar 8.21**.

Pada dasarnya, ada dua proses penting dalam akumulator. Pertama, proses pengisian akumulator dan kedua, proses penggunaan akumulator. Pada proses pengisian akumulator, sejumlah arus listrik dialirkan pada akumulator sedemikian hingga berubah menjadi energi kimia. Di dalam akumulator, larutan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terurai menjadi  $2\text{H}^+$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Reaksi kimia yang terjadi pada proses pengisian adalah sebagai berikut.

- Di katode:



- Di anode:

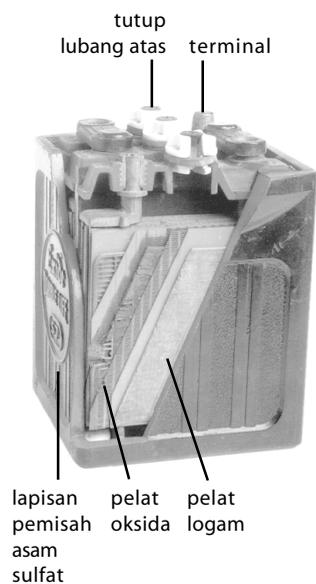


Pada proses pengisian, ion H dialirkan ke katoda dan ion sulfat dialirkan ke anoda. Adapun pada proses pemakaian, kedua elektroda dihubungkan sehingga terjadi aliran elektron dari elektroda Pb melalui beban (misalnya, lampu) ke elektroda  $\text{PbO}_2$ . Pada proses pemakaian, di dalam akumulator akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut.

- Ion H positif akan bergerak menuju  $\text{PbO}_2$  sehingga terjadi reaksi



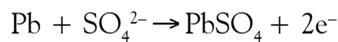
Keping  $\text{PbO}_2$  berubah menjadi timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ).



**Gambar 8.21**

Bagian-bagian akumulator asam sulfat.

- Ion  $\text{SO}_4^{2-}$  bergerak menuju ke Pb sehingga terjadi reaksi



Keping Pb juga berubah menjadi timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ).

Kedua reaksi tersebut terus berlanjut sampai kedua elektroda menjadi timbal sulfat. Setelah keadaan ini tercapai, tidak ada lagi aliran elektron (tidak ada arus yang mengalir). Dengan demikian, akumulator tidak berfungsi lagi.

## 2) Akumulator Nikel-Kadmium

Pada akumulator ini, bahan elektrolit yang digunakan adalah kalium hidroksida. Kutub positifnya adalah nikel dan kutub negatifnya adalah campuran logam kadmium. Akumulator nikel-kadmium banyak dibuat dengan bentuk seperti elemen kering, tetapi harganya jauh lebih mahal daripada baterai biasa. Keuntungannya ialah dapat dilakukan pengisian ulang dan disimpan lama.

**Kata Kunci**

- proses kimiawi
- elektromagnetik
- termoelektrik
- fotolistrik
- piezoelektrik
- elemen primer
- elemen sekunder

## Tes Kompetensi Subbab E

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Sebutkan sumber-sumber arus listrik.
2. Apa yang dimaksud elemen primer dan elemen sekunder? Sebutkan contoh-contohnya.
3. Tuliskan reaksi kimia yang terjadi di dalam elemen Volta.
4. Jelaskan yang dimaksud proses pengisian dan proses penggunaan akumulator.
5. Tuliskan reaksi kimia yang terjadi di katode dan di anode pada proses pengisian akumulator.

## F. Tegangan Listrik Searah dan Bolak-Balik

### 1. Energi Listrik

Anda telah mengetahui bahwa arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial yang lebih rendah. Selain itu, elektron sebagai pembawa muatan listrik memerlukan energi untuk berpindah, yakni energi potensial yang besarnya muatan dikali potensial listriknya.

$$E_p = qV$$

Oleh karena itu, energi listrik adalah usaha untuk memindahkan muatan listrik tersebut. Besarnya energi listrik tersebut adalah

$$W = E_{p2} - E_{p1}$$

$$W = qV_2 - qV_1$$

$$V = V_2 - V_1$$

$$W = qV$$

$$W = VI t \tag{8-31}$$

$W$  adalah besar energi listrik,  $V$  adalah tegangan,  $I$  adalah kuat arus listrik, dan  $t$  adalah waktu. Jika mensubstitusikan  $V = IR$ , persamaan (8-31) menjadi

$$W = I^2 R t \tag{8-32}$$

atau

$$W = \frac{V^2}{R} t \tag{8-33}$$

**Ingatlah**

$I = \frac{q}{t}$   
maka  $q = I t$



## Tokoh

### Alessandro Volta (1745 – 1827)



Sumber: [www.physics.com](http://www.physics.com).

**Alessandro Volta**, adalah Fisikawan yang dilahirkan di Como, Italia. Dia menciptakan *electrophorus*, yaitu suatu alat untuk membangkitkan listrik statis pada 1775 dan menemukan gas metana pada 1778. Dia ditetapkan sebagai profesor untuk filsuf ilmu alam di Pavia. Terinspirasi oleh temannya **Luigi Galvani, Volta** menemukan bahwa arus listrik dibangkitkan ketika dua logam berbeda berada pada jarak yang sangat dekat, dan mengembangkan baterai listrik pertama pada 1800. Namanya diabadikan untuk satuan beda potensial listrik, volt.

Sumber: [www.allbiographies.com](http://www.allbiographies.com)

Keterangan:

$W$  = energi listrik (J)

$V$  = beda potensial (V)

$I$  = kuat arus (A)

$R$  = hambatan ( $\Omega$ )

$t$  = selang waktu (s)

Adapun daya listrik ( $P$ ) adalah jumlah energi per satuan waktu. Daya listrik dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t} \text{ atau } P = VI \quad (8-34)$$

$$P = I^2R \text{ atau } P = \frac{V^2}{R} \quad (8-35)$$

Alat-alat pemanas yang banyak dijumpai merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, seperti setrika, teko listrik, dan *rice cooker*. Energi listrik yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik tersebut selama  $t$  sekon sebesar  $W = VI t$ . Kemudian, energi tersebut diubah menjadi energi kalor sebesar  $Q = mc \Delta T$ . Secara matematis, perubahan energi listrik  $W$  menjadi energi kalor  $Q$  tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$W = Q$$

$$I^2Rt = mc \Delta T \quad (8-36)$$

Keterangan:

$m$  = massa air (kg)

$c$  = kalor jenis air = 4.200 J/kg $^{\circ}$ C

$\Delta T$  = kenaikan suhu air ( $^{\circ}$ C)

Catatan: **Persamaan (8-36)** berlaku jika tidak terjadi perubahan wujud cair (sebelum terjadi penguapan).

### Contoh 8.15

Sebuah bola lampu dengan spesifikasi 100 W; 220 V dipasang pada beda potensial 110 V dan dinyalakan selama 10 menit. Hitung energi listrik yang terpakai lampu tersebut.

**Jawab:**

Diketahui:

$$V_1 = 220 \text{ V}$$

$$V_2 = 110 \text{ V}$$

$$P_1 = 100 \text{ W}$$

$$t = 10 \text{ menit} = 600 \text{ s}$$

Hambatan lampu dianggap konstan sehingga:

$$R = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{V_2^2}{P_2} \text{ maka } P_2 = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \times P_1$$

$$P_2 = \left( \frac{110 \text{ V}}{220 \text{ V}} \right)^2 \times 100 \text{ W} \rightarrow P_2 = 25 \text{ W}$$

$$W = Pt = (25 \text{ W})(600 \text{ s}) = 1,5 \times 10^4 \text{ J}$$

Jadi, energi listrik yang terpakai  $1,5 \times 10^4 \text{ J}$ .

## Mari Mencari Tahu



Energi listrik sangat diperlukan dalam kehidupan manusia. Energi listrik di rumah Anda berasal dari PLN. Energi listrik ini di antaranya berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Pernahkah Anda mendengar Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir? Tugas Anda, carilah informasi mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir ini. Tulislah informasi tersebut dalam kertas dan dikumpulkan kepada guru Anda. Gunakanlah buku-buku di perpustakaan sekolah atau daerah, koran, internet, dan media lain untuk mencari informasi tersebut.

Anda telah mempelajari arus listrik searah, tegangan listrik searah, dan sumber arus listrik searah, serta rangkaian sederhana terdiri atas baterai hingga diperoleh nilai  $V$  dan  $I$  yang disebut dengan rangkaian arus searah.

Arus dan tegangan listrik bolak-balik memiliki nilai yang selalu berubah-ubah terhadap waktu secara periodik, baik besar maupun arahnya. Besaran arus dan tegangan bolak-balik dilambangkan dengan  $\text{---}\text{~}\text{---}$ , sedangkan arus dan tegangan searah dilambangkan dengan  $\text{---}|$ . Dewasa ini, hampir semua peralatan rumah tangga dioperasikan dengan energi listrik arus bolak-balik, seperti tampak pada **Gambar 8.22**. Anda telah mengetahui bahwa perbedaan mendasar antara arus bolak-balik dan arus searah adalah polaritasnya.

Untuk mengetahui polaritas arus dan tegangan searah yang selalu tetap dan arus bolak-balik yang selalu berubah dapat digunakan osiloskop misalnya CRD (*Cathode Ray Oscilloscope*). Melalui alat ini juga diamati nilai frekuensi dan bentuk gelombang yang dihasilkan, sedangkan untuk mengukur nilai tegangan dan kuat arus listrik dapat digunakan voltmeter AC dan amperemeter AC.

## 2. Mengamati Tegangan Listrik DC dan Tegangan Listrik AC

Untuk mengukur tegangan DC dan AC maksimum ( $V_m$ ) dan tegangan puncak ke puncak ( $V_{pp}$ ) yang berasal dari jaringan listrik PLN, dapat dilakukan dengan menggunakan osiloskop, seperti pada **Gambar 8.23**. Hubungkan terminal amperemeter DC dan channel CRO ke rangkaian seperti pada **Gambar 8.23**. Hidupkan CRO dengan menekan tombol **On**. Amati, apakah jarum Amperemeter DC menyimpang? Ternyata, jarum amperemeter DC tidak menyimpang seakan-akan tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian. Ulangi percobaan tersebut dengan menghubungkan arus rangkaian ke channel tegangan AC pada osiloskop (CRO). Kemudian, putar volts/div, misalnya pada posisi 2. Amati gelombang tegangan di layar osiloskop, maka akan terlihat bahwa tegangan berubah secara periodik seperti pada **Gambar 8.24a** kira-kira  $220\sqrt{2}$  ke atas dan  $220\sqrt{2}$  ke bawah. Anda telah mengetahui bahwa tegangan yang polaritasnya seperti gelombang adalah tegangan listrik bolak-balik.

Bagaimana jika arus yang dilewatkan adalah arus searah? Jika Anda mengamati tegangan searah yang dihasilkan rangkaian arus searah dan baterai menggunakan osiloskop, setelah Anda menghubungkan arus DC ke channel DC, jarum amperemeter DC menyimpang. Adapun perubahan tegangan searah pada osiloskop akan terlihat hanya dalam satu arah seperti pada **Gambar 8.24b**.

Setelah melakukan pengamatan dari percobaan tersebut, Anda dapat mengetahui sejumlah perbedaan antara tegangan DC dan tegangan AC. Listrik searah memiliki tegangan yang tetap setiap saat dan grafik tegangan-



Sumber: Femina, 1995

**Gambar 8.22**

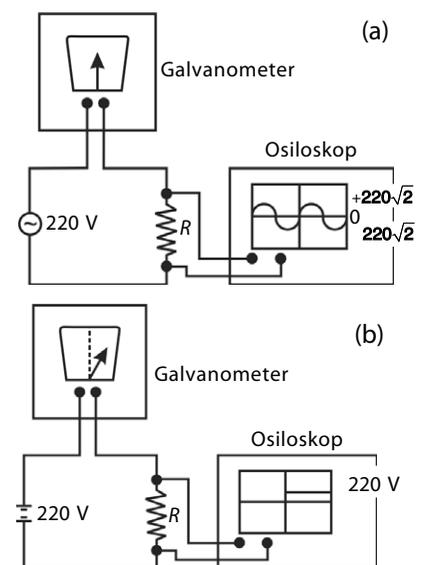
Mixer dan bor listrik dioperasikan dengan energi listrik.



Sumber: Phytwe

**Gambar 8.23**

Osiloskop



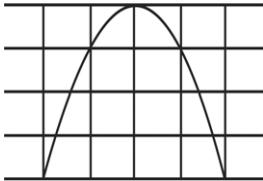
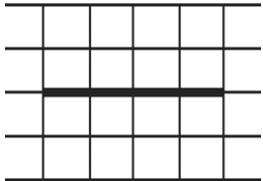
**Gambar 8.24**

- Mengamati arus bolak-balik dengan amperemeter DC dan osiloskop.
- Mengamati arus searah dengan amperemeter DC dan osiloskop.

nya berupa garis lurus, sedangkan listrik bolak-balik memiliki tegangan yang berubah-ubah setiap saat, yaitu berbentuk sinusoidal. Beberapa perbedaan prinsip listrik searah dan bolak-balik dapat Anda lihat pada Tabel 8.2.

**Tabel 8.3**

Beberapa Perbedaan Prinsip Listrik Searah dan Bolak-Balik

Sumber Arus Rangkaian	
Bolak-Balik	Searah
<ul style="list-style-type: none"> <li>Layar osiloskop menunjukkan gambar tegangan bolak-balik.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Listrik AC mudah ditransmisikan dari pembangkit ke rumah-rumah.</li> <li>Arus dan tegangan AC memiliki tegangan maksimum, tegangan puncak ke puncak, tegangan sesaat, tegangan rata-rata, dan nilai efektif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Layar osiloskop menunjukkan gambar tegangan searah.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Listrik DC sulit untuk memenuhi kebutuhan pasokan dalam jumlah besar.</li> <li>Arus dan tegangan AC hanya memiliki nilai efektifnya.</li> </ul>

Besarnya arus dan tegangan bolak-balik dapat diamati dengan avometer. Arus dan tegangan yang ditunjukkan alat ini merupakan harga efektifnya. Polaritas listrik AC yang dihasilkan dari jaringan PLN berupa grafik sinusoidal dengan Frekuensi 50 Hz.

Arus efektif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$I_{ef} = \frac{I_{maks}}{\sqrt{2}} \quad (8-37)$$

dengan cara yang sama untuk tegangan efektif ( $V_{ef}$ ) akan diperoleh persamaan:

$$V_{ef} = I_{ef} R$$

$$V_{ef} = \frac{V_{maks}}{\sqrt{2}} \quad (8-38)$$

### Contoh 8.16

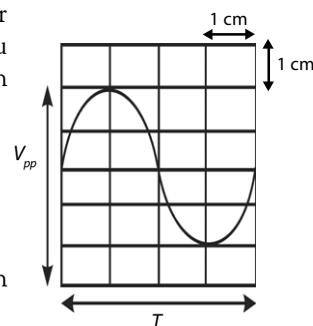
Dari pengamatan melalui osiloskop, sumbu vertikal diatur pada tegangan 3 V/cm, sedangkan selang waktu menunjukkan 8 ms/cm. Skala setiap kotak memiliki ukuran 1 cm × 1 cm.

Tentukan:

- tegangan maksimum;
- frekuensi sumber.

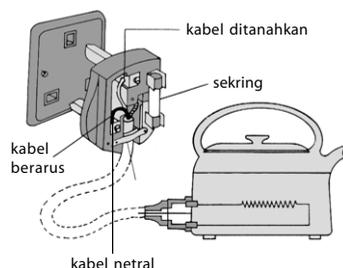
**Jawab:**

- Pada gambar, terbaca tegangan puncak ( $V_{pp}$ ) adalah 4 cm. Oleh karena skala vertikal 3 V/cm maka



### Informasi untuk Anda

Cara menghubungkan kabel pemanas air dapat dilakukan sebagai berikut. Ketiga lubang pada steker, yaitu dua ujung terminal pemanas masing-masing dihubungkan ke kutub positif dan negatif, dan kabel lain berwarna biru menuju netral.



### Information for You

To connect wires of water heater can do as below. Three hole on the plug, that is two edge heater terminals connect to positive and negative poles and other blue wires toward neutral.

$$V_{pp} = 4 \text{ cm} \times 3 \text{ V/cm} = 12 \text{ V}$$

Tegangan maksimumnya adalah

$$V_{maks} = \frac{1}{2} V_{pp} = \frac{1}{2} (12 \text{ V}) = 6 \text{ V}$$

Jadi, tegangan maksimumnya adalah 6 V.

- b. Periode dalam grafik 4 cm. Skala horizontal 8 ms/cm maka

$$T = 4 \text{ cm} \times 8 \text{ ms/cm} = 32 \text{ ms} = 0,032 \text{ s}$$

Frekuensi sumber adalah

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,032} = 31,25 \text{ Hz}$$



## Tantangan untuk Anda

Persamaan tegangan bolak-balik suatu rangkaian listrik memenuhi persamaan  $V = 314 \sin 50t$ . Tentukan tegangan rata-rata yang dihasilkan sumber tersebut.

### Contoh 8.17

Sebuah rangkaian yang dihubungkan dengan sumber listrik bolak-balik diukur dengan voltmeter dan menunjukkan angka 20 V. Berapakah harga maksimum tegangan bolak-balik sumber? Tuliskan pula persamaannya jika frekuensinya 60 Hz.

**Jawab:**

Diketahui:

$$V_{ef} = 20 \text{ V}; f = 60 \text{ Hz}$$

- a. Nilai tegangan maksimum  $V_{maks}$  dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_{maks} = V_{ef} \sqrt{2}$$

$$V_{maks} = 20\sqrt{2} \text{ V}$$

- b. Persamaan tegangan diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = V_{maks} \sin \omega t$$

$$V = 20\sqrt{2} \sin 120\pi t$$

### Contoh 8.18

Sebuah rangkaian arus bolak-balik memiliki harga tegangan sebagai fungsi waktu, yaitu  $V = 50\sqrt{2} \sin 50t$ . Hitunglah:

- |                                            |                                       |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| a. tegangan maksimum ( $V_{maks}$ ),       | e. periode ( $T$ ),                   |
| b. tegangan puncak ke puncak ( $V_{pp}$ ), | f. frekuensi ( $f$ ),                 |
| c. tegangan efektif ( $V_{ef}$ ),          | g. tegangan setelah $t = 0,015\pi$ s. |
| d. frekuensi angular ( $\omega$ ),         |                                       |

**Jawab:**

Diketahui.

Persamaan tegangan sebagai fungsi waktu

$$V = 50\sqrt{2} \sin 50t$$

Oleh karena tegangan merupakan fungsi sinusoidal terhadap waktu maka persamaan tegangan dapat dituliskan

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$\omega = 50 \text{ rad/s}$$

- a. Tegangan maksimum,  $V_m$  terjadi pada saat  $\sin \omega t = 1$

$$\text{maka } V_m = 50\sqrt{2} \text{ V}$$

b.  $V_{pp} = 2V_m = 2 (50\sqrt{2} \text{ V}) = 100\sqrt{2} \text{ V}$

c.  $V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{50\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V} = 50 \text{ V}$

d.  $\omega = 50 \text{ rad/s}$

e.  $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{50} = \frac{\pi}{25} \text{ s}$

f.  $f = \frac{1}{T} = \frac{25}{\pi} \text{ Hz}$

g.  $V = 50\sqrt{2} \sin 50t = 50\sqrt{2} \sin 50(0,015\pi) = 50 \text{ V}$



Sumber: Young Scientists, 1997

Gambar 8.25

Arus listrik disalurkan oleh jaringan PLN.

### 3. Pemasangan Listrik di Rumah Tangga

Pada umumnya, arus listrik yang disalurkan ke rumah-rumah berasal dari jaringan PLN dengan menggunakan arus dan tegangan bolak-balik (AC). Tahapan masuknya arus listrik dari tiang jaringan ke rumah adalah sebagai berikut.

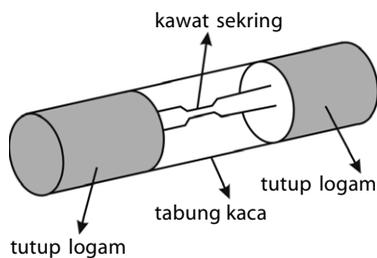
Arus listrik masuk kali pertama melalui MCB (*Main Circuit Breaker*) atau pembatas daya yang berfungsi membatasi daya maksimum yang digunakan, lalu ke kWh meter, kotak sekering, dan akhirnya ke semua peralatan listrik.

Pada dasarnya, pembatas daya untuk membatasi kuat arus masuk ke setiap rumah ditentukan berdasarkan pemesanan jumlah daya yang dibutuhkan.

Spesifikasi kuat arus yang tersedia biasanya mulai dari 2 A, 4 A, 6 A, 10 A, 15 A. Jika pembatas daya besarnya 4 A dan tegangan listrik di rumah 220 V, daya maksimum yang masih dapat digunakan adalah  $4 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 880 \text{ watt}$ . Ini artinya, semua peralatan listrik yang dipakai secara bersamaan tidak boleh melebihi 880 watt. Jika pemakaian daya listrik lebih besar daripada 880 watt, kumparan pemutus daya akan menerima arus berlebih sehingga secara otomatis saklar pada MCB menjadi **Off**. Sekarang, coba Anda hitung jika pada MCB tercatat nilai arus 2 A, berapa total daya peralatan listrik di rumah agar mencapai faktor keamanan?

Saklar pembatas daya akan turun secara otomatis ketika terjadi hubungan singkat (korsleting listrik) dan mengakibatkan arus listrik terputus. Selanjutnya, arus listrik harus melewati sekering untuk menjaga keamanan. Beberapa peralatan listrik dihubungkan secara terpisah ke sekeringnya masing-masing yang terdapat pada kotak sekering utama. Sekring (*fuse*) terbuat dari seutas kawat tembaga tipis dan akan menjadi panas ketika arus mengalir melaluinya. Sekring akan terbakar, kemudian putus jika dilewati arus berlebih.

Sekring banyak digunakan pada rangkaian listrik, seperti pada mobil, sepeda motor, pesawat, radio, dan televisi. Setiap sekering memiliki nilai kuat arus yang telah ditetapkan, misalnya 1A, 3A, 5A, 13A.



Gambar 8.26

Sekring

#### Kata Kunci

- tegangan listrik searah
- tegangan listrik bolak-balik
- energi listrik
- daya listrik
- osiloskop
- transmisi daya listrik

#### Contoh 8.19

Sebuah setrika 1.000 W, 250 V akan dilengkapi dengan sebuah sekering. Jika sekering yang tersedia bernilai 3 A, 5 A, dan 13 A, berapakah nilai sekering yang akan dipilih?

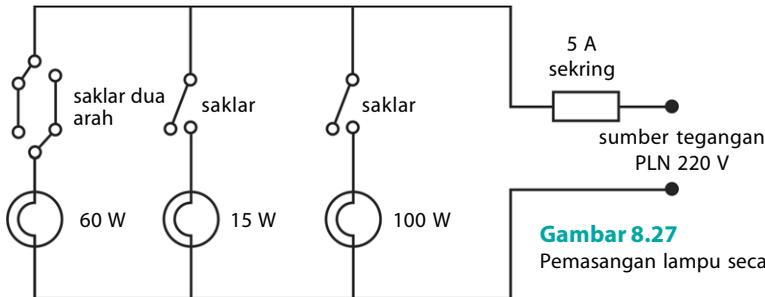
Jawab:

Kuat arus yang diperlukan setrika adalah

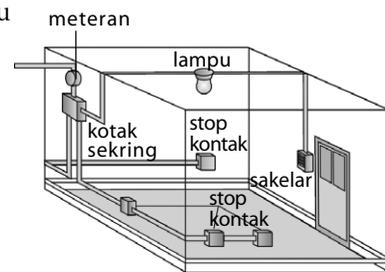
$$I = \frac{P}{V} = \frac{1.000 \text{ W}}{250 \text{ V}} = 4 \text{ A}$$

Sekring yang digunakan harus sedikit lebih besar daripada 4 A sehingga yang dipilih adalah sekering bernilai 5 A.

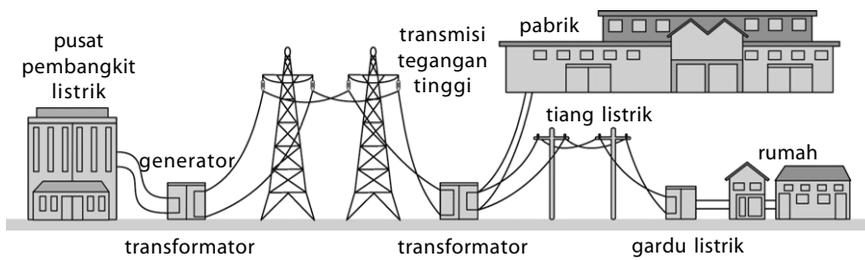
Pemasangan sejumlah lampu di rumah, sebaiknya dihubungkan secara paralel seperti **Gambar 8.27** dan **Gambar 8.28** agar setiap lampu mendapat tegangan yang sama.



**Gambar 8.27**  
Pemasangan lampu secara paralel.



**Gambar 8.28**  
Contoh diagram kabel listrik di rumah.



**Gambar 8.29**  
Bagan transmisi daya listrik jarak jauh

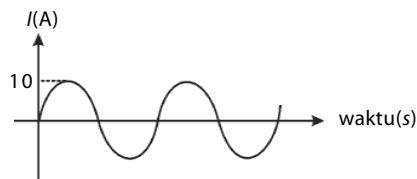
Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

## Tes Kompetensi Subbab F

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Sebuah setrika listrik dengan spesifikasi 600 W; 220 V dipasang pada beda potensial 110 V dan dinyalakan selama 15 menit. Hitung energi listrik yang terpakai setrika tersebut.
- Pada sebuah pemanas listrik tercantum spesifikasi 2,4 kW; 240 V. Tentukan:
  - besarnya energi yang dihasilkan selama 2 menit;
  - kuat arus listrik yang mengalir.
- Pesawat TV rata-rata dinyalakan 6 jam tiap harinya. Jika pesawat TV dihubungkan tegangan 220 V, arus yang mengalir adalah 2,5 A. Jika harga per kWh Rp200,00, tentukan harga energi listrik yang digunakan untuk menyalakan TV selama sebulan. (1 bulan = 30 hari).
- Jelaskan apa yang dimaksud dengan:
  - harga efektif kuat arus dan tegangan bolak-balik;
  - harga maksimum kuat arus dan tegangan bolak-balik;
  - harga rata-rata kuat arus dan tegangan bolak-balik.
- Sumber tegangan arus bolak-balik besarnya 100 V. Sebuah setrika listrik dengan hambatan  $20 \Omega$  dihubungkan ke sumber tegangan tersebut. Hitunglah nilai efektif, nilai maksimum, dan nilai rata-rata untuk:
  - tegangan sumber,
  - arus yang mengalir.

- Dari gambar grafik berikut, tentukanlah:



- arus maksimum;
  - arus efektif;
  - frekuensinya.
- Jika sekering yang tersedia bernilai 3 A, 5 A, 13 A, 15 A, dan 30 A, lengkapilah tabel berikut untuk menentukan nilai sekering yang akan digunakan.

Peralatan	Daya (W)	Tegangan (V)	Sekring (A)
Lampu	100	250	....
Televisi	70	250	....
Pengering rambut	500	250	....
Pemanggang roti	1.200	250	....
Cerek listrik	2.750	250	....

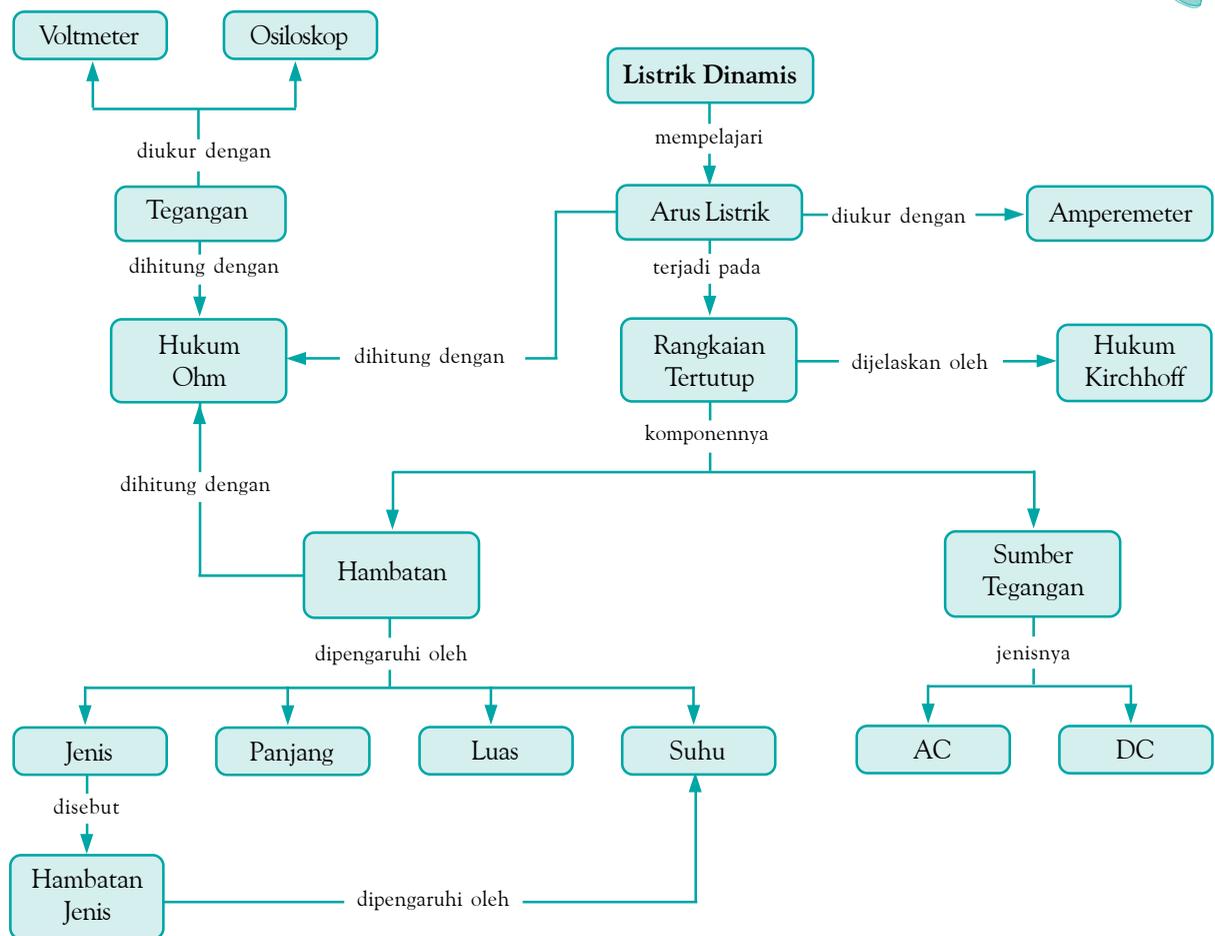
## Rangkuman

- Arus listrik adalah muatan dari potensial tinggi ke potensial rendah. Kuat arus listrik didefinisikan sebagai matan listrik

yang mengalir dalam suatu penghantar setiap satu satuan waktu.

- Menurut Hukum Ohm berbunyi tegangan atau beda potensial suatu penghantar listrik sebanding dengan arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut. Perbandingannya selalu konstan yang disebut sebagai hambatan.
- Hambatan suatu resistor bergantung pada panjang, luas penampang, dan hambatan jenis. Hambatan jenis bahan bergantung pada suhu.
- Hukum I Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah arus listrik yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan jumlah arus listrik yang keluar dari titik cabang tersebut.
- Hukum II Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah aljabar perubahan tegangan yang mengelilingi suatu rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentunya Anda dapat membuat rangkaian sederhana dan menganalisisnya menggunakan Hukum Kirchhoff. Dapatkah Anda mengidentifikasi alat-alat listrik di rumah yang

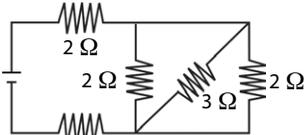
menggunakan listrik AC dan DC? Materi manakah yang masih Anda anggap sulit? Diskusikan materi tersebut dengan teman-teman Anda atau dengan guru Fisika Anda.

## Tes Kompetensi Bab 8

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Hambatan listrik dalam suatu kawat adalah  $R$ . Hambatan ini akan menjadi ....
  - $2R$ , jika penampangnya digandakan
  - $\frac{1}{2}R$ , jika panjangnya digandakan
  - $2R$ , jika suhunya digandakan
  - $\frac{1}{4}R$ , jika jari-jarinya digandakan
  - $2R$ , jika diameternya digandakan

- Pada rangkaian seperti gambar, ggl baterai 6 V dan hambatan dalam-nya  $0,25 \Omega$ .



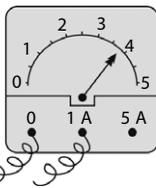
Kuat arus yang mengalir pada hambatan  $3 \Omega$  adalah ....

- 1,15 A
- 0,75 A
- 0,65 A
- 0,50 A
- 0,25 A

- Perhatikan gambar berikut.

Kuat arus yang sedang diukur besarnya adalah ....

- 3,4 A
- 1,7 A
- 0,76 A
- 0,68 A
- 0,49 A

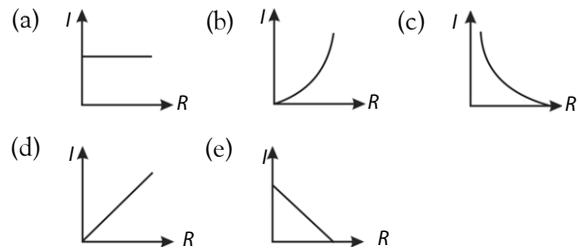


- Suatu amperemeter berhambatan dalam  $5 \Omega$ . Jika amperemeter itu dipasang pada sumber tegangan 12 V (yang memiliki hambatan dalam), ternyata menunjukkan arus 2 A. Jika suatu hambatan  $5 \Omega$  dipasang paralel pada amperemeter itu, amperemeter itu akan menunjukkan arus (dalam A) ....
  - 0
  - 1,7
  - 2
  - 3,4
  - 4

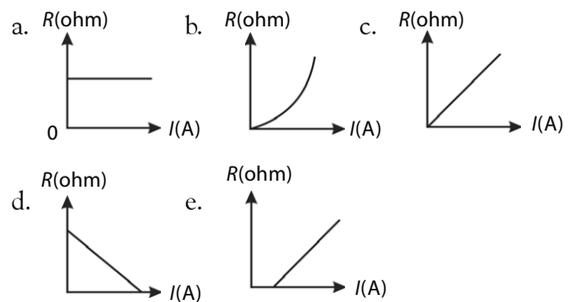
- Hubungan satuan berikut yang benar adalah ....

- $1 \text{ ampere} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{detik}}$
- $1 \frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} = 1 \frac{\text{volt}}{\text{ohm}}$
- $1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{detik}}$
- $1 \frac{\text{ampere}}{\text{detik}} = 1 \text{ coulomb}$
- $1 \frac{\text{volt}}{\text{meter}} = \frac{\text{newton}}{\text{coulomb}}$

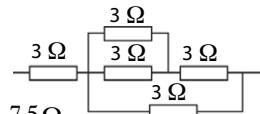
- Suatu percobaan listrik dilakukan dengan mengubah-ubah hambatan  $R$  pada beda potensial yang tetap. Grafik hubungan kuat arus ( $I$ ) dan hambatan hasil percobaan tersebut ditunjukkan oleh grafik ....



- Sejumlah kawat dari bahan yang sama memiliki diameter sama, tetapi panjangnya ( $\ell$ ) tidak sama. Jika dilakukan pengukuran, hambatan ( $R$ ) kawat tersebut dan hasilnya dituangkan dalam grafik  $R-I$  akan cenderung seperti ....

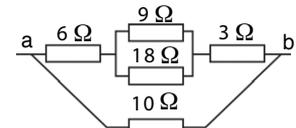


- Rangkaian hambatan seperti pada gambar menghasilkan hambatan total sebesar ....



- $3,5 \Omega$
- $4,8 \Omega$
- $6,4 \Omega$
- $7,5 \Omega$
- $9,0 \Omega$

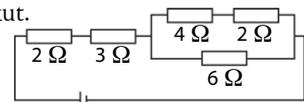
- Lima buah hambatan dirangkai seperti gambar berikut.



Hambatan pengganti antara a dan b adalah ....

- $3 \Omega$
- $5 \Omega$
- $6 \Omega$
- $20 \Omega$
- $25 \Omega$

- Perhatikan gambar berikut. Kuat arus yang melalui hambatan  $6 \Omega$  pada gambar tersebut adalah ....

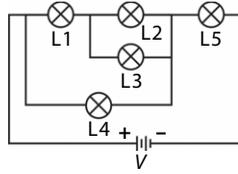


- 12 A
- 6 A
- 3 A
- 1,5 A
- 0,75 A

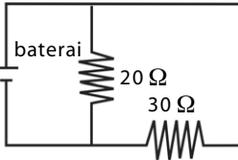
- Tersedia tiga lampu pijar yang masing-masing bertanda 110 V, 100 W, dan sumber tegangan 220 V. Agar dihasilkan nyala lampu 200 W, lampu-lampu itu harus dihubungkan dengan sumber tegangan dengan cara ....

- dua lampu disusun paralel
- dua lampu disusun seri

- c. tiga lampu disusun seri  
 d. tiga lampu disusun paralel  
 e. satu lampu disusun paralel dengan dua lampu lain yang disusun seri
12. Lima buah lampu dengan hambatan sama disusun seperti pada gambar. Pada tegangan sumber 24 V ternyata menghasilkan kuat arus 0,5 A. Lampu yang memiliki energi listrik paling besar setelah 10 s adalah ....

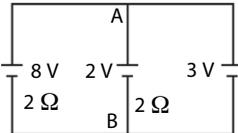


- a. L5  
 b. L4  
 c. L3  
 d. L2  
 e. L1
13. Perhatikan rangkaian berikut. Jika arus listrik yang mengalir melalui hambatan 30 Ω adalah 0,1 A, kuat arus yang melewati hambatan 20 Ω adalah ....



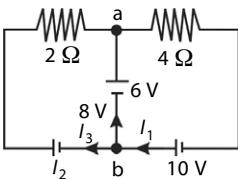
- a. 0,10 A  
 b. 0,15 A  
 c. 1,0 A  
 d. 1,5 A  
 e. 2,0 A

14. Perhatikan rangkaian berikut. Tegangan antara titik A dan B pada rangkaian tersebut adalah ...V.
- a. 2 V  
 b. 4 V  
 c. 6 V  
 d. 8 V  
 e. 10 V

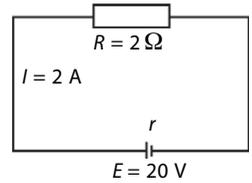


**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

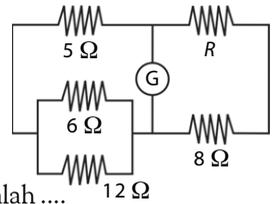
1. Tiga potong kawat yang sama tebal dan sama panjang berturut-turut terbuat dari besi, baja, dan tembaga disambung menjadi satu. Antara kedua ujung kawat diberi beda potensial 594 V. Jika hambatan jenis masing-masing adalah  $10^{-7} \Omega \text{ m}$ ,  $1,8 \times 10^{-7} \Omega \text{ m}$  dan  $1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ , hitung beda potensial antara kedua ujung setiap kawat.
2. Perhatikan gambar berikut.
- a. Hitung  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$ .  
 b. Berapa  $V_{ab}$ ?
3. Tiga buah kawat disusun paralel. Perbandingan penampang ketiga kawat tersebut adalah 1 : 1,5 : 2, sedangkan perbandingan panjangnya 2 : 1 : 5.
- a. Hitung arus pada kawat ke-2 dan ke-3 jika kawat pertama 6 A.



16. Gambar berikut ini menunjukkan suatu rangkaian arus searah.

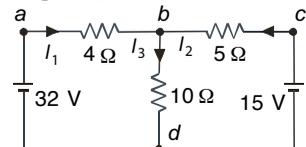


- Besar hambatan dalam  $r$  adalah ....
- a. 9,5 Ω  
 b. 8,0 Ω  
 c. 4,0 Ω  
 d. 2,5 Ω  
 e. 0 Ω
17. Pada elemen elektrokimia, selama terjadi reaksi kimia akan terjadi perubahan energi ... menjadi energi ....
- a. listrik, kimia  
 b. kalor, mekanik  
 c. kimia listrik  
 d. listrik, kalor  
 e. kimia, kalor
18. Perhatikan gambar berikut. Jika sewaktu dihubungkan dengan baterai ternyata galvanometer menunjukkan angka nol, maka nilai hambatan  $R$  adalah ....
- a. 5 Ω  
 b. 6 Ω  
 c. 8 Ω  
 d. 10 Ω  
 e. 15 Ω



19. Seseorang memakai setrika listrik yang bertuliskan 250 W; 220 V. Setrika tersebut dipasang pada tegangan 220 V selama 2 jam. Energi listrik yang terpakai oleh setrika listrik itu adalah ....
- a.  $5,0 \times 10^2 \text{ J}$   
 b.  $3,0 \times 10^4 \text{ J}$   
 c.  $1,6 \times 10^5 \text{ J}$   
 d.  $9,0 \times 10^5 \text{ J}$   
 e.  $1,8 \times 10^6 \text{ J}$
20. Sebuah bola lampu berukuran 30 V; 90 W. Jika hendak dipasang pada sumber tegangan 120 V dengan daya tetap, lampu harus dirangkaikan seri dengan hambatan ....
- a. 10 Ω  
 b. 20 Ω  
 c. 30 Ω  
 d. 40 Ω  
 e. 50 Ω

- b. Jika hambatan kawat pertama 2 ohm, hitung hambatan pengganti susunan kawat ini.
3. Perhatikan rangkaian listrik pada gambar berikut.



- Hitunglah  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$
4. Dua buah lampu listrik masing-masing dengan spesifikasi 110 V; 40 W dan 110 V; 30 W disusun seri dan dihubungkan ke sumber tegangan 110 V. Tentukan:
- a. kuat arus yang mengalir dalam rangkaian,  
 b. daya disipasi pada lampu 110 V; 40 W,  
 c. daya disipasi pada lampu 110 V; 30 W.

# Bab 9



Sumber: [www.boeing.com](http://www.boeing.com).

Teknologi satelit, unsur penting pendukung arus komunikasi dan informasi dunia masa kini.

## Gelombang Elektromagnetik

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami konsep dan prinsip gelombang elektromagnetik.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- mendeskripsikan spektrum gelombang elektromagnetik;
- menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari.

Dewasa ini, peranan teknologi dalam kehidupan sehari-hari hampir tak dapat dipisahkan. Di dalam mengembangkan teknologi untuk kehidupan manusia, Fisika banyak memegang peranan penting. Studi tentang gelombang banyak melahirkan teknologi-teknologi baru yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Dalam bidang telekomunikasi, pengetahuan tentang gelombang elektromagnetik sangat diperlukan. Televisi, radio, telepon seluler, dan riset luar angkasa semuanya memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Apakah gelombang elektromagnetik itu? Dimanfaatkan dalam apa saja

- A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik**
- B. Jenis-Jenis Gelombang Elektromagnetik**

## Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Gelombang Elektromagnetik, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang Anda ketahui tentang gelombang elektromagnetik?
2. Mengapa cahaya termasuk gelombang elektromagnetik?
3. Jelaskan bagaimana gelombang radio dapat dipancarkan melalui lapisan ionosfer?
4. Apakah suara adalah gelombang elektromagnetik? Jika bukan, gelombang apakah suara itu?



## Tokoh

### Guglielmo Marconi (1874 – 1937)

**Guglielmo Marconi** gagal dalam penerimaan mahasiswa di Universitas Bologna, Italia, tetapi ayahnya dapat mengatur untuk memasukkannya ke dalam kuliah-kuliah dan laboratorium. Setelah belajar mengenai percobaan-percobaan dengan radio, ia membuat ruang kerja di loteng rumahnya. **Marconi** sebenarnya tidak menemukan hal baru, karena gelombang radio telah ditemukan sebelumnya. Bahkan, desain alat pengirim dan penerima meniru penemuan ilmuwan lainnya.

Anak muda ini berpikir tentang kegunaan baru dari gelombang radio. Ia menyadari bahwa ia dapat menggunakan gelombang radio untuk mengirim pesan-pesan tanpa melalui kawat. Tak seorang pun sebelumnya memikirkan hal tersebut.

Sumber: Eureka, 2000

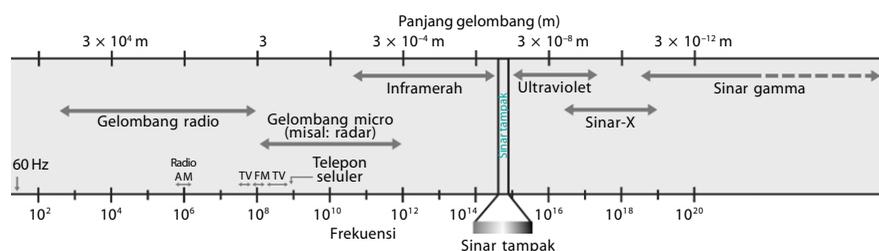
## A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Pada Bab 6, Anda telah mempelajari cahaya serta sifat-sifatnya. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik. Apakah gelombang elektromagnetik itu? Gelombang elektromagnetik memiliki keunikan. Gelombang elektromagnetik dapat bersifat seperti gelombang, tetapi dapat juga bersifat partikel.

Gelombang elektromagnetik diamati kali pertama oleh fisikawan dan matematikawan, **James Clerk Maxwell** (1831–1879). **Maxwell** mengungkapkan bahwa cahaya adalah osilasi energi antara listrik dan magnet dengan menempatkan hasil penemuan **Michael Faraday** (1791–1867) ke dalam bentuk matematika. Kemudian gelombang elektromagnetik dibangkitkan dan dideteksi secara eksperimen oleh **Heinrich Hertz** (1857–1894), delapan tahun setelah **Maxwell** meninggal. Gelombang elektromagnetik merambat tanpa medium perantara. Seperti halnya gelombang cahaya, gelombang elektromagnetik dapat mengalami refleksi (pemantulan), refraksi (pembiasan), dan interferensi.

Dalam percobaannya, **Hertz** membangkitkan gelombang yang memiliki frekuensi  $10^9$  Hz. Gelombang ini disebut gelombang radio. Sekarang frekuensi dalam rentang ini digunakan untuk mentransmisikan sinyal televisi dan radio. Gelombang EM (sebutan untuk gelombang elektromagnetik) telah dideteksi dalam rentang frekuensi yang lebar. Deretan frekuensi gelombang ini disebut spektrum gelombang elektromagnetik, seperti terlihat pada **Gambar 9.1** berikut.

**Gambar 9.1**  
Spektrum gelombang elektromagnetik.



Gelombang radio dan gelombang mikro dapat dibuat secara eksperimen menggunakan alat. Gelombang-gelombang dengan frekuensi ini dan gelombang lainnya dihasilkan oleh proses-proses alami, seperti emisi dari atom-atom, molekul-molekul, dan nukleus. Pada umumnya, gelombang EM dihasilkan oleh percepatan elektron-elektron atau partikel-partikel bermuatan lainnya.

Berdasarkan rentang frekuensinya, gelombang EM dapat dibagi atas beberapa jenis, di antaranya adalah *Very Low Frequency* (VLF), *Medium Frequency* (MF), *High Frequency* (HF), *Very High Frequency* (VHF).

VLF hanya digunakan oleh kapal selam dan untuk mengalirkan arus pada jaringan listrik. Sebaliknya, penggunaan utamanya adalah untuk membawa bunyi berfrekuensi rendah atau sedang termasuk getaran infrasonik yang dihasilkan binatang. VLF merupakan pembawa bunyi

sampai sekitar 20 kHz. VLF juga digunakan komunikasi jarak jauh (beberapa ribu kilometer) dan untuk eksperimen oleh para ilmuwan.

HF digunakan untuk tujuan siaran regional, sedangkan MF digunakan untuk siaran internasional (*worldwide broadcasting*). HF hanya memiliki rentang frekuensi antara 1,8 MHz sampai 30 MHz yang dikenal dengan gelombang pendek. Gelombang pendek digunakan oleh semua layanan radio dan operator untuk komunikasi jarak jauh, siaran, dan operasi radar trans-horizon.

VHF dan UHF mulai dari 30 MHz sampai di atas 1 GHz dan digunakan untuk siaran televisi dan radio juga untuk komunikasi telepon seluler.

Di atas frekuensi ini, Anda temukan gelombang mikro. Gelombang ini berasal dari alat-alat rumah tangga, seperti *oven microwave*, *Local Area Network (LAN)*.

Spektrum selanjutnya adalah sinar inframerah, sinar tampak, dan sinar ultraviolet. Kemudian, pada spektrum terakhir lain ditemukan sinar  $\alpha$  dan sinar  $\gamma$ .

Hubungan antara frekuensi ( $f$ ), panjang gelombang ( $\lambda$ ), dan cepat rambat cahaya ( $c$ ) adalah:

$$c = f\lambda \quad (9-1)$$

Keterangan:

$c$  = cepat rambat cahaya ( $3 \times 10^8$ ) m/s

$\lambda$  = panjang gelombang (meter)

$f$  = frekuensi (hertz)

### Contoh 9.1

Radio pemancar FM dapat ditangkap pada frekuensi 1,75 MHz. Berapa panjang gelombang radio pemancar itu?

**Jawab:**

Diketahui:

$$f = 1,75 \text{ MHz} = 1,75 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Untuk menyelesaikannya, gunakan **Persamaan (9-1)**.

$$c = f\lambda \text{ maka } \lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,75 \times 10^6 \text{ Hz}} = 171,43 \text{ m.}$$

Jadi, panjang gelombang radio pemancar adalah 171,43 m.

### Kata Kunci

- gelombang elektromagnetik
- spektrum
- Extra Low Frequency (ELF)
- Very Low Frequency (VLF)
- Medium Frequency (MF)
- High Frequency (HF)
- Very High Frequency (VHF)
- Ultra High Frequency (UHF)
- sinar inframerah
- sinar tampak
- sinar ultraviolet
- sinar-X
- sinar gamma

### Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Apa yang dimaksud dengan gelombang elektromagnetik? Apa perbedaannya dengan gelombang mekanik?
2. Apa yang dimaksud dengan spektrum gelombang elektromagnetik?
3. Pada spektrum gelombang elektromagnetik, terdapat bermacam-macam jenis gelombang yang dibedakan berdasarkan frekuensinya. Jelaskan setiap spektrum beserta aplikasinya dalam teknologi.
4. Tentukanlah panjang gelombang elektromagnetik di dalam ruang hampa jika diketahui frekuensi gelombang tersebut 6 MHz.

## B. Jenis-Jenis Gelombang Elektromagnetik

### 1. Gelombang Radio

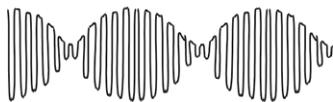
Gelombang radio merupakan gelombang elektromagnetik dan merambat dengan kecepatan cahaya, yaitu  $3 \times 10^8$  m/s. Gelombang radio memiliki daerah frekuensi antara  $10^4$  Hz sampai  $10^7$  Hz dan digunakan sebagai alat komunikasi atau pembawa informasi dari suatu tempat ke tempat lain. Sifat gelombang radio mudah dipantulkan oleh lapisan ionosfer Bumi sehingga gelombang radio dapat mencapai tempat-tempat di Bumi yang jaraknya sangat jauh dari pemancar radio.

Gelombang radio digunakan dalam sistem pembicaraan jarak jauh yang tidak menggunakan kawat penghantar. Gelombang elektromagnetik bertindak sebagai pembawa gelombang audio (suara). Ada dua macam cara untuk membawa gelombang bunyi ke penerimanya, yaitu dengan sistem amplitudo modulasi dan sistem frekuensi modulasi (AM dan FM).

#### Mari Mencari Tahu

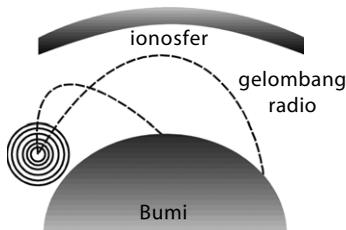


Anda pasti mengetahui radio FM dan radio AM, bukan? Bersama kelompok belajar Anda, carilah informasi mengenai apa yang dimaksud radio FM dan radio AM. Apa perbedaan di antara keduanya, dan bagaimana jangkauan frekuensi kedua jenis radio tersebut. Jika diperlukan, berkunjunglah ke salah satu stasiun di daerah Anda. Buatlah laporan dari kegiatan ini, dan kumpulkan tugas tersebut kepada guru Anda.



Gambar 9.2

Modulasi amplitudo pada pancaran radio AM.



Gambar 9.3

Pantulan gelombang radio oleh ionosfer.



Gambar 9.4

Modulasi frekuensi pada radio pemancar FM.



Gambar 9.5

Untuk mengirimkan gelombang FM diperlukan antenna pemancar.

#### a. Sistem AM (Amplitudo Modulasi)

Gelombang bunyi berfrekuensi rendah dibawa oleh gelombang radio yang berfrekuensi tinggi. Paket gelombang tersebut dipancarkan melalui gelombang radio sebagai perubahan amplitudo. Gelombang radio memiliki amplitudo yang berbeda-beda sesuai dengan gelombang bunyi yang dibawanya, dengan frekuensi gelombang radionya tetap. Modulasi amplitudo pada pancaran radio FM dilukiskan pada Gambar 9.2.

Gelombang suara yang dibawa oleh gelombang radio sebagai akibat perubahan amplitudo dapat dengan mudah dipantulkan oleh lapisan ionosfer, yaitu lapisan angkasa yang mengandung muatan listrik. Pancaran radio AM dapat menjangkau tempat-tempat yang jauh. Pantulan gelombang radio pada lapisan ionosfer diperlihatkan pada Gambar 9.3.

#### b. Sistem FM (Frekuensi Modulasi)

Gelombang bunyi dibawa oleh gelombang elektromagnetik dalam bentuk modulasi frekuensi, di mana frekuensinya berubah-ubah dan amplitudonya tetap. Sistem ini memiliki kelemahan, yakni jarak jangkauannya yang terbatas, sebab sukar dipantulkan. Modulasi frekuensi pada pemancar radio FM dilukiskan pada Gambar 9.4.

Sistem FM memiliki kualitas suara yang baik dan bebas dari interferensi yang merusak sinyal-sinyal frekuensi gelombang, tetapi mudah mengalami gangguan kelistrikan di udara, dan tidak dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer.

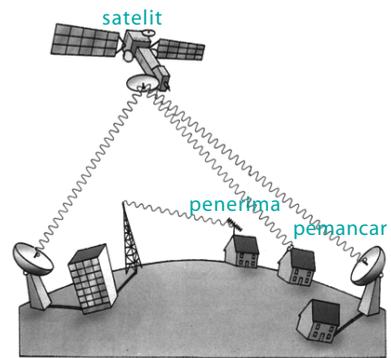
Oleh karena gelombang FM tidak dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer, akibatnya gelombang FM ini tidak dapat mencapai tempat-tempat yang jauh. Oleh sebab itu, dibutuhkan stasiun-stasiun penghubung (relai) yang dapat memancarkan kembali gelombang-gelombang yang diterimanya agar jarak jangkauannya semakin meluas. Stasiun-stasiun penghubung tersebut dilukiskan pada Gambar 9.5.

## 2. Gelombang Televisi

Gelombang televisi memiliki frekuensi yang lebih tinggi daripada gelombang radio. Gelombang ini merambat lurus dan tidak dapat dipantulkan oleh lapisan-lapisan atmosfer Bumi. Gelombang mikro yang digunakan untuk siaran televisi hanya dapat diterima oleh pesawat penerima jika gelombang tersebut tidak terhalang dari pemancarnya. Hal ini dikarenakan gelombang televisi tidak dapat melewati lengkungan-lengkungan atau permukaan tinggi rendahnya (relief) Bumi. Untuk mengatasi hal itu, jika gelombang terhalang oleh sebuah gunung maka di puncak gunung atau di kaki gunung itu akan dipasang sebuah stasiun relai.

Adapun untuk komunikasi jarak jauh dipasang satelit buatan pada ketinggian tertentu dari Bumi. Satelit dapat digunakan sebagai stasiun relai untuk siaran televisi, radio, telepon, telegraf, dan lain sebagainya.

Fungsi stasiun relai adalah untuk menerima gelombang elektromagnetik dari stasiun pemancar, kemudian memancarkan gelombang itu ke daerah seberangnya.



**Gambar 9.6**

Gelombang televisi dipancarkan dan disebarluaskan melalui satelit.

## 3. Gelombang Radar

Radar singkatan dari *Radio Detection and Ranging* adalah termasuk salah satu gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar  $10^{10}$  hertz. Antena radar dapat berfungsi sebagai pemancar dan penerima gelombang. Pancaran gelombang radar terarah dalam bentuk pulsa dalam selang waktu tertentu. Jika pulsa tersebut mengenai sasaran, misalnya pesawat terbang, akan ada pulsa pantul yang sebagian akan diterima kembali oleh antena radar. Jika selang waktu antara pancaran dan penerimaan adalah  $\Delta t$  dan kecepatan perambatan gelombang radar dinyatakan dengan  $c$ , jarak sasaran ke radar dapat ditentukan sebagai berikut.

$$s = \frac{c\Delta t}{2} \quad (9-2)$$

Selain mendeteksi objek seperti pesawat terbang, di Indonesia radar digunakan untuk pengamatan cuaca seperti yang dimiliki LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). Di antaranya LAPAN memiliki Radar Atmosfer Khatulistiwa atau *Equatorial Atmosphere Radar (EAR)* yang berada di ketinggian kurang lebih 900 m di atas permukaan laut, di Kototabang Sumatra Barat, seperti pada gambar **Gambar 9.7**. Radar tersebut dirancang salah satunya untuk memantau arah, kecepatan angin dan turbulensi secara sederhana. Cara kerja radar mengirimkan sinyal (pulsa gelombang) ke udara. Kemudian, partikel-partikel pembentuk cuaca memantulkan kembali sinyal dan diterima oleh penerima gelombang dalam radar tersebut.



Sumber: [www.lapan.go.id](http://www.lapan.go.id)

**Gambar 9.7**

Radar Atmosfer Khatulistiwa atau *Equatorial Atmosphere Radar (EAR)*

## 4. Sinar Inframerah

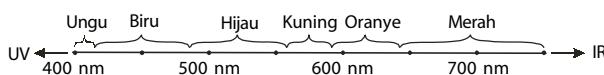
Radiasi inframerah meliputi frekuensi  $10^{11} - 10^{14}$  Hz. Frekuensi ini dapat dihasilkan oleh getaran atom-atom dalam bahan. Getaran atom-atom pada suatu molekul dapat juga memancarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi-frekuensi yang khas dalam daerah inframerah. Spektroskopi inframerah merupakan salah satu alat yang penting untuk mempelajari struktur molekul. Di samping itu, dengan menggunakan plat-plat potret yang peka terhadap gelombang inframerah, pesawat udara yang terbang

tinggi ataupun satelit-satelit di luar angkasa dapat membuat potret-potret permukaan bumi dengan mempergunakan gelombang inframerah.

## 5. Sinar Tampak

Sinar yang dapat membantu penglihatan Anda, agar benda-benda tampak oleh mata disebut sinar tampak atau cahaya tampak. Sinar tampak berada di daerah frekuensi yang cukup sempit dengan panjang gelombang antara  $3.900 \text{ \AA}$ – $7.800 \text{ \AA}$  dengan spektrum warna: merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.

**Gambar 9.8**  
Spektrum sinar tampak di antara sinar ultraviolet



## 6. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet dihasilkan oleh atom-atom dalam nyala listrik. Kebanyakan atom memancarkan sinar dengan frekuensi yang khas di daerah sinar tampak dan sinar ultraviolet. Sinar ultraviolet memiliki frekuensi antara  $10^{15}$ – $10^{16}$  Hz. Hal ini memungkinkan pengenalan unsur-unsur dalam suatu bahan dengan teknik *spektroskopi*. Sinar ultraviolet yang dihasilkan oleh matahari, jika mengenai tubuh secara langsung dapat menimbulkan penyakit kulit. Beruntung, di atmosfer Bumi terdapat lapisan ozon yang dapat menyerap sinar ultraviolet. Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga agar lapisan ozon tidak hilang.

## 7. Sinar-X

Sinar-X ini ditemukan oleh **Wilhelm Conrad Röntgen**, sehingga sinar-X sering disebut dengan sinar Rontgen. Sinar-X dihasilkan dengan menembakkan elektron dalam tabung ruang hampa pada permukaan keping logam. Panjang gelombang sinar-X sangat pendek sehingga memiliki daya tembus yang kuat. Frekuensinya antara  $10^{16}$ – $10^{20}$  hertz. Sinar-X ini banyak digunakan dalam bidang kedokteran maupun dalam bidang industri.

## 8. Sinar Gamma

Sinar gamma memiliki frekuensi antara  $10^{20}$ – $10^{25}$  hertz. Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi terbesar. Sinar gamma dihasilkan oleh inti-inti atom yang tidak stabil. Sinar gamma memiliki daya tembus yang sangat besar sehingga dapat menembus pelat besi dengan ketebalan beberapa cm.

### Kata Kunci

- gelombang radio
- Amplitudo Modulasi (AM)
- Frekuensi Modulasi (FM)
- radio detection and ranging (radar)
- Medium Frequency (MF)
- Ionosfer
- stasiun pemancar
- sinar inframerah
- sinar tampak
- sinar ultraviolet
- sinar-X
- sinar gamma

## Tes Kompetensi Subbab B

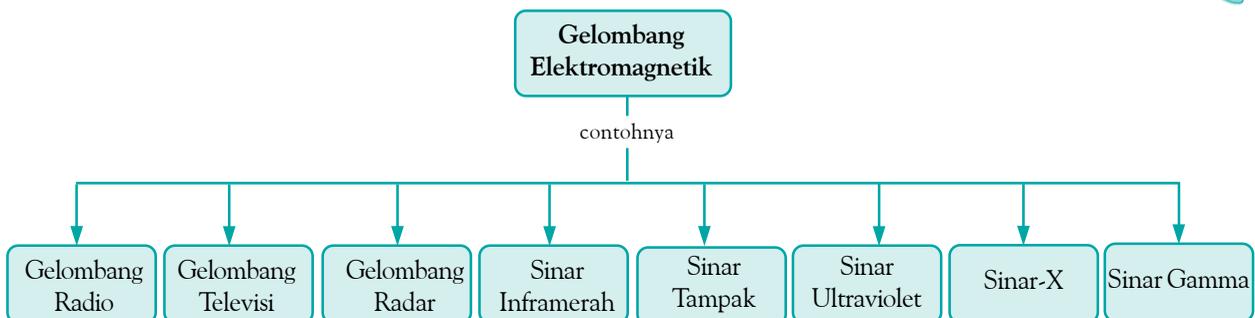
Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Dalam keadaan apakah suatu muatan listrik akan meradiasikan gelombang elektromagnetik?
2. Tentukan rentang panjang gelombang untuk cahaya tampak yang memiliki frekuensi antara  $4,0 \times 10^{14}$  Hz (cahaya merah) dan  $7,9 \times 10^{14}$  Hz (cahaya ungu). Nyatakan jawaban Anda dalam nanometer.
3. Sebuah radar anti pesawat udara mendeteksi sebuah pesawat terbang. Hal ini diketahui setelah gelombang radar dipancarkan dalam selang waktu  $3 \times 10^{-6}$  s. Berapa jauh pesawat itu dari radar?
4. Sebuah pulsa gelombang radar dipantulkan oleh sebuah pesawat terbang yang sedang melintas pada jarak tertentu dan diterima kembali oleh pesawat terbang dalam waktu 0,8 s. Berapa jarak pesawat ke radar?
5. Untuk mengukur kedalaman laut digunakan gelombang elektromagnetik dan dipantulkan kembali dalam waktu  $60 \mu\text{s}$ . Jika indeks bias air laut  $\frac{4}{3}$ , berapa kedalaman laut?

## Rangkuman

1. Gelombang elektromagnetik dapat bersifat seperti gelombang dan juga seperti partikel
2. Sebagai gelombang, gelombang elektromagnetik dapat mengalami refleksi (pemantulan), refraksi (pembiasan) dan interferensi.
3. Contoh-contoh gelombang elektromagnetik diantaranya gelombang radio, gelombang televisi, gelombang radar, sinar inframerah, sinar tampak, sinar ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma.
4. Ada dua macam cara membawa gelombang bunyi ke penerimanya, yaitu dengan sistem amplitudo modulasi (AM) dan frekuensi modulasi (FM).
5. Satelit digunakan sebagai stasiun relai untuk siaran televisi, radio, telepon, dan telegraf.
6. Fungsi stasiun relai adalah untuk menerima gelombang elektromagnetik dari stasiun pemancar, kemudian memancarkan gelombang itu ke daerah seberangnya.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentunya Anda telah memahami spektrum gelombang elektromagnetik dan perbedaan antara sinar-sinarinya. Dapatkah Anda menyebutkan penggunaan-penggunaan sinar tersebut

pada perkembangan teknologi saat ini? Adakah materi yang belum Anda pahami? Diskusikan permasalahan Anda bersama teman-teman Anda dengan bimbingan guru Anda.

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

1. Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik bergantung pada ....
  - a. frekuensi gelombang
  - b. panjang gelombang
  - c. frekuensi dan panjang gelombang
  - d. permitivitas dan permeabilitas medium
  - e. pernyataan a, b, c, dan d salah
2. Gelombang elektromagnetik tidak dipengaruhi oleh medan magnetik maupun medan listrik, hal ini disebabkan gelombang elektromagnetik ....
  - a. memiliki kecepatan tinggi
  - b. tidak bermassa
  - c. tidak bermuatan listrik
  - d. tidak bermassa dan tidak bermuatan listrik
  - e. memiliki frekuensi yang tinggi
3. Sinar-X memiliki daya tembus sangat besar, hal ini disebabkan ....
  - a. sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik
  - b. sinar-X memiliki panjang gelombang sangat pendek
  - c. frekuensi sinar-X sangat kecil
  - d. sinar-X memiliki kecepatan yang sangat besar
  - e. sinar-X tidak bermuatan listrik
4. Gelombang elektromagnetik merambat dengan kelajuan  $3 \times 10^8$  m/s. Jika panjang gelombang elektromagnetik tersebut 100 nm, frekuensi gelombang tersebut adalah....
  - a.  $3,3 \times 10^{-16}$  Hz
  - b.  $1,3 \times 10^{-16}$  Hz
  - c.  $0,3 \times 10^{-16}$  Hz
  - d.  $3,3 \times 10^{-15}$  Hz
  - e.  $3 \times 10^{-15}$  Hz
5. Pada spektrum gelombang elektromagnetik berikut yang memiliki panjang gelombang terpendek adalah....
  - a. sinar gamma
  - b. sinar-X
  - c. sinar ultraviolet
  - d. sinar inframerah
  - e. gelombang mikro
6. Pada spektrum gelombang elektromagnetik, yang memiliki panjang gelombang terpanjang adalah ....
  - a. sinar gamma
  - b. gelombang radio
  - c. gelombang ultraviolet
  - d. gelombang mikro
  - e. sinar-X
7. Panjang gelombang radio AM dengan frekuensi 1.000 KHz adalah ....
  - a. 100 m
  - b. 200 m
  - c. 300 m
  - d. 400 m
  - e. 500 m
8. Peranan ionosfer dalam perjalanan gelombang radio adalah sebagai ....
  - a. medium perambatan
  - b. pemantul
  - c. penghambat
  - d. penguat
  - e. pelemah
9. Jangkauan gelombang radio FM lebih sempit daripada gelombang radio AM karena ....
  - a. gelombang radio FM lebih cepat daripada gelombang AM
  - b. gelombang FM tidak dipantulkan lapisan ionosfer
  - c. gelombang FM memiliki frekuensi lebih rendah daripada AM
  - d. gelombang AM memiliki frekuensi lebih tinggi daripada FM
  - e. gelombang FM panjang gelombangnya lebih besar daripada AM
10. Untuk memotret permukaan Bumi, gelombang yang digunakan pesawat udara adalah ....
  - a. radio
  - b. televisi
  - c. inframerah
  - d. sinar tampak
  - e. sinar gamma

### B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.

1. Gelombang radio FM memiliki frekuensi 100 MHz. Berapakah panjang gelombangnya?
2. Dalam bidang apa sajakah gelombang elektromagnetik digunakan?
3. Mengapa sinar-X memiliki daya tembus yang kuat?
4. Gambarkanlah perjalanan gelombang radio di Bumi dari sebuah sumber yang berada di Bumi.
5. Gambarkanlah perjalanan TV dari pemancar sampai ke penerima.

# Proyek Semester 2

Pada semester ini, Anda telah mempelajari tentang konsep cahaya dan optik, serta listrik dinamis. Untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep tersebut, Anda ditugaskan untuk melakukan kegiatan semester secara berkelompok (3–4 orang). Langkah kegiatan yang harus Anda lakukan, diuraikan pada Proyek Semester 2 ini. Sebagai tugas akhir kegiatan, Anda sekelompok harus membuat laporan kegiatan semester yang akan dipresentasikan di akhir semester di hadapan kelompok lain dan guru Fisika Anda. Sistematika penulisan laporannya terdiri atas: Judul, Tujuan, Alat dan Bahan, Prosedur Percobaan, Data, Analisis Data, serta Kesimpulan dan Saran terhadap penelitian yang telah dilakukan.

## Membuat Proyektor

### Tujuan Kegiatan

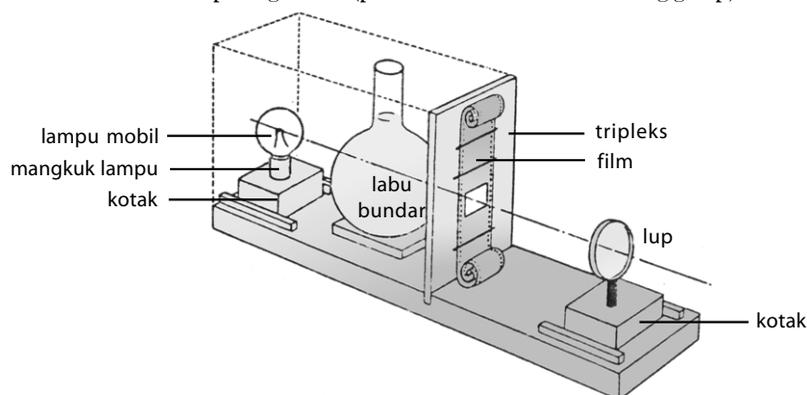
1. Merangkai suatu proyektor sederhana
2. Mengamati cara kerja proyektor

### Alat dan Bahan

1. Papan landasan berukuran 40 cm × 10 cm × 3 cm
2. Tripleks 20 cm × 25 cm yang dilubangi sebesar film (35 mm × 23 mm)
3. Labu bundar berisi air sebagai lensa kondensator
4. Lup (kaca pembesar)
5. Lampu mobil pada mangkuk lampu

### Prosedur Percobaan

1. Susunlah alat-alat pada gambar (percobaan dilakukan di ruang gelap).



Sumber: *Unesco Source book for Science Teaching*, 1962

2. Lampu pada mangkuk diletakkan di atas kotak, pada sisi-sisi kotak disimpan potongan kecil kayu untuk membatasi kotak sehingga kotak dapat dimajumundurkan pada arah memanjang.
3. Letakkan labu bundar berisi air di antara lampu dan tripleks.
4. Atur jaraknya sehingga sinar lampu merata pada celah bingkai film.
5. Tancapkan lup pada kotak, sisi-sisi kotak disimpan potongan kayu kecil untuk membatasi kotak sehingga kotak dapat dimajumundurkan pada arah memanjang.
6. Atur jaraknya sehingga bayangan film dapat terlihat jelas.
7. Apa fungsi labu berisi air pada rangkaian alat?
8. Menurut Anda, bagaimana cara meletakkan film, tegak atau terbalik? Mengapa demikian?
9. Hitunglah berapa fokus lensa pembesar (lup) berdasarkan jarak-jarak yang diperoleh dalam alat percobaan.
10. Kesimpulan apa yang dapat Anda peroleh dari percobaan ini?

# Tes Kompetensi Fisika

## Semester 2



### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Dua buah cermin datar diletakkan dengan sudut  $60^\circ$  satu sama lain. Sebuah lilin diletakkan di antara kedua cermin itu. Banyaknya bayangan lilin yang terlihat di dalam cermin adalah ....
    - 3 buah
    - 5 buah
    - 6 buah
    - 7 buah
    - 8 buah
  - Dua buah cermin datar X dan Y saling berhadapan dan membentuk sudut  $60^\circ$ . Seberkas sinar menuju X dengan sudut datang  $60^\circ$  hingga dipantulkan ke Y. Sinar tersebut meninggalkan Y dengan sudut pantul sebesar ....
    - $0^\circ$
    - $30^\circ$
    - $45^\circ$
    - $60^\circ$
    - $90^\circ$
- (UMPTN 2000)
- Sebuah benda terletak pada jarak 15 cm di depan cermin cekung yang berjari-jari 20 cm. Bayangan benda yang terbentuk oleh cermin adalah ....
    - nyata, terbalik, diperbesar
    - nyata, terbalik, diperkecil
    - nyata, tegak, diperbesar
    - maya, tegak, diperbesar
    - maya, tegak, diperkecil
  - Sebuah benda tinggi 6 cm terletak 30 cm di depan cermin cembung yang memiliki jari-jari kelengkungan = 40 cm. Tinggi bayangannya adalah ....
    - 2,0 cm
    - 2,4 cm
    - 3,0 cm
    - 3,6 cm
    - 4,6 cm
  - Sebuah kelereng berada di dalam bak yang berisi air sedalam 10 cm. Seseorang melihat bayangan kelereng dengan sudut penglihatan  $45^\circ$  dari atas bak air. Jika indeks bias air =  $4/3$ , jarak bayangan kelereng terhadap permukaan air adalah ....
    - 6,25 cm
    - 7,62 cm
    - 8,25 cm
    - 9,82 cm
    - 10,25 cm
  - Dalam suatu ruangan bersuhu 298 K. Jika dinyatakan dalam skala Celsius, besarnya adalah ....
    - $15^\circ\text{C}$
    - $17^\circ\text{C}$
    - $19^\circ\text{C}$
    - $20^\circ\text{C}$
    - $25^\circ\text{C}$
  - Titik lebur timah hitam =  $626^\circ\text{F}$ . Jika dinyatakan dalam skala Celsius besarnya adalah ....
    - $90^\circ\text{C}$
    - $150^\circ\text{C}$
    - $275^\circ\text{C}$
    - $300^\circ\text{C}$
    - $330^\circ\text{C}$
  - Dalam SI, satuan koefisien muai panjang zat padat adalah ....
    - $(^\circ\text{C})^{-1}$
    - K
    - $\text{K}^{-1}$
    - m
    - $\text{m}^{-1}$
  - Pada suhu 300 K, batang tembaga yang koefisien muai linearnya  $17 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  memiliki panjang 12 cm. Jika suhu batang dijadikan 350 K, panjang batang tembaga menjadi ....
    - 12,0102 cm
    - 12,0204 cm
    - 12,0402 cm
    - 12,0324 cm
    - 12,0240 cm
  - Air pada suhu antara  $0^\circ\text{C}$  sampai  $4^\circ\text{C}$  memiliki ....
    - berat minimum
    - massa maksimum
    - volume maksimum
    - massa jenis maksimum
    - massa jenis minimum
  - Ke dalam sebuah bejana yang berisi  $a$  gram air  $30^\circ\text{C}$  dimasukkan  $b$  gram es  $-2^\circ\text{C}$ . Setelah isi bejana diaduk ternyata semua es melebur. Jika massa bejana diabaikan, kalor jenis es =  $0,5 \text{ kal/gram}^\circ\text{C}$  dan kalor lebur es =  $80 \text{ kal/g}$  maka besar perbandingan antara  $a$  dan  $b$  adalah ....
    - 27 : 10
    - 8 : 3
    - 10 : 27
    - 3 : 8
    - 1 : 30
  - Emisivitas benda A =  $\frac{1}{2}$  kali emisivitas benda B dan suhu benda A = 2 kali benda B. Energi kalor yang dipancarkan tiap detik tiap satuan luas oleh benda A sama dengan ....
    - 32 kali benda B
    - 16 kali benda B
    - 8 kali benda B
    - 4 kali benda B
    - 1 kali benda B
  - Oleh karena pengaruh panjangnya penghantar, pada rangkaian listrik timbul arus sebesar 400 mA. Upaya yang dilakukan agar kuat arusnya menjadi 800 mA adalah ....
    - panjang penghantar ditambah menjadi dua kalinya
    - diganti penghantar sejenis yang berdiameter setengahnya
    - diganti penghantar sejenis yang berdiameter dua kalinya
    - panjang penghantar dikurangi menjadi setengahnya
    - diganti penghantar lain yang lebih kecil hambatan jenisnya.

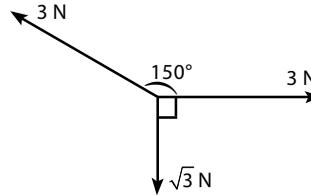
14. Enam buah elemen yang memiliki ggl = 1,5 V dan hambatan dalam = 0,25  $\Omega$  dihubungkan secara seri. Jika rangkaian ini ujung-ujungnya dihubungkan dengan hambatan 4,5  $\Omega$ , tegangan jepitnya adalah ....
- 5,65 V
  - 6,75 V
  - 7,50 V
  - 8,00 V
  - 9,00 V
15. Empat buah elemen yang masing-masing ber-ggl 1,5 V dan memiliki hambatan dalam = 0,5  $\Omega$  disusun paralel. Gaya gerak listrik total dan hambatan dari susunan tersebut adalah ....
- 1,5 V dan 0,25  $\Omega$
  - 1,5 V dan 0,125  $\Omega$
  - 1,5 V dan 0,5  $\Omega$
  - 6,0 V dan 0,125  $\Omega$
  - 6,0 V dan 2,0  $\Omega$
16. Pernyataan yang benar pada proses pemakaian (pengosongan) aki yang elektrolitnya asam sulfat adalah ....
- kedua elektroda PbO<sub>2</sub> dan Pb berubah menjadi Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>
  - kedua elektroda PbO<sub>2</sub> dan Pb berubah menjadi PbO<sub>3</sub>
  - kedua elektroda PbO<sub>2</sub> dan Pb berubah menjadi PbSO<sub>4</sub>
  - kedua elektroda berubah menjadi Pb sebagai anode dan PbO<sub>2</sub> sebagai katode
  - kedua elektroda berubah menjadi Pb sebagai katode dari PbO<sub>2</sub> sebagai anode
- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.**
- Sebuah cermin cembung memiliki jari-jari kelengkungan 20 cm. Jika sebuah benda titik diletakkan pada jarak 14 cm dari cermin, hitunglah jarak bayangan ke cermin.
  - Lima ratus gram es pada suhu -16 °C dimasukkan ke dalam sebuah kalorimeter yang berisi 1000 gram air pada 20 °C. Kalorimeter itu dibuat dari tembaga yang massanya 278 gram. jika tidak ada panas yang hilang pada sistem, hitunglah suhu akhir sistem tersebut.
  - Sebuah karbon berbentuk balok dengan ukuran panjang 50 cm; lebar 1,0 cm; dan tinggi 1,0 cm. Berapakah hambatan yang diukur di antara penampang berbentuk persegi tersebut.
  - Sebuah rel baja mempunyai lebar luas penampang 7,1 inci<sup>2</sup>. Berapakah hambatan dari 10 mil lintasan tunggalnya?
  - Mengapa untuk tanda bahaya digunakan warna merah?
17. Selama berlangsung reaksi kimia pada elemen elektrokimia, akan terjadi perubahan energi ....
- listrik menjadi energi kimia
  - kimia menjadi energi listrik
  - kalor menjadi energi mekanik
  - listrik menjadi energi kalor
  - kimia menjadi energi kalor
18. Di antara elemen berikut, yang bukan merupakan elemen primer adalah ....
- elemen Volta
  - elemen Daniell
  - elemen Weston
  - batu baterai
  - akumulator
19. Berikut ini, yang bukan termasuk gelombang elektromagnetik, kecuali ....
- sinar gamma
  - sinar-X
  - gelombang TV
  - gelombang radio
  - gelombang bunyi
20. Pada spektrum gelombang elektromagnetik, yang memiliki frekuensi paling tinggi adalah ....
- sinar gamma
  - sinar-X
  - sinar ultraviolet
  - radio FM
  - radio AM

# Tes Kompetensi Akhir

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Sebuah alat ukur panjang memiliki nilai skala terkecil 0,5 mm. Hasil pengukuran panjang pulpen yang mungkin diperoleh dari alat ukur tersebut adalah ....
  - $(150,62 \pm 0,50)$  mm
  - $(151,00 \pm 0,50)$  mm
  - $(150,20 \pm 0,25)$  mm
  - $(150,50 \pm 0,25)$  mm
  - $(150,62 \pm 0,25)$  mm
- Berikut ini yang tidak termasuk besaran pokok adalah ....
  - panjang
  - massa
  - tegangan
  - suhu
  - waktu
- Ketut mengendarai sepeda motor dengan kelajuan rata-rata 100 km/jam. Jika dinyatakan dalam satuan knot (1 knot = 1,15 mil/jam) kelajuannya tersebut adalah ....
  - 52,0 knot
  - 53,0 knot
  - 54,0 knot
  - 55,0 knot
  - 56,0 knot
- Kalor jenis suatu zat dirumuskan dalam persamaan  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ , dengan  $Q$  adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan (joule),  $m$  adalah massa zat (kg), dan  $\Delta T$  adalah perubahan suhu (K). Dimensi kalor jenis ( $c$ ) adalah ....
  - $[M] [\theta]^{-1}$
  - $[M] [L]^{-1} [T]^{-2}$
  - $[M] [L]^2 [T]^{-2}$
  - $[L]^2 [T]^{-2} [\theta]^{-1}$
  - $[L] [T]^{-2} [\theta]^{-1}$
- Sebuah benda dikenai gaya tegak lurus terhadap bidang landasan sebesar 5 N dan  $45^\circ$  terhadap bidang landasan tersebut sebesar 5 N. Resultan gaya yang bekerja pada benda adalah ....
  - 10,0 N
  - 9,2 N
  - 8,6 N
  - 7,5 N
  - 5,0 N
- Dua buah vektor  $a = 4i - 4j$  dan vektor  $b = 3i + 4j$ . Panjang vektor  $c$  yang merupakan penjumlahan vektor  $a$  dan vektor  $b$  adalah ....
  - 3 satuan
  - 4 satuan
  - 5 satuan
  - 6 satuan
  - 7 satuan
- Besar sudut yang dibentuk vektor  $A = 3i + \sqrt{3}j$  terhadap sumbu- $x$  adalah ....
  - $15^\circ$
  - $30^\circ$
  - $45^\circ$
  - $60^\circ$
  - $75^\circ$

8. Perhatikan gambar berikut.

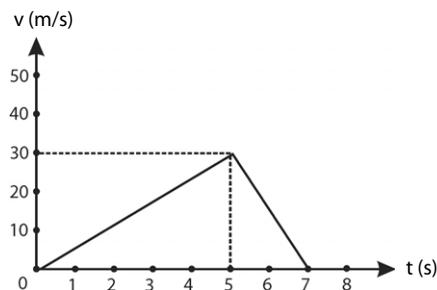


Gaya resultan yang dialami benda tersebut adalah ....

- $\sqrt{3}$  N
  - $2\sqrt{3}$  N
  - $3\sqrt{3}$  N
  - $(3 - 2\sqrt{3})$  N
  - $(2 - 3\sqrt{3})$  N
9. Dua buah gaya (setitik tangkap) saling tegak lurus, besarnya masing-masing 12 N dan 5 N. Besar resultan kedua gaya tersebut adalah ....
- 17 N
  - 15 N
  - 13 N
  - 9 N
  - 7 N

(UAN 2002)

10. Joko mengendarai sepeda motor yang bergerak lurus dengan kecepatan yang ditunjukkan pada grafik berikut.

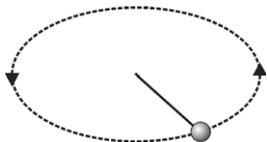


Jarak yang ditempuh Joko selama 7 sekon adalah ....

- 95 m
  - 100 m
  - 105 m
  - 110 m
  - 115 m
11. Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian  $h$  di atas tanah. Setelah sampai di tanah kecepatannya 10 m/s, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai ketinggian  $\frac{1}{2}h$  dari tanah ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) adalah ....
- $\frac{1}{2}\sqrt{2}$  sekon
  - 1 sekon
  - $\sqrt{2}$  sekon
  - 5 sekon
  - $5\sqrt{2}$  sekon

(UAN 2002)

12. Gultom berjalan dari kelas menuju taman dengan kecepatan konstan  $1,5 \text{ m/s}$  selama 10 sekon. Dari tempat itu, ia dapat kembali lagi ke kelas dengan berlari selama 7,5 sekon. Kecepatan Gultom saat berlari ke kelasnya adalah ....
- $1,2 \text{ m/s}$
  - $1,4 \text{ m/s}$
  - $1,6 \text{ m/s}$
  - $1,8 \text{ m/s}$
  - $2,0 \text{ m/s}$
13. Setiap benda yang bergerak secara beraturan dalam suatu lintasan bentuk lingkaran maka ....
- vektor kecepatannya tetap
  - vektor percepatannya tetap
  - gayanya tetap
  - momentum linearnya tetap
  - semua jawaban di atas salah
14. Seorang anak duduk di atas kursi pada permainan bianglala (kincir) yang berputar vertikal. Jika percepatan gravitasi Bumi  $10 \text{ m/s}^2$  dan jari-jari bianglala tersebut  $2,5 \text{ m}$ , laju maksimum bianglala tersebut agar anak tidak terlepas dari tempat duduknya adalah ....
- $8 \text{ m/s}$
  - $6 \text{ m/s}$
  - $4 \text{ m/s}$
  - $2 \text{ m/s}$
  - $1 \text{ m/s}$
15. Sebuah benda dengan massa  $10 \text{ kg}$  diikat dengan tali dan diputar sehingga lintasan benda berbentuk lingkaran vertikal dengan jari-jari  $1 \text{ m}$ . Gaya tegangan maksimum yang dapat ditahan tali adalah  $350 \text{ N}$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Kelajuan maksimum benda adalah ....
- $4,5 \text{ m/s}$
  - $5 \text{ m/s}$
  - $5,5 \text{ m/s}$
  - $6 \text{ m/s}$
  - $6,5 \text{ m/s}$
16. Sebuah benda yang bermassa  $200 \text{ gram}$  diikat dengan tali ringan, kemudian diputar secara horizontal dengan kecepatan sudut tetap sebesar  $5 \text{ rad/s}$ , seperti pada gambar berikut.



Jika panjang tali  $\ell = 60 \text{ cm}$ , besar gaya sentripetal yang bekerja pada benda adalah ....

- $0,3 \text{ N}$
  - $0,6 \text{ N}$
  - $3 \text{ N}$
  - $6 \text{ N}$
  - $30 \text{ N}$
- (UAN 2002)
17. Sebuah bola bermassa  $0,2 \text{ kg}$  diikat dengan tali sepanjang  $0,5 \text{ m}$ , kemudian diputar sehingga melakukan gerak melingkar beraturan dalam bidang vertikal. Jika pada saat mencapai titik terendah laju bola adalah  $5 \text{ m/s}$ , tegangan talinya pada saat itu besarnya ....
- $2 \text{ N}$
  - $8 \text{ N}$
  - $10 \text{ N}$
  - $12 \text{ N}$
  - $18 \text{ N}$

(UMPTN 1999)

18. Sebuah sepeda motor membelok pada tikungan berbentuk busur lingkaran dengan jari-jari  $10 \text{ m}$ . Jika koefisien gesekan antara roda dan jalan  $0,25$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , kecepatan motor terbesar yang diizinkan adalah ....
- $5 \text{ m/s}$
  - $2,5 \text{ m/s}$
  - $2,0 \text{ m/s}$
  - $1,5 \text{ m/s}$
  - $1,2 \text{ m/s}$
19. Sebuah mobil meluncur pada jalan yang mendaki dengan kecepatan tetap. Dalam hal ini, mesin mobil mengerjakan gaya sebesar ....
- berat mobil ditambah gaya gesekan
  - komponen berat mobil searah jalan ditambah gaya gesekan
  - gaya normal pada mobil ditambah gaya gesekan
  - berat mobil
  - gaya gesekan
20. Sebuah benda massanya  $10 \text{ kg}$  terletak pada bidang mendarat dan kasar dengan  $\mu = 0,2$ . Jika pada benda itu dikerjakan gaya  $70 \text{ N}$  selama 10 sekon, perpindahan yang dicapai benda adalah ....
- $50 \text{ m}$
  - $112,5 \text{ m}$
  - $125 \text{ m}$
  - $250 \text{ m}$
  - $875 \text{ m}$
21. Sebuah benda bermassa  $100 \text{ gram}$  jatuh bebas dari ketinggian  $100 \text{ meter}$ . Setelah sampai di permukaan Bumi, kecepatan menjadi  $10 \text{ m/s}$ . Jika percepatan gravitasi Bumi,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , besar gaya gesekan antara benda dan udara selama benda tersebut bergerak ke bawah adalah ....
- $0,1 \text{ N}$
  - $0,2 \text{ N}$
  - $0,8 \text{ N}$
  - $1,0 \text{ N}$
  - $2,0 \text{ N}$
22. Besar gaya gesekan pada benda yang bergerak di atas bidang miring kasar, yang gaya gesekannya dengan udara diabaikan, tidak bergantung pada ....
- berat benda
  - sudut miring bidang terhadap bidang horizontal
  - kekasaran permukaan bidang
  - kecepatan gerak benda
  - koefisien gesekan benda dengan bidangnya
23. Sebuah mobil menempuh sebuah belokan jalan datar pada kelajuan  $50 \text{ km/jam}$ , sehingga koefisien gesekan antara ban mobil dan jalan adalah  $0,05$ . Jari-jari minimum belokan mobil adalah ....
- $9,9 \text{ m}$
  - $0,95 \text{ km}$
  - $39 \text{ m}$
  - $5,1 \text{ km}$
  - $7,5 \text{ km}$

24. Sebuah balok massanya 3 kg terletak pada bidang mendatar yang mempunyai koefisien gesekan kinetis  $\frac{1}{4}\sqrt{3}$ . Balok diberi gaya 20 N bersudut  $30^\circ$  terhadap

bidang mendatar. Percepatan balok tersebut ....

- a.  $\frac{3}{2}\sqrt{3}$                       d.  $\frac{3}{5}\sqrt{3}$   
 b.  $\frac{5}{3}\sqrt{3}$                       e.  $\frac{1}{2}\sqrt{3}$   
 c.  $\frac{2}{3}\sqrt{3}$

25. Dari keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut  $15 \text{ rad/s}^2$ . Titik A berada pada benda tersebut, berjarak 10 cm dari sumbu putar. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 sekon, A mengalami percepatan total sebesar ....

- a.  $1,5 \text{ m/s}^2$                       d.  $3,9 \text{ m/s}^2$   
 b.  $2,1 \text{ m/s}^2$                       e.  $5,1 \text{ m/s}^2$   
 c.  $3,6 \text{ m/s}^2$

(UMPTN 1999)

26. Asep yang berpenglihatan normal (jarak baca minimumnya 25 cm) mengamati benda kecil melalui lup dengan berakomodasi maksimum. Jika benda itu 10 cm di depan lup maka pernyataan berikut ini yang tidak benar adalah ....

- a. jarak fokus lensa lup itu adalah  $16\frac{2}{3}$  cm  
 b. kekuatan lensa lup adalah 6 dioptri  
 c. perbesaran bayangan yang terjadi 2,5 kali  
 d. perbesaran bayangan menjadi 2 kali dibandingkan dengan pengamatan tanpa berakomodasi  
 e. jarak benda ke lup adalah 10 cm

27. Sebuah lensa bikonkaf simetris berjari-jari 8 cm, dan berindeks bias 1,5. Jarak fokus lensa tersebut ketika berada di dalam medium yang berindeks bias 1,6 adalah ....

- a. -8 cm                              d. +64 cm  
 b. +8 cm                              e. -64 cm  
 c. +20 cm

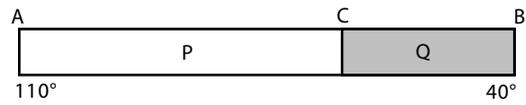
28. Sebuah lensa plan konveks dengan jari-jari 20 cm dan indeks bias  $\frac{3}{2}$ . Sebuah benda terletak di depan lensa dan dibentuk bayangan nyata dengan perbesaran 2 kali maka pernyataan berikut yang benar adalah ....

- a. letak benda 60 cm di depan lensa  
 b. jarak fokus lensa 60 cm  
 c. letak bayangan 10 cm di belakang lensa  
 d. bayangan bersifat tegak  
 e. bayangan terletak di jauh tak terhingga

29. Jika cahaya monokromatis merambat dari dalam kaca menuju ruang hampa, yang terjadi adalah ....

- a. kecepatannya berubah menjadi lebih lambat  
 b. frekuensinya tetap  
 c. panjang gelombangnya menjadi lebih pendek  
 d. energi fotonnya berubah  
 e. sudut datang sama dengan sudut bias

30. Dua barang logam P dan Q disambungkan dengan suhu ujung-ujungnya berbeda (lihat gambar).



Apabila koefisien konduktivitas logam P setengah kali koefisien konduktivitas logam Q, serta  $AC = 2CB$ , maka suhu di C adalah ....

- a.  $35^\circ\text{C}$                               d.  $70^\circ\text{C}$   
 b.  $40^\circ\text{C}$                               e.  $80^\circ\text{C}$   
 c.  $54^\circ\text{C}$

(UMPTN 1998)

31. Energi yang diradiasikan per detik oleh benda hitam pada suhu  $T_1$ , besarnya 16 kali energi yang diradiasikan per sekon pada suhu  $T_0$ ; maka  $T_1$  besarnya sama dengan ....

- a.  $2T_0$                                       d.  $4T_0$   
 b.  $2,5T_0$                                   e.  $5T_0$   
 c.  $3T_0$

(UMPTN 1998)

32. Sepotong logam massanya 1 kg dan suhunya  $80^\circ\text{C}$  dimasukkan ke dalam 2 kg air yang suhunya  $20^\circ\text{C}$ . Setelah keadaan setimbang, suhu campuran menjadi  $23^\circ\text{C}$ . Bila kalor jenis air  $1 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$  maka kalor jenis logam adalah ....

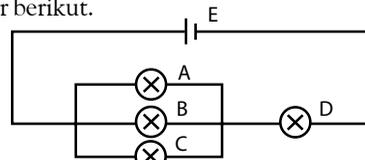
- a.  $0,105 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$                       d.  $2,051 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$   
 b.  $0,201 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$                       e.  $2,105 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$   
 c.  $1,105 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$

(EBTANAS 2001)

33. Batang besi homogen yang salah satu ujungnya dipanasi memiliki luas penampang  $15 \text{ cm}^2$ . Konduktivitas termal besi  $4 \times 10^5 \text{ J/msK}$ . Jika panjang batang 1 meter dan perbedaan suhu kedua ujung  $30^\circ\text{C}$ , besarnya kalor yang merambat adalah ....

- a. 36 kJ                                      d. 48 kJ  
 b. 40 kJ                                      e. 52 kJ  
 c. 46 kJ

34. Empat buah lampu yang sama dirangkai seperti pada gambar berikut.

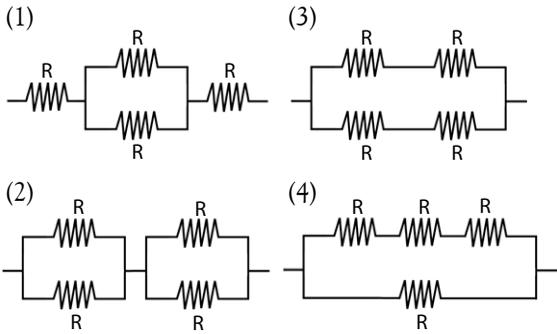


Oleh karena sumber tegangan E, semua lampu menyala. Jika lampu A dilepaskan dari rangkaian tersebut maka ....

- a. lampu B, C, dan D menyala dengan lebih terang  
 b. lampu D lebih terang daripada semula tetapi tidak seterang lampu B dan C sekarang  
 c. lampu D lebih redup daripada semula tetapi tidak seterang lampu B dan C sekarang  
 d. lampu D lebih terang daripada semula dan juga lebih terang daripada lampu B dan C sekarang  
 e. lampu D lebih redup daripada semula tetapi lebih terang daripada lampu B dan C sekarang

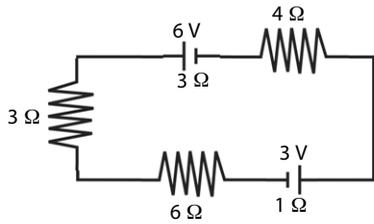
(UMPTN 1998)

35. Empat hambatan yang nilainya masing-masing  $R$ , dirangkai menjadi 4 jenis rangkaian berikut:



Rangkaian yang mempunyai hambatan gabungan bernilai  $R$  adalah ....

- a. (1) dan (2)      d. (2) dan (4)  
 b. (1) dan (3)      e. (3) dan (4)  
 c. (2) dan (3)
36. Pada rangkaian berikut ini, besarnya arus listrik adalah ....



- a. 0,1 A      d. 0,6 A  
 b. 0,2 A      e. 1,2 A  
 c. 0,4 A

**B. Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat.**

- Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 21,6 km/jam, kemudian direm dengan perlambatan  $0,75 \text{ m/s}^2$ . Berapa waktu yang diperlukan mobil saat pengereman sampai berhenti?
- Buktikanlah bahwa jika jumlah dan selisih dua vektor besarnya sama, vektor-vektor itu saling tegak lurus.
- Sebuah mobil bergerak dengan percepatan tetap  $2 \text{ m/s}^2$ . Setelah menempuh jarak 150 m, ternyata kecepatannya menjadi 25 m/s.
  - Berapakah kecepatan awal mobil tersebut?
  - Berapakah lama waktu tempuh mobil tersebut?
- Sebuah satelit Bumi berputar dalam orbit yang berbentuk lingkaran. Satelit itu mengorbit pada ketinggian 300 km di atas permukaan Bumi. Jika jari-jari Bumi  $6,38 \times 10^6$ , hitunglah laju satelit tersebut.
- Sebuah balok massanya 20 kg berada pada bidang datar yang kasar dengan koefisien gesekan statis 0,4 dan koefisien gesekan kinetis 0,2. Balok ditarik dengan gaya 80 N membentuk sudut  $37^\circ$  terhadap arah horizontal. Tentukanlah besarnya gaya gesekan yang dialami oleh benda.

- Urutan spektrum gelombang elektromagnetik berdasarkan frekuensi yang kecil ke yang lebih besar adalah ....
  - gelombang radio, gelombang mikro, sinar-X, dan sinar infra merah.
  - gelombang radio, sinar infra merah, sinar gamma, dan sinar-X
  - gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, dan sinar tampak
  - gelombang mikro, gelombang radio, sinar inframerah, dan sinar tampak
  - gelombang mikro, gelombang radio, sinar tampak, dan sinar gamma
- Rentang frekuensi gelombang radio dan panjang gelombang sinar tampak berturut-turut adalah ....
  - $10^4 \text{ Hz} - 10^7 \text{ Hz}$  dan 500 nm – 700 nm
  - $10^4 \text{ Hz} - 10^7 \text{ Hz}$  dan 400 nm – 600 nm
  - $10^4 \text{ Hz} - 10^7 \text{ Hz}$  dan 400 nm – 700 nm
  - $10^5 \text{ Hz} - 10^7 \text{ Hz}$  dan 300 nm – 600 nm
  - $10^5 \text{ Hz} - 10^7 \text{ Hz}$  dan 400 nm – 600 nm
- Berikut ini yang merupakan sifat gelombang elektromagnetik adalah ....
  - merupakan gelombang longitudinal
  - dapat dipolarisasikan
  - rambatnya memerlukan zat antara
  - tidak merambat pada ruang hampa
  - hanya merupakan gelombang medan listrik
- Radar atmosfer khatulistiwa yang dimiliki LAPAN memanfaatkan gelombang elektromagnetik yaitu ....
  - gelombang mikro      d. sinar tampak
  - gelombang radio      e. sinar ultraviolet
  - sinar inframerah

# Kunci Jawaban

## Bab 1 Pengukuran dan Besaran

### Tes Kompetensi Awal

- Mengukur adalah membandingkan ukuran suatu objek dengan suatu ukuran standar. Jadi, pengukuran adalah proses mengukur suatu objek untuk membantu pemanfaatan objek tersebut
- Jengkal tangan, mistar, atau jangka sorong
- Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu. Secara internasional sudah ditetapkan tujuh besaran pokok, yaitu panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus listrik, intensitas cahaya, dan jumlah zat. Besaran turunan adalah besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok. Yang dimaksud dengan dimensi, dalam kaitannya dengan besaran adalah lambang suatu besaran.

### Tes Kompetensi Subbab A

- Mistar, jangka sorong mikrometer sekrup untuk mengukur besaran panjang
  - Neraca (timbangan) untuk mengukur besaran massa
  - Jam atau stopwatch untuk mengukur besaran waktu
  - Amperemeter untuk mengukur kuat arus listrik
- 6,80 cm
  - 2,56 cm
- $x = (3,44 \pm 0,01) \text{ mm}$

### Tes Kompetensi Subbab B

- 4 angka penting
  - 5 angka penting
  - 5 angka penting
  - 2 angka penting
  - 2 angka penting
- 232,05 m
  - 42,4 m
  - 12,135 m
- 5,8 m<sup>2</sup>
  - 10,2 m<sup>2</sup>
  - 12,0 m<sup>2</sup>
  - 25,1 m<sup>2</sup>

### Tes Kompetensi Subbab C

- 16
  - 2,56
  - 388,8
  - 10<sup>6</sup>
  - 357,7
  - 100
- 666,3 km/jam
- $2 \cdot 10^7 \text{ erg}$
- [L]<sup>2</sup>
  - [M] [L]<sup>2</sup> [T]<sup>-3</sup>
  - [M] [L]<sup>2</sup> [T]<sup>-2</sup>
  - [M] [L] [T]<sup>-2</sup>

### Tes Kompetensi Bab 1

#### A. Pilihan Ganda

9. a
  11. b
  13. b
  15. d
17. d
  19. d
  21. b
  23. b
- a

#### B. Soal Uraian

- massa, massa jenis, jumlah zat, dan suhu
- daya  $P = \frac{W}{t} = [M][L]^2[T]^{-3}$
  - tekanan  $P = \frac{F}{A} = [M][L]^{-2}[T]^{-2}$
  - momentum  $p = mv = [M][L][T]^{-1}$
- 65,3 cm<sup>3</sup>
  - $9,208 \times 10^5 \text{ cm}^3$
- $A = (12,6 \pm 0,628) \text{ mm}^3$

## Bab 2 Vektor

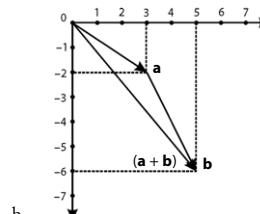
### Tes Kompetensi Awal

- Vektor adalah besaran Fisika yang memiliki arah dan nilai seperti gaya, perpindahan, dan kecepatan.
- Besaran vektor dapat dijumlahkan, dikurangkan, dan dikalikan, tetapi memiliki aturan tertentu tidak seperti operasi aljabar biasa.
- Misalnya, suatu partikel bergerak ke arah timur sejauh 2 satuan, kemudian kembali

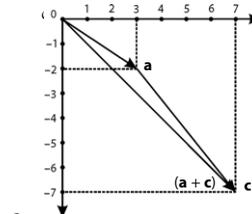
lagi ke arah barat sejauh 2 satuan. Artinya, perpindahannya adalah 0 satuan dan jarak yang telah ditempuhnya 4 satuan. Jarak bukan vektor (skalar), sedangkan perpindahan adalah vektor.

### Tes Kompetensi Subbab A

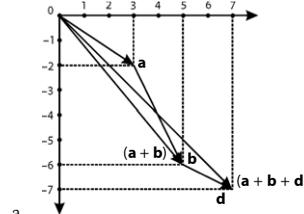
1. a.



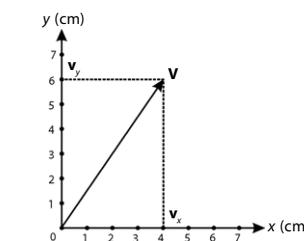
b.



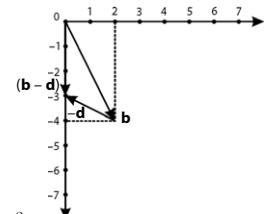
c.



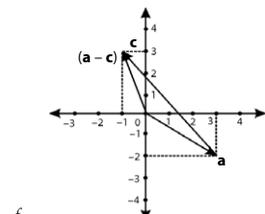
3. a.



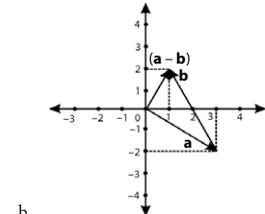
d.



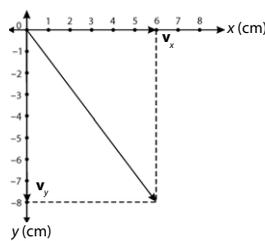
c.



f.



b.



- $\sqrt{37} \text{ N}, 43,8^\circ$
- Nilai vektor resultan dan bergantung pada  $\alpha$ -nya.

$$R = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{3^2 + 4^2 + 2(3)(4) \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{25 + 24 \cos \alpha}$$

$$R_{\text{maksimal}} \text{ jika } \cos \alpha = 1$$

$$R_{\text{maks}} = \sqrt{25 + 24}$$

$$R_{\text{maks}} = \sqrt{49}$$

$$R_{\text{maks}} = 7 \text{ satuan}$$

- $V_{1x} = 3 \text{ satuan};$   
 $V_{1y} = 4 \text{ satuan}$
  - $V_{2x} = -68,4 \text{ satuan};$   
 $V_{2y} = 188 \text{ satuan}$

### Tes Kompetensi Subbab B

- 4 satuan
- $\sqrt{88}$ , sudut a dengan sumbu-z adalah  $101,3^\circ$   
sudut b dengan sumbu-z adalah  $36,7^\circ$   
sudut c dengan sumbu-z adalah  $129,8^\circ$   
sudut a dengan b adalah  $105,2^\circ$

5. Dua buah vektor saling tegak lurus jika  $\alpha = 90^\circ$

$$|V_1 \times V_2| = V_1 V_2 \sin 90^\circ$$

$$|V_1 \times V_2| = V_1 V_2$$

### Tes Kompetensi Bab 2

#### A. Pilihan Ganda

1. e                      7. c                      13. b                      19. d  
3. d                      9. c                      15. d  
5. d                      11. c                      17. c

#### B. Soal Uraian

1. Besaran vektor : gaya, kecepatan, usaha, dan momentum  
Besaran skalar : panjang, luas, kelajuan, dan kuat arus listrik  
2 satuan  
5. 459,45 sudutnya  $42,9^\circ$  terhadap sumbu-x positif

### Bab 3 Gerak Lurus

#### Tes Kompetensi Awal

1. Jarak adalah panjang yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak, sedangkan perpindahan adalah selisih antara kedudukan awal terhadap kedudukan akhir benda yang bergerak.  
3. Kelajuan adalah besar kecepatan.  
Kelajuan merupakan besaran vektor.  
5. Setuju karena satu-satunya gaya yang mempengaruhi kedua benda itu adalah gaya gravitasinya.

#### Tes Kompetensi Subbab A

1. Jarak adalah panjang lintasan gerak suatu benda dan merupakan besaran skalar, sedangkan perpindahan hanya memerhatikan kedudukan awal dan kedudukan akhirnya sehingga perpindahan merupakan besaran vektor.  
3. a.  $s = 960 \text{ m}$   
b.  $\Delta x = 0$

#### Tes Kompetensi Subbab B

1. a. Laju rata-rata,  $v = 20 \text{ m/s}$   
Kecepatan rata-rata,  $\bar{v} = 20 \text{ m/s}$   
b. Kecepatan rata-rata,  $\bar{v} = 0$   
3. a.  $\bar{v} = 6 \text{ m/s}$   
b.  $\bar{v} = 14 \text{ m/s}$

#### Tes Kompetensi Subbab C

1. a. Kecepatan adalah vektor besar jarak tempuh dibagi selang waktu tertentu.  
b. Kelajuan adalah besaran skalar (nilai) dari vektor.  
c. Kelajuan rata-rata adalah besar perpindahan dibagi selang waktu.  
d. Kelajuan sesaat adalah nisbah jarak yang ditempuh oleh suatu benda terhadap waktu tertentu.  
e. Kecepatan rata-rata adalah jarak gerak suatu benda dibagi selang waktu.  
3.  $-0,2 \text{ m/s}^2$   
5.  $\Delta x = 13 \text{ m}$

#### Tes Kompetensi Subbab D

1. 360 m  
3. 20 m/s  
5. Kedua pembalap bertemu ketika pembalap A telah bergerak sejauh 25,6 km.

#### Tes Kompetensi Subbab E

1. a.  $\bar{v} = 12 \text{ m/s}$   
b.  $s = 24 \text{ m}$   
3. a. 2 m/s  
b. 39 m  
5. 4 s  
7.  $t = 10\sqrt{3} \text{ s}$ ;  
 $h = 300 \text{ m}$   
9.  $30 \text{ m/s}^2$

#### Tes Kompetensi Bab 3

##### A. Pilihan Ganda

1. e                      7. c                      13. b                      17. a  
3. c                      9. d                      15. d                      19. d  
5. d                      11. b

##### B. Soal Uraian

1. 0,1 m/s  
3.  $t = 16 \text{ s}$ ;  
 $s = 320 \text{ m}$   
5. kereta bergerak sejauh 95,24 dan diperlukan waktu 19,05 s  
7.  $t = 3,8 \text{ s}$ ;  
 $v_i = 40 \text{ m/s}$   
9.  $v_0 = \frac{80}{3} \text{ m/s}$ ;  
 $v_i = 50 \text{ m/s}$

### Bab 4 Gerak Melingkar

#### Tes Kompetensi Awal

1. Gerak melingkar adalah suatu konsep Fisika yang mempelajari benda yang pada saat tertentu sedang bergerak pada lintasan yang berbentuk lingkaran.  
3. Arti rpm adalah kependekan dari rotasi (putaran) per menit, yaitu satuan gerak benda yang lintasannya periodik berbentuk lingkaran.  
5. Gerak planet mengitari Matahari atau gerak Bulan mengitari Bumi.

#### Tes Kompetensi Subbab A

1.  $f = 0,014 \text{ Hz}$ ;  
 $T = 72 \text{ sekon}$   
3.  $\omega = 0,067 \text{ rad/s}$   
5.  $v = 2 \text{ m/s}$

#### Tes Kompetensi Subbab B

1.  $a_{sp} = 320 \text{ m/s}^2$   
3.  $a_{sp} = 20 \text{ m/s}^2$   
5.  $R = 0,04 \text{ m}$

#### Tes Kompetensi Subbab C

1. Oleh karena di atas kecepatan tertentu orang yang menaiki *roller coaster* selalu memiliki kecepatan sesaat ke arah luar lintasan melingkar tersebut.  
3. Gerak melingkar Bulan mengelilingi Matahari.

#### Tes Kompetensi Subbab D

1. a.  $\omega = 2,05 \text{ rad/s}$   
b.  $\Delta\theta = 240 \text{ rad}$   
3. a.  $\alpha = 8,38 \text{ rad/s}$   
b. jumlah putaran = 335,15 rad

#### Tes Kompetensi Bab 4

##### A. Pilihan Ganda

1. c                      7. b                      13. c                      19. b  
3. d                      9. d                      15. d  
5. b                      11. a                      17. b

##### B. Soal Uraian

3. a.  $s = 960 \text{ m}$   
b.  $\Delta x = 0$   
1. a. 4 rad/s  
b. 40 N  
c.  $8 \text{ m/s}^2$   
3. 0,4 s  
5. a.  $\omega = 94 \text{ rad/s}$   
b.  $v = 28,8 \text{ rad/s}$   
7. a.  $\alpha = -5 \text{ putaran/s}$   
b. 50 putaran  
9. a.  $\alpha = 2 \text{ putaran/s}^2$   
b.  $t = 5 \text{ s}$

### Bab 5 Dinamika Gerak

#### Tes Kompetensi Awal

1. Gaya adalah pengaruh (gangguan) yang dikenakan terhadap suatu objek.  
Gaya merupakan besaran vektor.  
3. Pada benda yang bergerak lurus beraturan, gaya yang dialami benda berbanding lurus dengan massa dan percepatannya.  
5. Gerak jatuh bebas yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

#### Tes Kompetensi Subbab A

1.  $F = 4.000 \text{ N}$   
3.  $F = 10.000 \text{ N}$   
5.  $h_{maks} = 5,83 \text{ m}$   
7.  $a_{sp} = 20 \text{ rad/s}$   
 $v^i = 8 \text{ m}_{Sitorus}$   
9.  $10\sqrt{5} \text{ m/s}$

#### Tes Kompetensi Subbab B

1.  $a = 3 \text{ m/s}^2$ ;  $v = v_0 + \frac{1}{2} a t$   
3.  $a = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2$   
5.  $w^i = 8 \text{ m}_{Sitorus}$

#### Tes Kompetensi Bab 5

##### A. Pilihan Ganda

1. d                      7. c                      13. a                      19. b  
3. d                      9. b                      15. c  
5. b                      11. d                      17. c

**B. Soal Uraian**

- $9 \text{ m/s}^2$
- a.  $32 \text{ N}$   
b.  $6 \text{ m/s}^2$   
c.  $75 \text{ m}$
- a.  $1,75 \text{ m/s}^2$   
b.  $40,25 \text{ N}$
- $T_A = 130 \text{ N}$   
 $T_B = 60 \text{ N}$
- a.  $6.000 \text{ N}$   
b.  $3.600 \text{ N}$   
c.  $3.600 \text{ N}$   
d.  $3.600 \text{ N}$

**Tes Kompetensi Fisika Semester 1****A. Pilihan Ganda**

- d                    9. b                    17. c
- d                    11. d                  19. b
- c                    13. a
- c                    15. c

**B. Soal Uraian**

- $3\sqrt{2} \text{ m/s}$  dan  $45^\circ$
- $50 \text{ N}$
- $16 \text{ N}$

**Bab 6 Cahaya dan Optik****Tes Kompetensi Awal**

- Bayangan nyata dapat langsung dilihat dengan mata, sedangkan bayangan maya tidak dapat langsung dilihat dengan mata.
- Pembiasan adalah peristiwa pembelokan cahaya setelah melewati bidang batas suatu medium.  
Indeks bias relatif adalah perbandingan kecepatan cahaya dari suatu medium dengan medium lain.  
Indeks bias mutlak adalah perbandingan kecepatan cahaya dalam suatu medium dengan kecepatan cahaya pada hampa udara.
- Memfokuskan atau menyebarkan cahaya, memperbesar/memperkecil bayangan, membalik bayangan.

**Tes Kompetensi Subbab A**

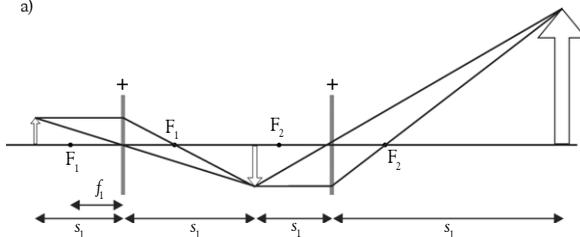
- Menurut teori partikel, cahaya adalah partikel berukuran kecil yang bergerak pada lintasan lurus. Adapun menurut teori gelombang, cahaya merupakan gelombang yang bergerak dengan kecepatan tertentu dalam medium eter.
- Menurut Huygens, titik-titik pada muka gelombang yang merambat dapat dianggap sebagai baru.
- Keduanya benar. Sebagai partikel cahaya memiliki muatan, sedangkan sebagai gelombang cahaya merambat.

**Tes Kompetensi Subbab B**

- $90^\circ$
- $n=7$
- $s = 10 \text{ cm}$

**Tes Kompetensi Subbab C**

- $v_{\text{udara}} = 2,05 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Ya, semakin besar kerapatan suatu medium maka semakin besar indeks biasnya.
- a)



- b) Bayangan akhir ada di ruang bayangan III lensa 2

**Tes Kompetensi Subbab D**

- $f = 1,33 \text{ m}$

**Tes Kompetensi Bab 6****A. Pilihan Ganda**

- c                    7. c                    13. a                    19. a
- c                    9. d                    15. a
- d                    11. c                    17. b

**B. Soal Uraian**

- $x = 30^\circ$   
 $n = 11$
- a.  $-72,7^\circ$   
b.  $-40$
- $2,16 \times 10^{-2} \text{ m}$

**Bab 7 Suhu dan Kalor****Tes Kompetensi Awal**

- Pemuaiannya adalah peristiwa bertambah panjang, luas, atau volume suatu zat akibat adanya perubahan suhu.
- Air mendidih pada suhu tetap jika tekanan tidak berubah. Ketika mendidihkan air di daerah pegunungan (tekanan udara rendah) waktu yang diperlukan relatif lebih cepat dibandingkan dengan mendidihkan air di daerah pantai (tekanan udara tinggi)

**Tes Kompetensi Subbab A**

- $64.600 \text{ J}$
- $31,64^\circ \text{ C}$
- $Q = 41 \text{ kkal}$

**Tes Kompetensi Subbab B**

- $7,9 \text{ J/s}$  (teko keramik)  
 $2,9 \text{ J/s}$  (teko mengkilat)
- $3,9 \text{ J/s}$

**Tes Kompetensi Bab 7****A. Pilihan Ganda**

- d                    9. d                    17. c
- c                    11. c                    19. c
- d                    13. e
- a                    15. a

**B. Soal Uraian**

- $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $591,6 \text{ cc}$
- $7,68 \text{ kkal}$
- $64,9 \text{ MJ}$

**Bab 8 Listrik Dinamis****Tes Kompetensi Awal**

- Tidak. Menurut perjanjian, arah arus dalam penghantar berlawanan dengan arah gerak elektron.
- Hambatan jenis bahan, luas penampang bahan, dan panjang bahan.
- Akumulator, batu baterai, sel Volta, solar cell, dan lain-lain.

**Tes Kompetensi Subbab A**

- a. listrik statis adalah listrik yang keadaan muatannya selalu tetap (diam)  
b. listrik dinamis adalah listrik yang muatannya dapat berpindah (dihantarkan)
- $Q = 4,8 \text{ Coulomb}$
- $I = 0,8 \text{ mA}$

**Tes Kompetensi Subbab B**

- $I = \frac{2}{3} \text{ A} = 0,667 \text{ A}$
- $I = 0,03 \text{ A}$
- $R_2 = 150 \Omega$

**Tes Kompetensi Subbab C**

- a.  $R_1 = 1,3 \Omega$   
b.  $I_1 = 4 \text{ A}$   
c.  $I_2 = 3 \text{ A}$   
d.  $I_3 = 2 \text{ A}$
- $I = \frac{75}{58} \text{ A}$
- $I = 11 \text{ A}$  (masuk percabangan)

**Tes Kompetensi Subbab D**

- di  $R = 24 \Omega \rightarrow I = 0,6 \text{ A}$
- di  $R = 16 \Omega \rightarrow I = 0,3 \text{ A}$

**Tes Kompetensi Subbab E**

- Akumulator, batu baterai, sel volta, solar cell, dan lain-lain.
- $\text{H}_2 \text{ SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
- Di katoda  $\text{Pb SO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4$   
Di anoda  $\text{Pb SO}_4 + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{C}^-$

**Tes Kompetensi Subbab F**

- $W = 134944,24 \text{ Joule}$
- Harga = Rp 19.800
- $V_{ef} = 100\sqrt{2} \text{ volt}$   
 $V_m = 100 \text{ volt}$   
 $V_r = 63,6 \text{ volt}$
  - $I_{ef} = 5\sqrt{2} \text{ A}$   
 $I_m = 5 \text{ A}$   
 $I_r = 3,18 \text{ A}$
- Sekering lampu = 0,5 A; TV = 0,3 A; Pengering rambut = 3 A; Pemanggang roti = 5 A; Cerek listrik = 13 A

**Tes Kompetensi Bab 8**

**A. Pilihan Ganda**

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 7. d  | 13. b | 19. e |
| 3. c | 9. b  | 15. d |       |
| 5. a | 11. c | 17. a |       |

**B. Soal Uraian**

- $V_1 = I \frac{\ell}{A} (10^{-7}) \text{ volt}$   
 $V_2 = I \frac{\ell}{A} (1,8 \times 10^{-7}) \text{ volt}$   
 $V_3 = I \frac{\ell}{A} (1,7 \times 10^{-8}) \text{ volt}$
- $I_2 = 60 \text{ A}; I_3 = 4,8 \text{ A}$
  - $R_p = 0,17 \Omega$
- 1,54 mA
  - 23,6 W
  - 13,6 W

**Bab 9 Gelombang Elektromagnetik**

**Tes Kompetensi Awal**

- Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang berasal dari hasil pergetaran partikel bermuatan. Perambatannya tidak memerlukan medium.
- Gelombang radio memiliki panjang gelombang yang relatif kecil sehingga energinya tidak cukup kuat untuk menembus lapisan ionosfer. Oleh karena itu, gelombang radio dipantulkan kembali oleh lapisan ionosfer.

**Tes Kompetensi Subbab A**

- Gelombang bermuatan elektromagnetik adalah gelombang yang sumber getarnya berasal dari getaran partikel.
  - Gelombang elektromagnetik merambat tanpa memerlukan medium, berbeda dengan gelombang mekanik yang memerlukan medium.
- Gelombang radio dan gelombang mikro dimanfaatkan untuk keperluan konveksi seperti radio, TV, dan telpon seluler.
  - Gelombang inframerah banyak digunakan untuk keperluan transport data jarak pendek atau sensor-sensor seperti dalam remot kontrol
  - Gelombang EM ultraviolet, sinar-x, dan sinar gamma biasanya dimanfaatkan dalam pengobatan penyakit kanker.

**Tes Kompetensi Subbab B**

- Dalam keadaan bergerak, partikel bermuatan menghasilkan gelombang EM
- jaraknya = 900 m
- kedudukannya adalah 13.500 m

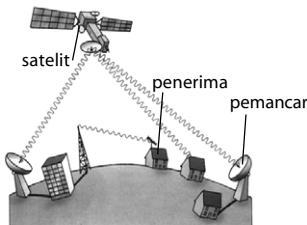
**Tes Kompetensi Bab 9**

**A. Pilihan Ganda**

- |      |      |      |
|------|------|------|
| 1. c | 5. a | 9. b |
| 3. b | 7. c |      |

**B. Soal Uraian**

- $\lambda = 3 \text{ m}$
- Karena sinar-X mempunyai panjang gelombang yang pendek



**Tes Kompetensi Fisika Semester 2**

**A. Pilihan Ganda**

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. b | 7. e  | 13. d | 19. e |
| 3. e | 9. a  | 15. b |       |
| 5. a | 11. b | 17. b |       |

**B. Soal Uraian**

- 5,8 cm
- 0,18  $\Omega$
- Oleh karena warna merah pada spektrum cahaya tampak merupakan warna yang paling besar panjang gelombangnya sehingga mata kita lebih mudah menangkapnya dari jarak yang lebih jauh dibandingkan untuk warna cahaya tampak lainnya.

**Tes Kompetensi Akhir**

**A. Pilihan Ganda**

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 11. a | 21. c | 31. a |
| 3. c | 13. b | 23. c | 33. a |
| 5. b | 15. b | 25. d | 35. c |
| 7. b | 17. e | 27. d | 37. c |
| 9. c | 19. b | 29. b | 39. b |

**B. Soal Uraian**

- 8 sekon
- 5 m/s
  - 10 s
- 30,4 N
- 7.250 kal
- 56 mA

# Apendiks



## Simbol-Simbol Matematika

=	: sama dengan	$\Delta x$	: perubahan $x$
$\neq$	: tidak sama dengan	$ x $	: nilai absolut $x$
$\approx$	: hampir sama dengan	$n!$	: $n(n-1)(n-2) \dots 1$
$\sim$	: dalam orde	$\Sigma$	: jumlah
$\propto$	: sebanding dengan	lim	: limit
$>$	: lebih besar dari	$\Delta t \rightarrow 0$	: $\Delta t$ mendekati nol
$\geq$	: lebih besar sama dengan	$\frac{dx}{dt}$	: turunan $x$ terhadap $t$
$\gg$	: jauh lebih besar dari	$\frac{\partial x}{\partial t}$	: turunan parsial $x$ terhadap $t$
$<$	: lebih kecil	$\int$	: integral
$\leq$	: lebih kecil sama dengan		
$\ll$	: jauh lebih kecil dari		

## Rumus Trigonometri

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta + \cos^2 \theta &= 1 \\ \sec^2 \theta - \tan^2 \theta &= 1 \\ \csc^2 \theta - \cot^2 \theta &= 1 \\ \sin 2\theta &= 2 \sin \theta \cos \theta \\ \cos 2\theta &= \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \\ &= 2 \cos^2 \theta - 1 \\ &= 1 - 2 \sin^2 \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan 2\theta &= \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta} \\ \sin \frac{1}{2} \theta &= \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}} \cos \frac{1}{2} \theta \\ &= \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} \tan \frac{1}{2} \theta \\ &= \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{1 + \cos \theta}} \end{aligned}$$

## Turunan Fungsi-Fungsi Tertentu

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= 0 \text{ dengan } C \text{ adalah konstanta} \\ \frac{d(t^n)}{dt} &= nt^{n-1} \\ \frac{d}{dt} \sin \omega t &= \omega \cos \omega t \\ \frac{d}{dt} \cos \omega t &= -\omega \sin \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \tan \omega t &= \omega \sec^2 \omega t \\ \frac{d}{dt} e^{bt} &= be^{bt} \\ \frac{d}{dt} \ln bt &= \frac{1}{t} \end{aligned}$$

## Rumus-Rumus Integrasi

$$\begin{aligned} \int A dt &= At \\ \int A t dt &= \frac{1}{2} A t^2 \\ \int A t^n dt &= A \frac{t^{n+1}}{n+1} \quad n \neq -1 \\ \int A t^{-1} dt &= A \ln t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int e^{bt} dt &= \frac{1}{b} e^{bt} At \\ \int \cos \omega t dt &= \frac{1}{\omega} \sin \omega t \\ \int \sin \omega t dt &= -\frac{1}{\omega} \cos \omega t \end{aligned}$$

### Satuan-Satuan Dasar

Panjang	Meter (m) adalah jarak yang ditempuh oleh cahaya di ruang vakum dalam waktu $1/299.792.458$ sekon	Arus	Ampere (A) adalah arus pada dua kawat panjang paralel yang terpisah sejauh 1 meter dan menimbulkan gaya magnetik per satuan panjang sebesar $2 \times 10^{-7}$ N/m
Waktu	Sekon (s) adalah waktu yang diperlukan untuk $9.192.631.770$ siklus pada radiasi yang berhubungan dengan transisi antara dua tingkat hiperfin dengan keadaan dasar pada atom $^{133}\text{Cs}$	Temperatur	Kelvin (K) adalah $1/273.16$ dari temperatur termodinamika pada <i>triple point air</i>
Massa	Kilogram (kg) adalah massa pada Standar Internasional untuk bobot dan ukuran yang disimpan di Sevres, Prancis	Intensitas cahaya	Candela (cd) adalah intensitas cahaya dalam arah tegak lurus permukaan benda hitam seluas $1/600.000$ m pada temperatur beku platinum dengan tekanan 1 atm

### Satuan-Satuan Turunan

Gaya	newton (N)	$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$	Hambatan listrik	ohm ( $\Omega$ )	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Kerja, Energi	joule (J)	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$	Kapasitas listrik	farad (F)	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
Daya	watt (W)	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$	Medan magnet	tesla (T)	$1 \text{ T} = 1 \text{ N/Am}$
Frekuensi	hertz (Hz)	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$	Fluks magnet	weber (Wb)	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Tm}^2$
Muatan listrik	coulomb (C)	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$	Induktansi	henry (H)	$1 \text{ H} = 1 \text{ J/A}^2$
Potensial listrik	volt (V)	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$			

### Data Terestrial

Percepatan gravitasi $g$	$9,80665 \text{ m/s}^2$	Tekanan	$101,325 \text{ kPa}$
Massa Bumi $M_B$	$5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$		$1,00 \text{ atm}$
Jari-jari Bumi, $R_B$ , rata-rata	$6,37 \times 10^6 \text{ m}$	Massa molar udara	$28,97 \text{ g/mol}$
	$3.960 \text{ mil}$	Massa jenis udara (STP), $\rho_{\text{udara}}$	$1,293 \text{ kg/m}^3$
Kecepatan lepas $\sqrt{2R_B g}$	$1,12 \times 10^4 \text{ m/s}$	Kecepatan suara (STP)	$331 \text{ m/s}$
Konstanta Matahari*	$1,35 \text{ kW/m}^2$	Kalor didih air ( $0^\circ\text{C}$ , 1 atm)	$333,5 \text{ kJ/kg}$
Suhu dan tekanan standar (STP):		Kalor penguapan air ( $100^\circ\text{C}$ , 1 atm)	$2,257 \text{ MJ/kg}$
Temperatur	$273,15 \text{ K}$		

\* Daya rata-rata yang terjadi pada  $1 \text{ m}^2$  di luar atmosfer Bumi pada jarak rata-rata antara Bumi dan Matahari.

### Data Astronomi

Bumi		Bulan	
Jarak ke Bulan*	$3,844 \times 10^8 \text{ m}$	Massa	$7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$
	$2,389 \times 10^5 \text{ mil}$	Jari-jari	$1,738 \times 10^6 \text{ m}$
Jarak ke Matahari, rata-rata*	$1,496 \times 10^{11} \text{ m}$	Periode	$27,32 \text{ hari}$
	$1,00 \text{ AU}$	Percepatan gravitasi pada permukaan	$1,62 \text{ m/s}^2$
Kecepatan orbit, rata-rata	$2,98 \times 10^4 \text{ m/s}$		
Matahari			
Massa	$7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$		
Jari-jari	$1,738 \times 10^6 \text{ m}$		

\* pusat ke pusat

## Konstanta Fisika

Konstanta gravitasi	$G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$	Permitivitas ruang hampa	$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$
Kecepatan cahaya	$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$	Permiabilitas ruang hampa	$\mu_0 = 4 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
Muatan elektron	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$	Konstanta Planck	$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Konstanta Avogadro	$N_A = 6,002 \times 10^{23} \text{ partikel/mol}$		$\hbar = 1,055 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Konstanta gas	$R = 8,314 \times 10^{-11} \text{ J/molK}$	Massa elektron	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Konstanta Boltzmann	$k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	Massa proton	$m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Unit massa terpadu	$u = 1,661 \times 10^{-24} \text{ g}$	Massa neutron	$m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Konstanta Coulomb	$k = 8,988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$		

## Faktor-Faktor Konversi

<b>Panjang</b>		<b>Massa</b>	
1 km = 0,6215 mil		1 kg = 1.000 g	
1 mil = 1,609 km		1 ton = 1.000 kg	
1 m = 1,0396 yd = 3,281 ft = 39,37 inci		1 u = 1,6606 $\times 10^{-27}$ kg	
1 inci = 2,54 cm		1 kg = 6,022 $\times 10^{23}$ u	
1 ft = 12 inci = 30,48 cm		1 slug = 14,59 kg	
1 yd = 3ft = 91,44 cm		1 kg = 6,852 $\times 10^{-2}$ slug	
1 tahun cahaya = 1c.tahun = 9,461 $\times 10^{15}$ m		1 u = 931,50 MeV/c <sup>2</sup>	
1 Å = 0,1 nm		<b>Massa Jenis</b>	
<b>Luas</b>		1 g/cm <sup>3</sup> = 10.000 kg/m <sup>3</sup> = 1 kg/L	
1 m <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup>		(1 g/cm <sup>3</sup> )g = 62,4 lb/ft <sup>3</sup>	
1 km <sup>2</sup> = 0,3851 mil <sup>2</sup> = 247,1 ha		<b>Gaya</b>	
1 inci <sup>2</sup> = 6,5416 cm <sup>2</sup>		1 N = 0,2248 lb = 10 <sup>5</sup> dyne	
1 ft <sup>2</sup> = 9,29 $\times 10^{-2}$ m <sup>2</sup>		1 lb = 4,4482 N	
1 m <sup>2</sup> = 10,76 ft <sup>2</sup>		(1 kg)g = 2,2046 lb	
1 ha = 43,560 ft <sup>2</sup>		<b>Tekanan</b>	
1 mil <sup>2</sup> = 640 ha <sup>2</sup> = 590 km <sup>2</sup>		1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	
<b>Volume</b>		1 atm = 101,325 kPa = 1,01325 bar	
1 m <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup>		1 atm = 14,7 lb/in <sup>2</sup> = 760 mmHg	
1 L = 1.000 cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>		1 torr = 1 mmHg = 133,32 Pa	
1 gal = 3,786 L		1 bar = 100 kPa	
1 gal = 4 qt = 8 pt = 128 oz = 231 inci <sup>3</sup>		<b>Energi</b>	
1 inci <sup>3</sup> = 16,39 cm <sup>3</sup>		1 kWh = 3,6 MJ	
1 ft <sup>3</sup> = 1.728 inci <sup>3</sup> = 28,32 L = 2,832 $\times 10^4$ cm <sup>3</sup>		1 kal = 4,184 J	
<b>Waktu</b>		1 Latm = 101,325 J = 24,217 kal	
1 jam = 60 menit = 3,6 ks		1 Btu = 778 ft.lb = 252 kal = 1054,35 J	
1 hari = 24 jam = 1.440 menit = 86,4 ks		1 eV = 1,602 $\times 10^{-19}$ J	
1 tahun = 365,24 hari = 31,56 Ms		1 uc <sup>2</sup> = 931,50 MeV	
<b>Kecepatan</b>		1 erg = 10 <sup>-7</sup> J	
1 km/jam = 0,2778 m/s = 0,6215 mil/jam		<b>Daya</b>	
1 mil/jam = 0,4470 m/s = 1,609 km/jam		1 daya kuda = 550 ftlb/s = 745,7 W	
1 mil/jam = 1,467 ft/s		1 Btu/menit = 17,58 W	
<b>Sudut dan Kecepatan Sudut</b>		1 W = 1,341 $\times 10^{-3}$ daya kuda = 0,7376 ftlb/s	
1 rad = 180°		<b>Medan Magnet</b>	
1 rad = 57,30°		1 G = 10 <sup>-4</sup> T	
1° = 1,745 $\times 10^{-2}$ rad		1 T = 10 <sup>4</sup> G	
1 rev/menit = 0,1047 rad/s		<b>Konduktivitas Termal</b>	
1 rad/s = 9,549 rev/menit		1 W/mK = 6,938 Btuinci/jamft <sup>2</sup> °F	
		1 Btuinci/jamft <sup>2</sup> °F = 0,1441 W/mK	

# Senarai

## A

**Akomodasi:** proses perubahan jarak fokus lensa mata

**Amplitudo:** simpangan terjauh pada suatu osilasi/ayunan

**Arus (listrik):** aliran muatan listrik melalui sebuah konduktor

**Besaran skalar:** besaran yang hanya memiliki nilai

**Besaran vektor:** besaran yang memiliki nilai dan arah

## B

**Beda potensial:** perbezaan nilai potensial di antara dua titik yang dilakukan untuk memindahkan muatan satuan dari satu titik ke titik lain

## D

**Dimensi:** hasil kali besaran fisis dasar yang dipangkatkan dengan angka yang tepat dalam besaran fisis turunan

## E

**Efek piezoelektrik:** timbulnya beda potensial antara sisi-sisi yang berhadapan pada kristal non konduktor tertentu akibat pemberian tegangan mekanik antara kedua sisi tersebut

**Ekspansivitas linear:** pertambahan tiap satuan panjang suatu spesimen zat padat persatuan kenaikan temperatur

**Elemen primer:** sel voltaik yang reaksi kimianya menghasilkan ggl yang tidak sepenuhnya terbalikkan

**Elemen sekunder:** sel voltaik yang reaksi kimianya untuk menghasilkan ggl bersifat terbalikkan

**Elemen primer:** sel voltaik yang reaksi kimianya menghasilkan ggl yang tidak sepenuhnya terbalikkan

**Energi voltaik:** alat yang menghasilkan ggl akibat reaksi kimia yang berlangsung di dalamnya

**Energi mekanik:** total energi kinetik dan energi potensial dari benda

**Energi potensial:** energi yang dimiliki benda karena kedudukannya

## F

**Frekuensi:** jumlah ayunan/osilasi yang terjadi pada jangka waktu satu detik

## G

**Gaya gerak listrik:** beda potensial maksimum antara kutub positif dan negatif listrik ketika tidak ada arus yang mengalir

**Gelombang elektromagnetik:** gelombang yang merambat melalui ruang yang melibatkan osilasi medan listrik dan medan magnet dengan saling tegak lurus arahnya

## H

**Hambatan jenis:** ukuran kemampuan bahan untuk melawan arus listrik

## I

**Indeks bias mutlak:** perbandingan laju radiasi elektromagnetik dalam ruang hampa terhadap laju radiasi dalam suatu medium

**Indeks bias relatif:** perbandingan laju cahaya di ruang hampa dengan laju cahaya pada suatu medium

**Induksi elektromagnetik:** timbulnya gaya gerak listrik di dalam suatu konduktor jika terdapat perubahan fluks magnetik pada konduktor

## K

**Konduksi (termal):** perpindahan kalor melalui suatu bahan sebagai medium hantarannya

**Konveksi (termal):** perpindahan kalor pada fluida akibat pergerakan fluida itu sendiri.

**Kecepatan sudut:** perubahan pergeseran sudut posisi terhadap waktu

## N

**Neutron:** partikel netral stabil di dalam inti atom

## P

**Pembiasan:** perubahan arah yang dialami oleh muka gelombang pada saat melintas miring dari suatu medium ke medium lain

**Percepatan sudut:** laju perubahan kecepatan sudut

**Proton:** muatan positif yang terdapat pada inti atom

## R

**Radiasi (termal):** perpindahan kalor dengan cara perambatan gelombang elektromagnetik

**Roller coaster (kereta luncur):** kereta mainan yang memanfaatkan prinsip kekekalan energi mekanik benda

## S

**Sifat termometrik:** besaran fisis yang berubah ketika ada perubahan temperatur di sekitarnya

**Sel foto elektrik:** arus listrik yang dihasilkan sinyal listrik sebagai reaksi atas radiasi elektromagnetik

**Spektrum (elektromagnetik):** deret urutan energi elektromagnetik yang disusun berdasarkan panjang gelombang atau frekuensi

## T

**Titik didih:** temperatur ketika keadaan tekanan uap jenuh suatu cairan sama dengan tekanan atmosfer luar

**Titik fokus:** sebuah titik suatu sistem optik tempat sinar-sinar cahaya datang berasal atau tempat sinar-sinar itu menuju

**Termoelektrik:** arus listrik yang dihasilkan akibat perbezaan temperatur

# Indeks

## A

amperemeter 171–175, 178, 193, 198, 199  
anomali air 163  
angka diragukan 12  
angka penting 1, 2, 5, 10–16, 27, 29, 30, 105  
arus listrik 153, 169–174, 179–181, 183, 186, 189–191, 193, 196–198, 200  
astigmatisma 134, 142, 144  
atom 18, 19, 24–26, 178, 190, 202, 205, 206

## B

bayangan maya 108, 112, 115, 133, 135, 145  
bayangan nyata 108, 112, 113, 117, 129, 131  
beda potensial 170, 171, 173, 181–183, 187, 188, 192, 197–200  
besaran pokok 2, 17, 20, 22, 27, 29, 30  
besaran skalar 31, 32, 39, 43, 41, 44, 86  
besaran turunan 2, 17, 20, 22, 23, 26, 27, 29, 30  
besaran vektor 31–33, 39, 41, 43, 44, 86, 89

## C

cara analisis 36, 39

## D

daya akomodasi 131, 142, 144  
daya listrik 192, 196, 197  
deviasi minimum 124, 125, 126, 131, 146  
dimensi 2, 22, 23, 26, 27, 29, 30, 37, 105, 111

## E

elektromagnetik 121, 122, 172, 175, 189, 201–208, 211  
elektron 24, 170, 172, 189–191, 202, 206  
elemen primer 189, 191, 211  
elemen sekunder 189–191  
emetropi 132, 142  
energi 105, 122, 151, 163, 165, 169, 170, 172–175, 178, 189–193, 197, 200, 211  
*Extra Low Frequency* 203

## F

fotolistrik 189, 191

## G

galvanometer 181, 182, 193, 200  
gaya aksi 86, 87, 91, 102  
gaya berat 84, 87, 88, 92, 93, 101  
gaya gerak listrik 183, 184, 186  
gaya gesekan 88–92, 95, 99  
gaya normal 92, 93, 98, 101–103, 106  
gaya reaksi 86, 87, 91  
gaya sentripetal 89–91  
gelombang 108, 109, 119, 121, 122, 142, 144–146  
gelombang elektromagnetik 121, 122, 172, 175, 201–206, 208, 211

## H

hambatan 169, 172–177, 179–188, 192, 197–200, 210, 211  
hambatan jenis 174, 176, 177, 198, 200  
*High Frequency* 203  
hipermetropi 133, 134, 142  
Hukum I Kirchhoff 178–180, 184, 187, 188, 198  
Hukum I Newton 84, 85, 100  
Hukum II Kirchhoff 169, 186–188, 198  
Hukum II Newton 85–87, 89, 92, 100, 101  
Hukum III Newton 86, 91, 98–100

## I

indeks bias 108, 118, 119, 121, 122, 128, 130, 145, 146

## J

jarak 3, 6, 18, 26, 27, 41, 86, 89–92, 103–106, 111, 113–117, 126, 128–137, 139–142, 145, 146, 156, 197, 203–206, 210

## K

kaca plan paralel 122, 123, 131  
kalor 151, 152, 163–175, 177, 178, 192, 200, 210, 211  
kalor beku 167  
kalor embun 166, 167  
kalor jenis 164–166, 169, 171, 177, 178, 192, 210

kalor lebur 167–169, 171, 178, 210  
kalor uap 166, 167, 169, 171  
kamera 126, 142, 144  
kapasitas kalor 165, 169  
ketelitian alat 2, 10, 29, 105  
ketidakpastian 2–8, 13, 14, 27, 29  
koefisien muai panjang 157, 158, 163, 177, 178, 210  
koefisien suhu hambatan 176, 177  
komutatif 40, 41  
konduksi 169, 170, 172, 175, 176, 178  
konveksi 169, 171–173, 175, 176, 178  
kuat arus listrik 170, 171, 179, 180, 191, 193, 197

## L

lup 134–137, 142, 144

## M

*medium frequency* 203, 207  
metode determinan 41  
metode jajargenjang 39  
*Metode Least Square* 15  
metode poligon 33, 34, 36, 38, 43  
mikroskop 108, 126, 130, 136–138, 142  
miopi 132, 133, 142, 144  
muatan positif 172

## N

neutron 24, 26  
notasi ilmiah 13, 15, 17, 30

## O

optika fisis 117, 109  
optika geometri 117, 108, 109  
osiloskop 193, 197, 198

## P

pemantulan 107–111, 114, 117, 121, 122, 145  
pemantulan baur 109, 117  
pemantulan halus 117  
pembawa muatan listrik 170, 172  
pembiasan 107–109, 117, 118, 122, 126, 127, 130, 145  
pengukuran 1–11, 13–16, 18, 19, 24, 25, 27–30, 88, 105, 153, 171, 172, 199  
perkalian silang vektor 39, 40, 41, 44  
perkalian titik vektor 39, 41  
perpindahan 20, 23, 33, 36, 38, 41, 101 151, 152, 163, 165, 169–172, 175, 178  
persamaan gas 162  
perubahan tegangan 186, 193, 198  
piezoelektrik 189, 191  
presbiopi 134, 142, 144  
prisma 108, 123–125, 131, 138, 140, 142–144, 146  
proses kimiawi 169, 189, 191  
proton 24, 26  
*punctum proximum* 131, 142  
*punctum remotum* 131, 142  
pusat kelengkungan 113, 115, 126

## R

radiasi 169, 172–176, 178, 205  
radiasi benda hitam 173  
rangkaiian paralel 178, 180, 184  
rangkaiian seri 169, 178, 179, 180, 183, 184  
rangkaiian tertutup 169–171, 181, 186, 187, 198  
rumah kaca 172, 173

## S

satuan standar 17, 18, 26  
sifat termometrik 152, 153, 163, 175  
sinar gamma 202, 206–208, 211  
sinar inframerah 173, 203, 205–208  
sinar tampak 202, 203, 206, 207  
sinar-X 202, 203, 206–208, 211  
Sistem Satuan Internasional (SI) 26, 177

skala nonius 4, 8  
skala termometer 154, 175  
skala utama 4, 8  
spektrum 201–203, 206, 208, 211  
sudut apit 34, 38, 39–41  
sudut bias 118–121, 123–125, 131, 145  
sudut datang 110, 111, 114, 118–125, 145, 146  
sudut kritis 121, 122  
suhu 151–178, 192, 198, 210

## T

tegangan jepit 183, 185  
tegangan listrik bolak-balik 193, 197  
tegangan listrik searah 169, 191, 193  
teleskop 108, 138–142  
teleskop bintang 138, 139, 142

teleskop bumi 138, 140, 142  
teleskop Galilei 140–142  
termoelektrik 189, 191  
teropong 108, 126, 130, 139, 142  
titik didih 152–154, 156, 1677  
titik fokus utama 113, 117  
titik percabangan 179

## U

*Ultra High Frequency* 203

## V

vektor resultan 33, 34, 38, 39, 432  
vektor satuan 37, 39–42  
*Very Low Frequency* 203  
voltmeter 171–173, 193, 195, 198

## Daftar Pustaka

- Allonso, M. and Finn 1980. *Fundamental Physics, Vol 1 and 2*. New York: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Biryam, M 1992. *Hukum-Hukum Kekekalan dalam Mekanika*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Bueche, Fredrick 1982. *Introduction to Physics for Scientist and Insights*. New York: Mc Grow Hill Book Company Inc.
- Dorling Kindsley 1995. *Jendela IPTEK, seri 1-4*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Giancoli, Douglas C. 2000. *Physics, 3<sup>rd</sup> Edition*. USA: PrenticeHall International.
- Grolier International Inc. 1995. *Oxford Ensiklopedi Pelajar*. Jakarta: PT. Widyadara.
- Haliday, D, R. Resnick, J. Waker. 2001. *Fundamental of Physics, Sixth Edition*. USA: John Willey and Sons Inc.
- Harsanto. 1980. *Motor Bakar*. Jakarta: Djambatan.
- Hermawan Edi. 2004. *Radar Atmosfer Khatulistiwa*. Surakarta: Pabelan.
- Hewwit, Paul G. 1993. *Conceptual Physics, 6<sup>th</sup> Edition*. USA: Harper Collins College Publisher.
- Hewwit, Paul G. 1998. *Conceptual Physics, 8<sup>th</sup> Edition*. USA: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia*, cetakan ketiga. 2005. Jakarta: PT. Balai Pustaka.
- Kamus Fisika*, cetakan kedua. 2003. Jakarta: PT. Balai Pustaka.
- Sears, F.W. et.al. 1993. *University Physics*. USA: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Tipler, Paul. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik, Jilid 1* (alih bahasa: Prasetyo dan Rahmad W. Adi). Jakarta: Erlangga.
- Tipler, Paul. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik, Jilid 2* (alih bahasa: Bambang Soegijono). Jakarta: Erlangga.





ISBN 978-979-068-816-2 (No. Jld lengkap)  
ISBN 978-979-068-817-9

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp.14.826,-