Praktis Belajar Fisika untuk Kelas X SMA/MA

Aip Saripudin, Dede Rustiawan K., dan Adit Suganda

Praktis Belajar

Fisika

untuk Kelas X
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah

Aip Saripudin
Dede Rustiawan K.
Adit Suganda

1

Disertai Pengayaan Bilingual
Indonesia-Inggris

Praktis Belajar

Fisika

untuk Kelas X
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah

1

Aip Saripudin
Dede Rustiawan K.
Adit Suganda

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

Praktis Belajar Fisika 1

untuk SMA/MA Kelas X

Penulis : Aip Saripudin
Dede Rustiawan K.
Adit Suganda
Editor : Firdaus Sukmono
Desain kulit : Dasiman
Desain Isi : Yusuf Sobari
Ilustrator : Yudiana

Ukuran Buku : 21,0 x 29,7 cm

530.07
AIP AIP Saripudin
p Praktis Belajar Fisika 1 : untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Aip Saripudin, Dede Rustiawan K, Adit Suganda ; penyunting, Firdaus Sukmono ; illustrator, Yudiana. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
viii, 194 hlm, : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 194
Indeks : hlm. 191
ISBN 978-979-068-812-4 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-813-1

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul
II. Dede Rustiawan K III. Adit Suganda IV. Firdaus Sukmono V. Yudiana

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional dari penerbit Visindo Media Persada

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 (*download*), 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.

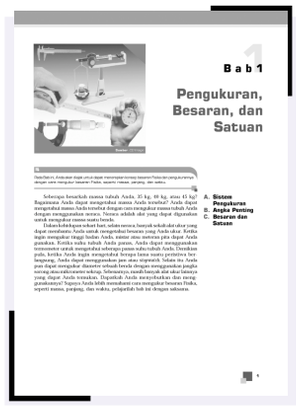
Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009
Kepala Pusat Perbukuan

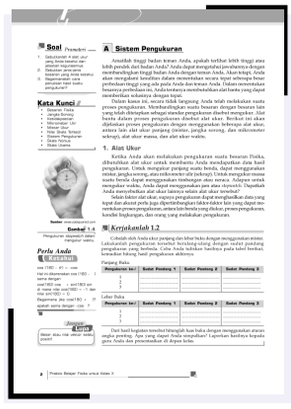
Sekilas Isi Buku

Buku **Praktis Belajar Fisika** untuk Kelas X ini terdiri atas sembilan bab, yaitu Pengukuran, Besaran, dan Satuan, Vektor, Gerak dalam Satu Dimensi, Gerak Melingkar, Dinamika Gerak, Alat-Alat Optik, Kalor, Elektrodinamika, dan Spektrum Gelombang Elektromagnetik.

Di setiap awal bab disajikan ***Advance Organizer*** dan **Soal Pramateri**. *Advance Organizer* yang dilengkapi dengan **Gambar Pembuka Bab** berisi contoh-contoh penerapan atau manfaat dalam kehidupan sehari-hari yang dapat merangsang keingintahuan Anda tentang materi yang akan dipelajari. Adapun Soal Pramateri merupakan uji awal pengetahuan umum Anda tentang materi yang akan dipelajari yang dapat mengembangkan kecakapan personal Anda. Untuk membantu Anda memahami materi pelajaran, **Gambar** dan **Ilustrasi** disajikan secara menarik dan faktual. Selain itu, disajikan pula tugas **Kerjakanlah** yang merupakan tugas sederhana berupa soal dan kegiatan ilmiah yang dapat mengembangkan kecakapan sosial dan akademik Anda. Ada pula kegiatan **Mahir Meneliti** dan **Kegiatan Semester** yang perlu Anda kerjakan secara mandiri maupun berkelompok. Kedua kegiatan tersebut dapat menumbuhkan semangat kewirausahaan, etos kerja, semangat inovasi/kreativitas, daya saing, kecakapan sosial, dan dapat mengembangkan kecakapan hidup (*life skill*) Anda.

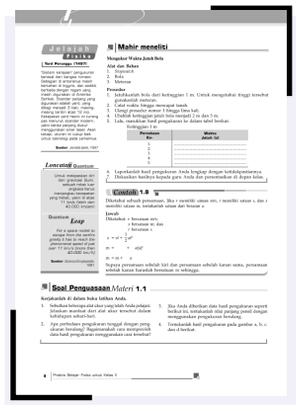


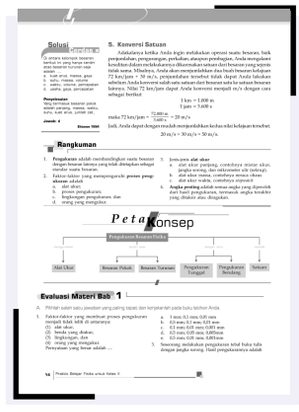
Di setiap akhir materi pelajaran disajikan **Soal Penguasaan Materi** sebagai bahan evaluasi pemahaman Anda tentang materi yang telah dipelajari, ringkasan materi dalam bentuk **Rangkuman** dan **Peta Konsep**. Selain itu, di setiap akhir bab dan akhir semester disajikan **Evaluasi Materi Bab** dan **Evaluasi Materi Semester.** Adapun di akhir buku terdapat **Evaluasi Materi Akhir Tahun** menguji pemahaman Anda setelah mempelajari materi pelajaran selama satu tahun.



Materi pelajaran dalam buku **Praktis Belajar Fisika** ini juga disertai dengan materi pengayaan, di antaranya:

1. **Jangan Lupa**
   Disajikan untuk mengingat materi yang telah dipelajari sebelumnya yang dapat mengembangkan kecakapan personal Anda.
2. **Perlu Anda Ketahui**
   Berisi informasi yang dapat merangsang keingintahuan Anda sehingga mendorong Anda untuk mencari informasi lebih jauh.
3. **Loncatan Kuantum (*Quantum Leap*)**
   Pengayaan yang bersifat informatif ini disajikan secara bilingual sehingga dapat memperdalam ilmu bahasa Inggris Anda sehingga dapat mengembangkan kecakapan personal Anda.
4. **Jelajah Fisika**
   Jelajah Fisika memberikan informasi seputar Fisika termasuk semangat para tokoh Fisika dalam menemukan/menciptakan karyanya dan teknologi dalam dunia Fisika yang dapat menumbuhkan semangat kewirausahaan, etos kerja serta dapat merangsang keingintahuan Anda.
5. **Perlu Anda Ketahui**
   Berisi informasi yang dapat merangsang keingintahuan Anda sehingga mendorong Anda untuk mencari informasi lebih jauh.
6. **Pembahasan Soal SPMB**
   Pembahasan Soal SPMB membahas soal-soal SPMB yang berkaitan dengan materi yang Anda pelajari.
7. **Solusi Cerdas**
   Merupakan pembahasan soal UAN yang diberikan dengan menggunakan solusi secara praktis dan cepat.





Untuk membantu Anda dalam menggunakan buku **Praktis Belajar Fisika** ini, pada bagian akhir buku ini disajikan **Apendiks**, **Kamus Fisika**, dan **Indeks**.

Kata Pengantar

Sekarang ini, ilmu dan teknologi berkembang dengan pesat. Seiring dengan perkembangan tersebut, Fisika sebagai bagian dari ilmu dan teknologi ikut berkembang pula, baik itu teori maupun penerapannya.

Fisika adalah ilmu dasar teknologi. Fakta-fakta kehidupan, seperti gerak, cahaya, optik, kalor, dan materi lain yang sehari-hari digunakan manusia dipelajari dalam Fisika.

Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan kualitas pendidikan Fisika di sekolah agar membentuk manusia yang memiliki daya nalar dan daya pikir yang baik, kreatif, cerdas dalam memecahkan masalah, serta mampu mengomunikasikan gagasan-gagasannya. Pendidikan Fisika harus dapat membantu Anda menyongsong masa depan dengan lebih baik.

Atas dasar inilah, kami menerbitkan buku **Praktis Belajar Fisika** ini ke hadapan Anda, khususnya para siswa Sekolah Menengah Atas. Buku ini menghadirkan aspek kontekstual bagi Anda dengan mengutamakan pemecahan masalah sebagai bagian dari pembelajaran untuk memberikan kesempatan kepada Anda membangun pengetahuan dan mengembangkan potensi diri.

Materi dalam buku ini diharapkan dapat membawa Anda untuk memperoleh pemahaman tentang ilmu Fisika sebagai proses dan produk. Materi pelajaran Fisika yang disajikan bertujuan membekali Anda dengan pengetahuan, pemahaman, dan sejumlah kemampuan untuk memasuki jenjang yang lebih tinggi, serta mengembangkan ilmu Fisika dalam kehidupan sehari-hari.

Oleh karena itu, mendudukkan **Praktis Belajar Fisika** hanya sebatas teori di dalam kelas, akan membuat siswa kurang memahaminya dan menghambat tercapainya tujuan pembelajaran. Melalui buku **Praktis Belajar Fisika** ini, Anda diharapkan dapat menyenangi pelajaran Fisika.

Materi-materi bab di dalam buku ini disesuaikan dengan perkembangan ilmu dan teknologi terkini. Selain itu, buku ini disajikan dengan bahasa yang mudah dipahami dan komunikatif sehingga seolah-olah Anda berdialog langsung dengan penulisnya. Penulisan buku ini diharapkan dapat menjadi salah satu media atau sarana belajar Fisika.

Kami menyadari bahwa penerbitan buku ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan hati yang tulus, kami ucapkan terima kasih atas dukungan dan bantuan yang diberikan. Semoga buku ini dapat memberi kontribusi bagi perkembangan dan kemajuan pendidikan di Indonesia.

Jakarta, Mei 2007

Penerbit

Daftar Isi

Kata Sambutan iii
Sekilas Isi Buku v
Kata Pengantar iv

Semester 1

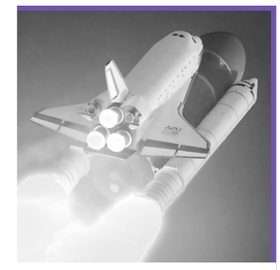
Bab 1
Pengukuran, Besaran, dan Satuan 1
A. Sistem Pengukuran 2
B. Angka Penting 8
C. Besaran dan Satuan 9
Evaluasi Materi Bab 1 16

Bab 2
Vektor 19
A. Definisi, Gambar, dan Notasi Vektor 20
B. Penjumlahan Vektor Menggunakan Metode Grafis dan Analitis 21
C. Menjumlahkan Vektor dengan Metode Uraian 25
Evaluasi Materi Bab 2 30

Bab 3
Gerak dalam Satu Dimensi 33
A. Jarak dan Perpindahan 34
B. Kelajuan dan Kecepatan 35
C. Gerak Lurus Beraturan (GLB) 38
D. Percepatan 39
E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) 41
Evaluasi Materi Bab 3 48

Bab 4
Gerak Melingkar 51
A. Kecepatan Linear dan Kecepatan Anguler 52
B. Percepatan Sentripetal 55
C. Gerak Melingkar Beraturan 57
Evaluasi Materi Bab 4 60
Kegiatan Semester 1 63

Bab 5
Dinamika Gerak 65
A. Hukum Newton 66
B. Berat, Gaya Normal, dan Tegangan Tali 70
C. Gaya Gesekan 73
D. Dinamika Gerak Melingkar 77
Evaluasi Materi Bab 5 82
Evaluasi Materi Semester 1 85

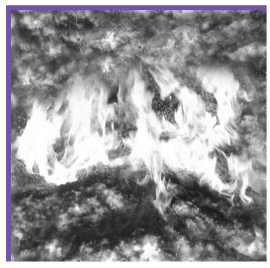


Semester 2

Bab 6

Alat-Alat Optik 89

A. Mata dan Kacamata 90
B. Kamera 93
C. Lup 94
D. Mikroskop 96
E. Teropong 98
Evaluasi materi Bab 6 103



Bab 7

Kalor 107

A. Pengertian Temperatur 108
B. Pemuaian Zat 110
C. Pengertian Kalor 113
D. Perpindahan Kalor 119
Evaluasi Materi Bab 7 124

Kegiatan Semester 2 127

Bab 8

Elektrodinamika 129

A. Arus Listrik 130
B. Hukum Ohm dan Hambatan Listrik 131
C. Rangkaian Listrik Arus Searah 137
D. Energi dan Daya Listrik 143
E. Alat Ukur Listrik 146
F. Pemanfaatan Energi Listrik dalam Kehidupan Sehari-Hari 149
G. Menghitung Biaya Sewa Energi Listrik 150
Evaluasi Materi Bab 8 154

Bab 9

Spektrum Gelombang Elektromagnetik 157

A. Hipotesis Maxwell 158
B. Bukti Hipotesis Maxwell (Eksperimen Hertz) 159
C. Spektrum Gelombang Elektromagnetik 160
Evaluasi Materi Bab 9 167

Evaluasi Materi Semester 2 170
Evaluasi Materi Akhir Tahun 173
Kunci Jawaban 179
Apendiks 183
Kamus Fisika 189
Indeks 191
Daftar Pustaka 194

Sumber: *CD Image*

Bab 1

Pengukuran, Besaran, dan Satuan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep besaran Fisika dan pengukurannya dengan cara mengukur besaran Fisika, seperti massa, panjang, dan waktu.

Seberapa besarkah massa tubuh Anda, 40 kg, 60 kg, atau 80 kg? Bagaimana Anda dapat mengetahui massa Anda tersebut? Anda dapat mengetahui massa Anda tersebut dengan cara mengukur massa tubuh Anda dengan menggunakan timbangan badan. Timbangan badan atau neraca adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur massa suatu benda.

Dalam kehidupan sehari-hari, selain neraca, banyak sekali alat ukur yang dapat membantu Anda untuk mengetahui besaran yang Anda ukur. Ketika ingin mengukur tinggi badan Anda, mistar atau meteran pita dapat Anda gunakan. Ketika suhu tubuh Anda panas, Anda dapat menggunakan termometer untuk mengetahui seberapa panas suhu tubuh Anda. Demikian pula, ketika Anda ingin mengetahui berapa lama suatu peristiwa berlangsung, Anda dapat menggunakan jam atau *stopwatch*. Selain itu Anda pun dapat mengukur diameter sebuah benda dengan menggunakan jangka sorong atau mikrometer sekrup. Sebenarnya, masih banyak alat ukur lainnya yang dapat Anda temukan. Dapatkah Anda menyebutkan dan menggunakannya? Supaya Anda lebih memahami cara mengukur besaran Fisika, seperti massa, panjang, dan waktu, pelajarilah bab ini dengan saksama.

A. Sistem Pengukuran
B. Angka Penting
C. Besaran dan Satuan

Soal *Pramateri*

1. Sebutkanlah 4 alat ukur yang Anda ketahui dan jelaskan kegunaannya.
2. Sebutkan jenis-jenis besaran yang Anda ketahui.
3. Bagaimanakah cara penulisan hasil suatu pengukuran?

A Sistem Pengukuran

Amatilah tinggi badan teman Anda, apakah terlihat lebih tinggi atau lebih pendek daripada badan Anda? Anda dapat mengetahui jawabannya dengan membandingkan tinggi badan Anda dengan teman Anda. Akan tetapi, Anda akan mengalami kesulitan dalam menentukan secara tepat seberapa besar perbedaan tinggi yang ada pada Anda dan teman Anda. Dalam menentukan besarnya perbedaan ini, Anda tentunya membutuhkan alat bantu yang dapat memberikan solusinya dengan tepat.

Dalam kasus ini, secara tidak langsung Anda telah melakukan suatu proses pengukuran. Membandingkan suatu besaran dengan besaran lain yang telah ditetapkan sebagai standar pengukuran disebut mengukur. Alat bantu dalam proses pengukuran disebut alat ukur. Berikut ini akan dijelaskan proses pengukuran dengan menggunakan beberapa alat ukur, antara lain alat ukur panjang (mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup), alat ukur massa, dan alat ukur waktu.

1. Alat Ukur

Ketika Anda akan melakukan pengukuran suatu besaran Fisika, dibutuhkan alat ukur untuk membantu Anda mendapatkan data hasil pengukuran. Untuk mengukur panjang suatu benda, dapat menggunakan mistar, jangka sorong, atau mikrometer ulir (sekrup). Untuk mengukur massa suatu benda dapat menggunakan timbangan atau neraca. Adapun untuk mengukur waktu, Anda dapat menggunakan jam atau *stopwatch*. Dapatkah Anda menyebutkan alat ukur lainnya selain alat ukur tersebut?

Selain faktor alat ukur, untuk mendapatkan data hasil pengukuran yang akurat perlu juga dipertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi proses pengukuran, antara lain benda yang diukur, proses pengukuran, kondisi lingkungan, dan orang yang melakukan pengukuran.

a. Mistar Ukur

Pada umumnya, mistar sebagai alat ukur panjang memiliki dua skala ukuran, yaitu skala utama dan skala terkecil. Satuan untuk skala utama adalah sentimeter (cm) dan satuan untuk skala terkecil adalah milimeter (mm). Skala terkecil pada mistar memiliki nilai 1 milimeter, seperti yang terlihat pada **Gambar 1.1**. Jarak antara skala utama adalah 1 cm. Di antara skala utama terdapat 10 bagian skala terkecil sehingga satu skala terkecil memiliki nilai $\frac{1}{10}$ cm = 0,1 cm atau 1 mm. Mistar memiliki ketelitian atau ketidakpastian pengukuran sebesar 0,5 mm atau 0,05 cm, yakni setengah dari nilai skala terkecil yang dimiliki oleh mistar tersebut. Selain skala sentimeter (cm), terdapat juga skala lainnya pada mistar ukur. Tahukah Anda mengenai skala tersebut? Kapankah skala tersebut digunakan?

Sumber: *bioc.rice.edu*

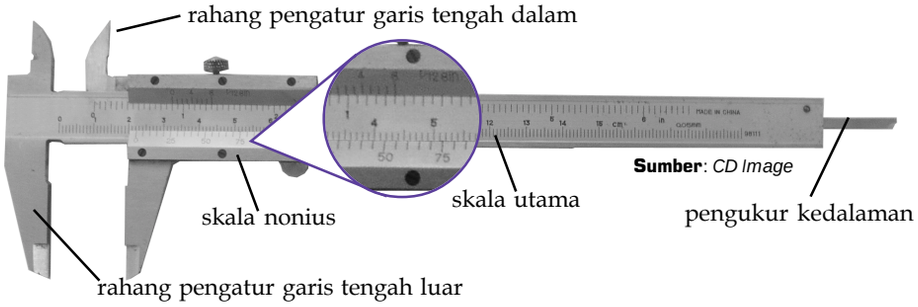
Gambar 1.1
Skala pada mistar ukur.

b. Jangka Sorong

Pernahkah Anda melihat atau menggunakan alat ukur yang memiliki skala nonius? Salah satu alat ukur ini adalah jangka sorong. Anda dapat menggunakan alat ukur ini untuk mengukur diameter dalam, diameter luar, serta kedalaman suatu benda yang akan diukur.

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang yang terdiri atas skala utama, skala nonius, rahang pengatur garis tengah dalam, rahang pengatur garis tengah luar, dan pengukur kedalaman. Rahang pengatur garis tengah

dalam dapat digunakan untuk mengukur diameter bagian dalam sebuah benda. Adapun rahang pengatur garis tengah bagian luar dapat digunakan untuk mengukur diameter bagian luar sebuah benda.



Sumber: *CD Image*

Gambar 1.2
Alat ukur jangka sorong dengan bagian-bagiannya.

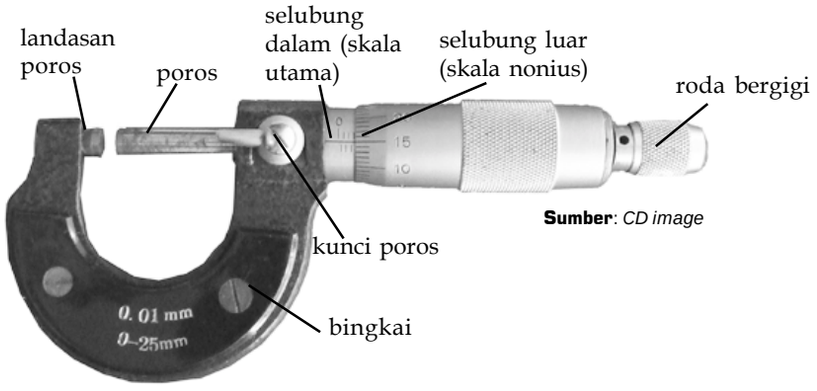
Coba Anda ukur panjang sebuah benda dengan menggunakan alat ukur ini. Ketika Anda menggunakan jangka sorong, Anda akan menemukan nilai skala terkecil pada alat ukur tersebut. Tahukah Anda apakah nilai skala terkecil itu? Nilai skala terkecil pada jangka sorong, yakni perbandingan antara satu nilai skala utama dengan jumlah skala nonius. Skala nonius jangka sorong pada **Gambar 1.2**, memiliki jumlah skala 20 maka skala terkecil dari jangka sorong tersebut adalah $\frac{1\,\text{mm}}{20}$ = 0,05 mm. Nilai ketidakpastian jangka sorong ini adalah setengah dari skala terkecil sehingga jika dituliskan secara matematis, diperoleh

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 0{,}05 \text{ mm} = 0{,}025 \text{ mm}$$

Kata Kunci
- Besaran Fisika
- Jangka sorong
- Ketidakpastian pengukuran
- Mikrometer ulir
- Mistar ukur
- Nilai skala terkecil
- Sistem pengukuran
- Skala nonius
- Skala utama

b. Mikrometer Ulir (Sekrup)

Seperti halnya jangka sorong, mikrometer ulir (sekrup) terbagi ke dalam beberapa bagian, di antaranya landasan, poros, selubung dalam, selubung luar, roda bergerigi, kunci poros, dan bingkai (**Gambar 1.3**). Skala utama dan nonius terdapat dalam selubung bagian dalam dan selubung bagian luar.



Sumber: *CD image*

Gambar 1.3
Alat ukur mikrometer sekrup dengan bagian-bagiannya.

Selubung bagian luar adalah tempat skala nonius yang memiliki 50 bagian skala. Satu skala nonius memiliki nilai 0,01 mm. Hal ini dapat diketahui ketika Anda memutar selubung bagian luar sebanyak satu kali putaran penuh, akan diperoleh nilai 0,5 mm skala utama. Oleh karena itu, nilai satu skala nonius adalah $\frac{0{,}5}{50}$ mm = 0,01 mm sehingga nilai ketelitian atau ketidakpastian mikrometer ulir (sekrup) adalah $\Delta x = \frac{1}{2}$ × 0,01 mm = 0,005 mm atau 0,0005 cm.

Sumber: *www.catsquared.com*

Gambar 1.4
Pengukuran menggunakan *stopwatch* analog dalam mengukur waktu.

Jika jangka sorong dapat digunakan untuk mengukur diameter benda, begitu pula dengan mikrometer sekrup. Menurut Anda, dari kedua alat ukur tersebut, manakah yang memiliki nilai keakuratan yang tinggi?

c. Stopwatch

Pernahkah Anda mengukur,berapa lama Anda berlari? Menggunakan apakah Anda mengukurnya? Banyak sekali macam dan jenis alat ukur waktu. Salah satu contohnya adalah *stopwatch*. *Stopwatch* merupakan alat pengukur waktu yang memiliki skala utama (detik) dan skala terkecil (milidetik). Pada skala utama, terdapat 10 bagian skala terkecil sehingga nilai satu skala terkecil yang dimiliki oleh *stopwatch analog* adalah 0,1 detik. Ketelitian atau ketidakpastian (Δx) dari alat ukur *stopwatch* analog adalah $\Delta x = \frac{1}{2} \times 0{,}1$ detik = 0,05 detik. Selain *stopwatch* analog, terdapat juga *stopwatch* digital. Menurut Anda samakah pengukuran *stopwatch* analog dengan *stopwatch* digital? Manakah yang lebih akurat?

e. Neraca

Mungkin Anda pernah menimbang sebuah telur dengan menggunakan timbangan atau membandingkan massa dua buah benda, dengan menggunakan kedua tangan Anda. Dalam hal ini Anda sedang melakukan pengukuran massa. Hanya saja alat yang digunakan berbeda. Terdapat banyak macam alat ukur massa, misalnya neraca ohaus, neraca pegas, dan timbangan. Setiap alat ukur massa memiliki cara pengukuran yang berbeda. Cobalah Anda ukur massa sebuah benda kemudian tuliskan cara mengukurnya.

Sumber: *www.scales-r-us*

Gambar 1.5
Neraca ohaus digunakan sebagai alat ukur massa.

2. Pengukuran Tunggal dan Pengukuran Berulang

Dalam melakukan pengukuran, mungkin Anda pernah merasa bahwa dengan hanya sekali mengukur, data yang diperoleh sudah memiliki tingkat ketelitian yang cukup. Akan tetapi, adakalanya pengukuran tidak dapat dilakukan hanya sekali, melainkan berulang-ulang. Oleh karena itu, pengukuran dibagi menjadi dua cara, yakni pengukuran tunggal dan pengukuran berulang.

a. Pengukuran Tunggal

1) Pengukuran tunggal menggunakan mistar

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ketelitian pengukuran mistar adalah 0,5 mm. Setiap pengukuran selalu disertai dengan ketidakpastian sehingga nilai ini selalu diikutsertakan dalam hasil pengukuran. Coba perhatikan **Gambar 1.6**. Misalkan, hasil pengukuran

adalah 2,1 cm. Oleh karena ketidakpastian memiliki nilai dua angka di belakang koma, yakni 0,05 cm maka hasil pengukuran ditulis pula dalam dua angka di belakang koma sehingga menjadi 2,10 cm. Panjang pengukuran dapat dituliskan menjadi:

$$\ell = x \pm \Delta x \qquad (1\text{–}1)$$

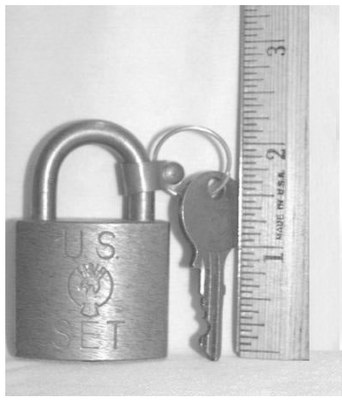
atau

$$\ell = 2{,}10 \text{ cm} + 0{,}05 \text{ cm}$$

Variabel x adalah nilai hasil pengukuran, Δx nilai ketidakpastian, dan ℓ adalah nilai panjang pengukuran. Hasil pengukuran tersebut dapat diartikan bahwa panjang hasil pengukuran berada di antara 2,05 cm dan 2,15 cm. Secara matematis, dapat dituliskan

$$2{,}05 \text{ cm} < x_0 < 2{,}15 \text{ cm}$$

dengan x_0 adalah panjang hasil pengukuran.



Sumber: *www.charleslocksmith.com*

Gambar 1.6
Pengukuran menggunakan mistar ukur.

2) Pengukuran tunggal menggunakan jangka sorong

Anda telah mempelajari pengukuran tunggal menggunakan mistar. Sekarang, Anda akan belajar bagaimana melakukan pengukuran tunggal menggunakan jangka sorong.

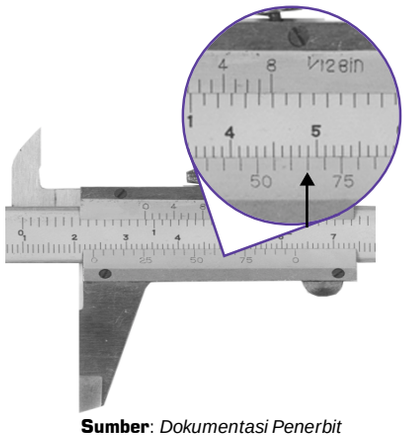
Perhatikan **Gambar 1.7**. Hasil pengukuran panjang sebuah logam yang terbaca pada skala utama, yakni berada di antara 2,3 cm dan 2,4 cm. Nilai ini didapat dari pembacaan posisi nilai nol pada skala nonius yang berada di antara nilai 2,3 cm dan 2,4 cm pada skala utama. Perhatikan skala nonius pada **Gambar 1.7**. Skala atau garis ke-12 pada skala nonius berhimpit dengan skala atau garis pada skala utama, yakni pada nilai 4,7 cm. Oleh karena nilai terkecil dari skala nonius adalah 0,05 mm atau 0,005 cm, penulisan panjang logam menjadi 2,3 cm + (12 × 0,005 cm) = 2,36 cm.

Seperti yang Anda ketahui bahwa setiap alat ukur memiliki nilai tingkat ketelitian atau ketidakpastian. Nilai ketelitian yang dimiliki oleh jangka sorong adalah setengah dari nilai skala terkecil, yakni 0,025 mm atau 0,0025 cm. Seperti halnya pengukuran tunggal menggunakan mistar, nilai di belakang koma pada nilai ketelitian harus sama dengan nilai di belakang koma pada nilai hasil pengukuran. Oleh karena itu, panjang logam dapat ditulis kembali menjadi 2,3600 cm. Panjang hasil pengukuran secara matematis dapat ditulis:

$$\ell = (2{,}3600 + 0{,}0025) \text{ cm}$$

atau

$$2{,}3575 \text{ cm} < \ell_0 < 2{,}3625 \text{ cm}$$



Sumber: *Dokumentasi Penerbit*

Gambar 1.7
Pengukuran menggunakan jangka sorong.

3) Pengukuran tunggal menggunakan mikrometer ulir (sekrup)

Pada **Gambar 1.8** terlihat nilai skala utama yang terbaca dari hasil pengukuran panjang dari benda adalah 5 mm. Nilai skala utama yang terbaca tersebut diperoleh dari nilai yang berhimpit dengan selubung bagian luar. Skala nonius yang berhimpit dengan sumbu utama pada skala utama menunjukkan nilai nonius yang terbaca, yakni bagian skala ke-45.

Oleh karena nilai terkecil yang dimiliki mikrometer ulir pada skala nonius adalah 0,01 mm, nilai yang terbaca pada skala nonius menjadi 0,45 mm dan panjang benda menjadi 5 mm + 0,45 mm = 5,45 mm. Nilai ketelitian yang dimiliki mikrometer ulir (sekrup) adalah 0,005 mm, yakni setengah dari skala terkecil yang dimiliki skala nonius pada mikrometer ulir. Nilai ketelitian mikrometer ulir memiliki tiga nilai di belakang koma sehingga

Sumber: *Dokumentasi Penerbit*

Gambar 1.8
Hasil pengukuran menggunakan mikrometer ulir (sekrup).

nilai pengukurannya harus ditulis 5,450 mm dan panjang pengukuran adalah

$$\ell = (5{,}450 \text{ mm} + 0{,}005 \text{ mm})$$

dan secara matematis, dapat ditulis

$$5{,}345 \text{ mm} < \ell_0 < 5{,}455 \text{ mm}$$

Setelah Anda memahami mengenai pengukuran tunggal pada mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup, bagaimanakah caranya jika Anda melakukan pengukuran tunggal dengan menggunakan *stopwatch* dan neraca? Coba diskusikan bersama teman dan guru Anda.

b. Pengukuran Berulang

Setelah Anda mempelajari pengukuran tunggal, sekarang Anda akan belajar pengukuran berulang. Pengukuran berulang adalah pengukuran yang dilakukan tidak hanya sekali, melainkan berulang-ulang supaya mendapatkan ketelitian yang maksimal dan akurat. Pengukuran berulang digunakan ketika dalam proses mengukur, Anda mendapatkan hasil yang berbeda-beda dari segi pandang, baik dari segi pengamat (pengukur) maupun dari segi objek yang diukur. Ketika Anda melakukan pengukuran tunggal, ketelitian atau ketidakpastian yang diperoleh adalah setengah dari skala terkecil. Dalam pengukuran berulang, pernyataan ini tidak berlaku melainkan menggunakan simpangan baku (S_x).

Kata Kunci

- Neraca
- Pengukuran berulang
- Pengukuran tunggal
- *Stopwatch*

Hasil pengukuran panjang suatu benda dapat berbeda-beda jika dilakukan berulang-ulang. Laporan hasil pengukurannya berupa rata-rata nilai hasil pengukuran dengan ketidakpastian yang sama dengan simpangan bakunya. Sebagai contoh, hasil pengukuran panjang sebuah benda sebanyak n kali adalah x_1, x_2, x_3, …, x_n. Nilai rata-ratanya, yaitu

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + ... + x_n}{n} \qquad (1\text{–}2)$$

dengan n adalah jumlah data yang diukur dan $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata hasil pengukuran. Simpangan bakunya dapat ditulis sebagai berikut.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \qquad (1\text{–}3)$$

Oleh karena itu, hasil pengukuran dapat ditulis menjadi

$$x = \bar{x} + S_x \qquad (1\text{–}4)$$

Ketidakpastian pengukuran berulang sering dinyatakan dalam persen atau disebut ketidakpastian relatif. Secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x_0} \times 10\%$$

dengan: Δx = ketidakpastian, dan
x = data hasil pengukuran.

Adapun untuk menentukan ketidakpastian gabungan dapat Anda lihat pada **Tabel 1.1** berikut ini.

Tabel 1.1 Rumus Ketidakpastian Gabungan

No	Hubungan Antara Z dan (A, B)	Hubungan Antara Kesalahan ΔZ dan (ΔA, ΔZ)
1.	$Z = A + B$	$(\Delta Z)^2 = (\Delta A)^2 + (\Delta B)^2$
2.	$Z = A - B$	$(\Delta Z)^2 = (\Delta A)^2 + (\Delta B)^2$
3.	$Z = A \times B$	$\left(\frac{\Delta Z}{Z}\right)^2 = \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2$
4.	$Z = \frac{A}{B}$	$\left(\frac{\Delta Z}{Z}\right)^2 = \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2$

Sumber: *Buku Seri Pelatihan Olimpiade Fisika Internasional*

dengan Z, A, dan B variabel pengukuran

ΔZ, ΔA, dan ΔB = ketidakpastian hasil pengukuran.

Mahir Meneliti

Mengukur Massa dan Waktu Jatuh Bola

Alat dan Bahan

1. *Stopwatch*
2. Bola tenis atau bola kasti
3. Meteran
4. Neraca atau timbangan

Prosedur

1. Ukurlah massa bola menggunakan neraca atau timbangan.
2. Jatuhkanlah bola dari ketinggian 1 m. Untuk mengetahui tinggi tersebut gunakanlah meteran.
3. Catat waktu hingga mencapai tanah.
4. Ulangi prosedur nomor 1 dan 2 hingga lima kali.
5. Ubahlah ketinggian jatuh bola menjadi 2 m dan 3 m.
6. Lalu, masukkan hasil pengukuran ke dalam tabel berikut.

Pengukuran Massa Bola

Pengukuran Ke-	Massa (kg)
1.	.....
2.	.....
3.	.....
4.	.....
5.	.....

Ketinggian 1 m

Percobaan Ke-	Waktu Jatuh (s)
1.	.....
2.	.....
3.	.....
4.	.....
5.	.....

Ketinggian 2 m

Percobaan Ke-	Waktu Jatuh (s)
1.	.....
2.	.....
3.	.....
4.	.....
5.	.....

Ketinggian 3 m

Percobaan Ke-	Waktu Jatuh (s)
1.	.....
2.	.....
3.	.....
4.	.....
5.	.....

7. Laporkanlah hasil pengukuran Anda lengkap dengan ketidakpastiannya.
8. Diskusikan hasilnya kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

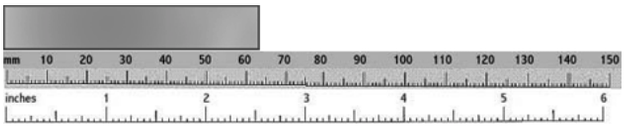
Soal Penguasaan *Materi* 1.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

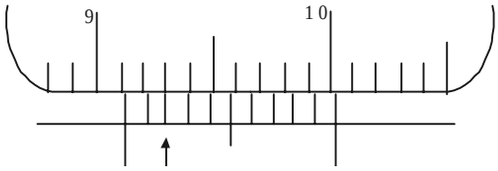
1. Sebutkan beberapa alat ukur yang telah Anda pelajari. Jelaskan manfaat dari alat ukur tersebut dalam kehidupan sehari-hari.
2. Apa perbedaan pengukuran tunggal dengan pengukuran berulang? Bagaimanakah cara memperoleh data hasil pengukuran menggunakan cara tersebut?
3. Jika Anda hendak mengukur massa tubuh Anda, alat ukur apakah yang akan Anda gunakan? Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran massa tubuh Anda tersebut.
4. Jika Anda diberikan data hasil pengukuran seperti berikut ini, tentukanlah nilai panjang pensil dengan menggunakan pengukuran berulang.

Pengukuran ke-*i*	x_i (cm)
1	16,5
2	16,4
3	16,6
4	16,5
5	16,5

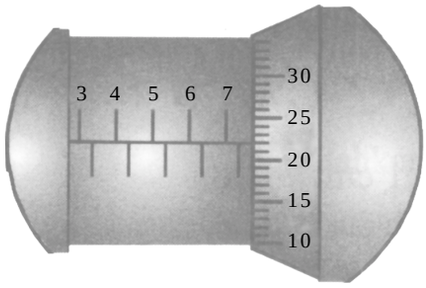
5. Tentukanlah hasil pengukuran pada gambar a, b, c. dan d berikut.



(a) Potongan skala mistar ukur



(b) Potongan skala jangka sorong



(c) Potongan skala mikrometer ulir

(d) *Stopwatch*

B Angka Penting

Hasil pengukuran yang telah Anda lakukan dengan menggunakan alat ukur adalah nilai data hasil pengukuran. Nilai ini berupa angka-angka dan termasuk angka penting. Jadi, definisi dari angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran, termasuk angka terakhir yang ditaksir atau diragukan. Angka-angka penting ini terdiri atas angka-angka pasti dan satu angka taksiran yang sesuai dengan tingkat ketelitian alat ukur yang digunakan.

Semua angka-angka hasil pengukuran adalah bagian dari angka penting. Namun, tidak semua angka hasil pengukuran merupakan angka penting. Berikut ini merupakan aturan penulisan nilai dari hasil pengukuran.

a. Semua angka bukan nol merupakan angka penting. Jadi, 548 memiliki 3 angka penting dan 1,871 memiliki 4 angka penting.
b. Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol termasuk angka penting. Jadi, 2,022 memiliki 4 angka penting.
c. Angka nol yang terletak di sebelah kanan tanda koma dan angka bukan nol termasuk angka penting.
d. 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. Jadi, 0,63 memiliki 2 angka penting dan 0,008 memiliki 1 angka penting. Hal ini akan lebih mudah terlihat jika ditulis 63×10^{-2} dan 8×10^{-3}.

Dalam penulisan hasil pengukuran, ada kalanya terdapat angka yang digarisbawahi. Tanda garis bawah ini menunjukkan nilai yang diragukan. Angka yang digarisbawahi termasuk angka penting, tetapi angka setelah angka yang diragukan bukan angka penting. Jadi, 3541 memiliki 3 angka penting dan 501,35 memiliki 4 angka penting.

Kerjakanlah

Tentukanlah oleh Anda, jumlah angka penting dari setiap hasil pengukuran massa dan waktu jatuh bola pada kegiatan **Mahir Meneliti** pada halaman 7.

C Besaran dan Satuan

Cobalah Anda ukur panjang, lebar, dan tinggi buku Anda menggunakan mistar. Berapa hasilnya? Tentu hasilnya akan berbeda antara satu buku dan buku lainnya. Misalnya, buku pertama panjangnya 20 cm, lebarnya 15 cm, dan tebalnya 4 cm. Panjang, lebar, dan tinggi buku yang Anda ukur tersebut, dalam fisika, merupakan contoh-contoh besaran. Sementara itu, angka 20, 15, dan 4 menyatakan besar dari besaran tersebut dan dinyatakan dalam satuan centimeter (cm). Dengan demikian, besaran adalah sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka, sedangkan satuan adalah ukuran suatu besaran.

Banyak besaran-besaran dalam fisika. Akan tetapi, secara umum, besaran dikelompokkan menjadi dua, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Untuk lebih memahaminya, pelajari bahasan-bahasan berikut ini.

Jelajah Fisika

Yard Perunggu (1497)

"Sistem kerajaan" pengukuran berasal dari bangsa romawi. Sebagian di antaranya masih bertahan di Inggris, dan sedikit berbeda dengan ragam yang masih digunakan di Amerika Serikat. Standar panjang yang digunakan adalah yard, yang dibagi menjadi 3 kaki, masing-masing terdiri atas 12 inci. Ketepatan yard resmi ini kurang pas menurut standar modern, yakni ketika panjang diukur menggunakan sinar laser. Akan tetapi, ukuran ini cukup baik untuk teknologi pada zamannya.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

1. Besaran Pokok dan Turunan

Setiap besaran memiliki satuan yang berbeda sesuai dengan yang telah ditetapkan. Besaran dalam Fisika dikelompokkan menjadi besaran pokok dan besaran turunan.

a. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung pada besaran lainnya. Terdapat tujuh besaran pokok yang telah ditetapkan, yakni massa, waktu, panjang, kuat arus listrik, temperatur, intensitas cahaya, dan jumlah zat. Selain itu, terdapat dua besaran tambahan yang tidak memiliki dimensi, yakni sudut datar dan sudut ruang (tiga dimensi). Satuan dan lambang satuan dari besaran pokok dapat Anda lihat pada **Tabel 1.2** dan **Tabel 1.3** berikut.

Tabel 1.2 Tujuh Besaran Pokok dalam Sistem Internasional

Besaran Pokok	Satuan	Lambang Satuan
Panjang	meter	m
Massa	kilogram	kg
Waktu	sekon (detik)	s
Arus Listrik	ampere	A
Suhu	kelvin	K
Intensitas Cahaya	kandela	cd
Jumlah Zat	mole	mol

Tabel 1.3 Dua Besaran Tambahan dalam Sistem Internasional

Besaran Tambahan	Satuan	Lambang Satuan
Sudut datar	radian	rad
Sudut ruang	steradian	sr

b. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang diturunkan dari beberapa besaran pokok. Sebagai contoh, volume sebuah balok adalah panjang × lebar × tinggi. Panjang, lebar, dan tinggi adalah besaran pokok yang sama. Dengan kata lain, volume diturunkan dari tiga besaran pokok yang sama, yakni panjang. Contoh lain adalah kelajuan, yakni jarak dibagi waktu. Kelajuan diturunkan dari dua besaran pokok yang berbeda, yakni panjang (jarak) dan waktu.

Selain memiliki satuan yang diturunkan dari satuan besaran pokok, besaran turunan juga ada yang memiliki nama satuan tersendiri. Beberapa contoh besaran turunan dan satuannya ditampilkan pada **Tabel 1.4**.

Tabel 1.4 Besaran Turunan yang Memiliki Satuan Tersendiri

Besaran Turunan	Satuan	Lambang Satuan
Gaya	newton	N
Energi	joule	J
Daya	watt	W
Tekanan	pascal	Pa
Frekuensi	hertz	Hz
Muatan Listrik	coulomb	C
Beda Potensial	volt	V
Hambatan Listrik	ohm	Ω

Solusi Cerdas

Di antara kelompok besaran berikut ini yang hanya terdiri atas besaran turunan adalah ....

a. kuat arus, massa, gaya
b. suhu, massa, volume
c. waktu, volume, percepatan
d. usaha, gaya, percepatan
e. kecepatan, suhu, jumlah zat

Penyelesaian

Yang termasuk besaran pokok adalah panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus, jumlah zat, dan intensitas cahaya. Adapun yang termasuk besaran turunan adalah volume, kecepatan, gaya, energi, percepatan, massa jenis, dan usaha.

Jawab: d

Ebtanas 1994

Kapasitas Kapasitor	farad	F
Fluks Magnetik	weber	Wb
Induksi Magnetik	tesla	T
Induktansi	henry	H
Fluks Cahaya	lumen	ln
Kuat Penerangan	lux	lx

2. Satuan

Ada dua macam sistem satuan yang sering digunakan dalam ilmu Fisika dan ilmu teknik, yakni sistem metrik dan sistem Inggris. Satuan yang akan dibahas dalam materi ini adalah sistem metrik saja. Sistem metrik kali pertama digunakan di negara Prancis yang dibagi menjadi dua bagian, yakni sistem MKS (meter - kilogram - sekon) dan CGS (centimeter - gram - sekon). Akan tetapi, satuan internasional menetapkan sistem MKS sebagai satuan yang dipakai untuk tujuh besaran pokok.

a. Penetapan Satuan Panjang

Kali pertama, satu meter didefinisikan sebagai jarak antara dua goresan yang terdapat pada kedua ujung batang platina-iridium pada suhu 0°C yang disimpan di Sevres dekat Paris. Batang ini disebut meter standar. Meskipun telah disimpan pada tempat yang aman dari pengaruh fisik dan kimia, meter standar ini akhirnya mengalami perubahan panjang walaupun sangat kecil. Pada 1960, satu meter standar didefinisikan sebagai jarak yang sama dengan 1.650.763,73 kali riak panjang gelombang cahaya merah-jingga yang dihasilkan oleh gas kripton.

b. Penetapan Satuan Massa

Kilogram standar adalah sebuah massa standar, yakni massa sebuah silinder platina-iridium yang aslinya disimpan di Sevres dekat Paris. Di Kota Sevres terdapat tempat kantor internasional tentang berat dan ukuran. Selanjutnya, massa kilogram standar disamakan dengan massa 1 liter air murni pada suhu 4°C.

c. Penetapan Satuan Waktu

Satuan waktu dalam SI adalah detik atau sekon. Pada awalnya, 1 detik atau 1 sekon didefinisikan dengan $\frac{1}{86.400}$ hari Matahari rata-rata. Oleh karena 1 hari Matahari rata-rata dari tahun ke tahun tidak sama, standar ini tidak berlaku lagi. Pada 1956, sekon standar ditetapkan secara internasional, yakni

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

Akhirnya pada 1967, ditetapkan kembali bahwa satu sekon adalah waktu yang diperlukan atom Cesium untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali.

d. Penetapan Satuan Arus Listrik

Arus listrik yang diukur memiliki satuan ampere. Satu ampere didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik satu coulomb (1 coulomb = $6,25 \times 10^{18}$ elektron) yang melewati suatu penampang dalam waktu 1 sekon.

Jelajah Fisika

Inci Kubik

Alat ukur standar yang diperlihatkan pada gambar tersebut dibuat dengan lapisan kuningan dan nikel. Alat standar ini kali pertama digunakan pada 1889 oleh Dewan Perdagangan Inggris untuk menentukan bobot satu inci kubik (16 ml) air murni. Bobot yang ditunjukan tersebut kurang lebih 1,7 kali ukuran yang sebenarnya, yaitu 27,2 ml.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

e. Penetapan Satuan Suhu

Sebelum 1954, titik acuan suhu diambil sebagai titik lebur es pada harga 0°C dan titik didih air berharga 100°C pada tekanan 76 cmHg. Kemudian pada 1954, dalam kongres Perhimpunan Internasional Fisika, diputuskan bahwa suhu titik lebur es pada 76 cmHg menjadi T = 273,15 K dan titik didih air pada 76 cmHg menjadi T = 373,15 K.

f. Penetapan Satuan Intensitas Cahaya

Sumber cahaya standar kali pertama menggunakan sumber cahaya buatan, yang ditetapkan berdasarkan perjanjian internasional yang disebut sebagai lilin. Pada 1948, ditetapkan sumber cahaya standar yang baru, yakni cahaya yang dipancarkan oleh benda hitam pada suhu titik lebur platina (1.773°C) yang dinyatakan dengan satuan kandela.

Satuan kandela didefinisikan sebagai benda hitam seluas satu meter persegi yang bersuhu titik lebur platina (1.773°C). Benda ini akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6×10^5 kandela.

g. Penetapan Satuan Jumlah Zat

Jumlah zat dalam satuan internasional memiliki satuan mol. Satu mol zat terdiri atas $6{,}025 \times 10^{23}$ buah partikel (bilangan $6{,}025 \times 10^{23}$ disebut dengan bilangan Avogadro).

Kerjakanlah

Setelah Anda mengetahui sejarah penetapan satuan tujuh besaran pokok, coba Anda temukan sejarah dua besaran pokok tambahan dan beberapa besaran turunan. Diskusikan hasilnya dengan guru Anda. Anda dapat memperoleh referensi dari buku, majalah, internet, ataupun dari makalah.

Jelajah Fisika

Waktu Lintas Dunia

Waktu setempat menunjukkan pukul 12 siang ketika Matahari mencapai puncak ketinggiannya. Hal ini terjadi satu jam lebih lambat untuk tiap perjalanan sepanjang 15° ke barat. Sebuah kapal akan menentukan kedudukan longitudinalnya (kedudukan timur barat) dengan memperhatikan perbedaan antara waktu setempat dengan waktu yang ditunjukkan oleh jam yang dibawa dari rumah. Hal ini memerlukan jam yang tetap untuk menunjukkan ketelitian waktu selama perjalanan. Masalah ini baru terpecahkan pada 1735 dengan ditemukannya kronometer kapal.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

3. Faktor Pengali

Dalam sistem internasional, faktor pengali dari sebuah besaran pokok dengan besaran pokok yang lainnya adalah sama. Contoh untuk besaran panjang dan besaran massa, yakni seperti pada tabel berikut.

Tabel 1.5 Contoh Faktor Pengali Panjang dan Massa

Besaran Panjang	Besaran Massa
kilometer	kilogram
hektometer	hektogram
dekameter	dekagram
meter	gram
desimeter	desigram
centimeter	centigram
milimeter	miligram

Satuan-satuan panjang dan massa tersebut telah Anda pelajari di sekolah dasar. Faktor pengali lainnya yang akan didapatkan dalam pengukuran, yakni seperti pada tabel berikut.

Tabel 1.6 Faktor Pengali dalam SI

Faktor Pengali	Nama Awalan	Simbol
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	piko	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	mikro	μ
10^{-3}	mili	m
10^{3}	kilo	K
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T

Contoh penggunaanya sebagai berikut.
1 pikometer = 10^{-12} meter
1 mikrogram = 10^{-6} gram
1 megahertz = 10^{6} hertz
1 gigawatt = 10^{9} watt

4. Dimensi

Dalam Fisika, ada tujuh besaran pokok yang berdimensi dan dua besaran pokok tambahan yang tidak berdimensi. Semua besaran dapat ditemukan dimensinya. Jika dimensi sebuah besaran diketahui, dengan mudah dapat diketahui pula jenis besaran tersebut. Tujuh besaran pokok yang berdimensi dapat Anda lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1.7 Dimensi Besaran Pokok

No.	Nama Awalan	Dimensi
1	Panjang	[L]
2	Massa	[M]
3	Waktu	[T]
4	Arus listrik	[I]
5	Suhu	[θ]
6	Intensitas cahaya	[J]
7	Jumlah zat	[N]

Dimensi suatu besaran menunjukkan bagaimana cara besaran tersebut tersusun oleh besaran-besaran pokok. Besaran pokok tambahan adalah sudut datar dan sudut ruang, masing-masing memiliki satuan radian dan steradian, tetapi keduanya tidak berdimensi.

Contoh 1.1

Diketahui sebuah persamaan $x = vt + \frac{1}{2}at^2$. Jika v memiliki satuan m/s, t memiliki satuan s, dan x memiliki satuan m, tentukanlah satuan dari besaran a.

Jawab:
Diketahui: v bersatuan m/s,
x bersatuan m, dan
t bersatuan s.

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

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{m}}{\cancel{\mathrm{s}}} \times \cancel{\mathrm{s}} + \frac{1}{2}a(\mathrm{s})^2$$

$$\mathrm{m} = \mathrm{m} + \frac{\mathrm{s}^2}{2}a$$

Solusi Cerdas

Suatu besaran yang memiliki dimensi $[ML^{-1}T^{-2}]$ adalah ....
a. gaya
b. momentum
c. daya
d. tekanan
e. energi

Penyelesaian
a. gaya = ma = $[MLT^{-2}]$
b. momentum = mv = $[MLT^{-1}]$
c. daya = $\frac{E}{t}$ = $[ML^2T^{-3}]$
d. tekanan = $\frac{F}{A}$ = $[ML^{-1}T^{-2}]$
e. energi = $\frac{1}{2}mv^2$ = $[ML^2T^{-2}]$

Jawab: d

Ebtanas 2004

Supaya persamaan sebelah kiri dan persamaan sebelah kanan sama, persamaan sebelah kanan haruslah bersatuan m sehingga.

$$s^2 \times a = m$$
$$a = m/s^2$$

Jadi, satuan dari besaran a adalah m/s^2.

5. Konversi Satuan

Adakalanya ketika Anda ingin melakukan operasi suatu besaran, baik penjumlahan, pengurangan, perkalian, ataupun pembagian, Anda akan mengalami kesulitan dalam melakukannya dikarenakan satuan dari besaran yang sejenis tidak sama. Misalnya, Anda akan menjumlahkan dua buah besaran kelajuan 72 km/jam + 30 m/s, penjumlahan tersebut tidak dapat Anda lakukan sebelum Anda konversi salah satu satuan dari besaran satu ke satuan besaran lainnya. Nilai 72 km/jam dapat Anda konversi menjadi m/s dengan cara sebagai berikut

$$1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$$
$$1 \text{ jam} = 3.600 \text{ s}$$

maka $72 \text{ km/jam} = \dfrac{72.000 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$

Jadi, Anda dapat dengan mudah menjumlahkan kedua nilai kelajuan tersebut.

$$20 \text{ m/s} + 30 \text{ m/s} = 50 \text{ m/s}.$$

Soal Penguasaan *Materi* 1.2

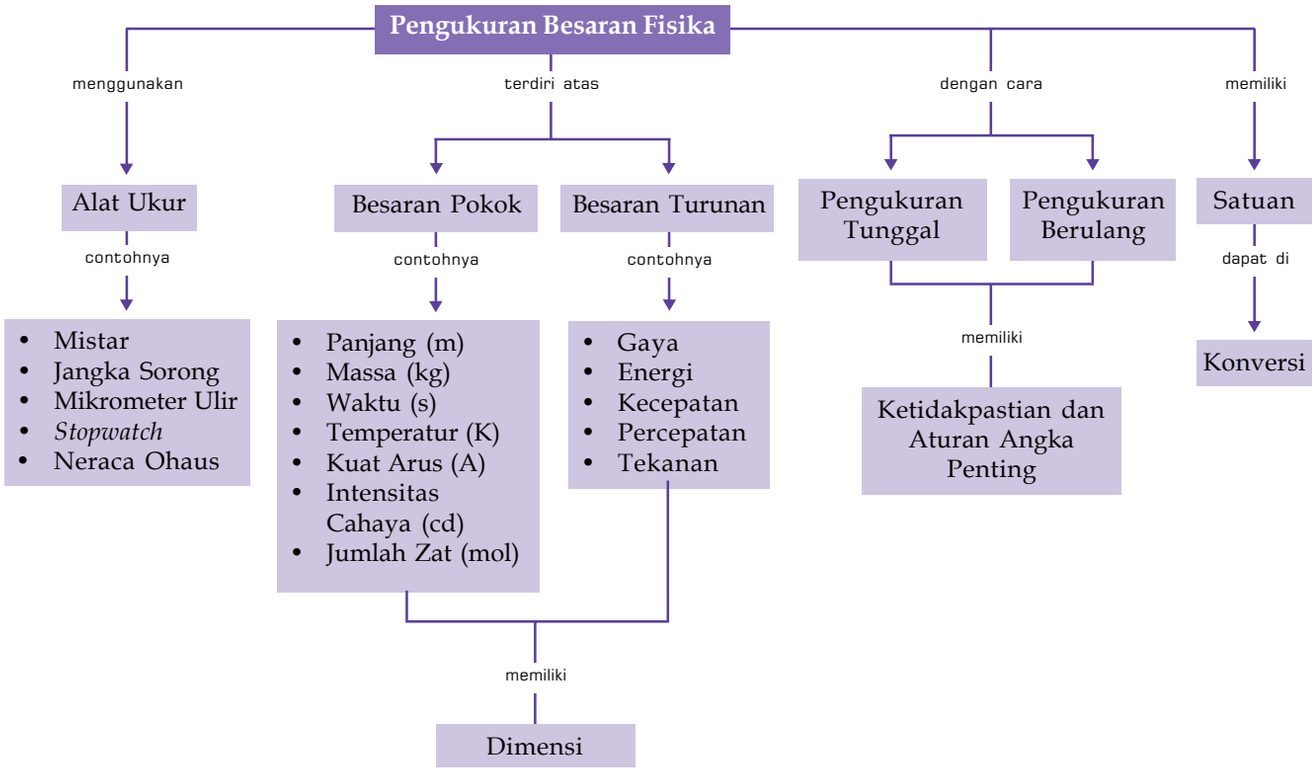
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan jenis-jenis faktor pengali dalam satuan Internasional.
2. Sebutkan minimal sepuluh besaran turunan yang Anda ketahui beserta dimensinya.
3. Konversikan nilai-nilai berikut.
   a. 250 km = ... mil (1 mil = 1,61 km)
   b. 90 km/jam = ... m/s
   c. 1.200 s = ... menit
   d. 40 m/s = ... km/jam
   e. 20 m/s^2 = ... km/jam^2
4. Diketahui dimensi suatu besaran x adalah $ML^{-2}T^{-3}$, dan mengikuti rumus $x = a + \dfrac{bct^2}{y}$, a dan b adalah konstanta, c memiliki satuan kgm/s, dan t memiliki satuan s. Tentukanlah dimensi untuk besaran y.
5. Tentukanlah jumlah angka penting dari hasil pengukuran dan perhitungan berikut ini.
   a. m = $2{,}74 \times 10^3$ g
   b. ℓ = 475,37 m
   c. $1{,}518 \times 10^2$ kg/m^3
   d. 1,38226 cm^2

Rangkuman

1. **Pengukuran** adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran lainnya yang telah ditetapkan sebagai standar suatu besaran.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi **hasil pengukuran** adalah
   a. alat ukur;
   b. lingkungan pengukuran; dan
   c. orang yang mengukur.
3. Jenis-jenis **alat ukur** antara lain:
   a. alat ukur panjang, contohnya mistar ukur, jangka sorong, dan mikrometer ulir (sekrup).
   b. alat ukur massa, contohnya neraca ohaus
   c. alat ukur waktu, contohnya *stopwatch*
4. **Angka penting** adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran, termasuk angka terakhir yang ditaksir atau diragukan.
5. **Besaran pokok** adalah besaran yang satuannya ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung pada besaran lainnya.
6. **Besaran turunan** adalah besaran yang diturunkan dari beberapa besaran pokok.
7. Kedua ruas dari persamaan harus memiliki **dimensi** yang sama.
8. Satuan dapat diubah menjadi satuan lainnya, dalam besaran yang sama, dengan cara **konversi satuan**.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Pengukuran, Besaran, dan Satuan, Anda dapat mengukur besaran Fisika, seperti massa, panjang, dan waktu. Jika Anda belum mampu mengukur besaran Fisika, seperti massa, panjang, dan waktu, Anda belum menguasai materi bab Pengukuran, Besaran, dan Satuan dengan baik.

Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 1

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

1. Faktor-faktor yang membuat proses pengukuran menjadi tidak teliti, di antaranya:
   (1) alat ukur,
   (2) benda yang diukur,
   (3) lingkungan, dan
   (4) orang yang mengukur.
   Pernyataan yang benar adalah ....
   a. (1), (2), dan (3)
   b. (1) dan (3)
   c. (2) dan (4)
   d. (4) saja
   e. (1), (2), (3), dan (4)
2. Skala terkecil dari alat-alat ukur panjang seperti mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup adalah ....
   a. 1 mm; 0,1 mm; 0,01 mm
   b. 0,5 mm; 0,1 mm; 0,01 mm
   c. 0,1 mm; 0,01 mm; 0,001 mm
   d. 0,5 mm; 0,05 mm; 0,005 mm
   e. 0,5 mm; 0,01 mm; 0,001mm
3. Seseorang melakukan pengukuran tebal buku tulis dengan jangka sorong. Hasil pengukurannya adalah 5,24 mm. Dengan memperhitungkan kesalahan mutlak, pembacaan dari hasil pengukuran tersebut dapat dituliskan menjadi ....
   a. (5,24 + 0,01) mm
   b. (5,24 + 0,05) mm
   c. (5,24 + 0,1) mm
   d. (5,24 + 0,5) mm
   e. (5,24 + 1) mm
4. Sebuah kubus memiliki panjang rusuk 10 cm. Dengan menggunakan aturan angka penting dan notasi ilmiah, volume kubus tersebut adalah ....
   a. 1,000 cm^3
   b. 1×10 cm^3
   c. $1{,}0 \times 10^3$ cm^3
   d. $1{,}00 \times 10^3$ cm^3
   e. $1{,}000 \times 10^3$ cm^3
5. Sebatang kayu memiliki panjang 10 m. Dari pernyataan tersebut yang disebut besaran adalah ....
   a. 10
   b. m
   c. 10 m
   d. panjang
   e. kayu
6. Dari sistem besaran berikut ini, yang termasuk besaran pokok dalam sistem SI adalah ....
   a. berat
   b. muatan listrik
   c. volume
   d. suhu
   e. kecepatan
7. Besaran-besaran berikut ini yang merupakan besaran turunan adalah ....
   a. gaya, kecepatan, dan panjang
   b. berat, daya, dan waktu
   c. massa, waktu, dan percepatan
   d. berat, energi, dan massa
   e. tekanan, gaya, dan berat
8. Besaran-besaran berikut ini yang merupakan besaran pokok tambahan adalah ....
   a. panjang
   b. massa
   c. waktu
   d. sudut datar
   e. intensitas cahaya
9. Besaran-besaran berikut ini yang tidak termasuk besaran pokok adalah ....
   a. panjang
   b. massa
   c. waktu
   d. suhu
   e. muatan listrik
10. Besaran-besaran berikut ini yang tidak termasuk besaran turunan adalah ....
    a. massa jenis
    b. momentum
    c. jumlah zat
    d. tekanan
    e. usaha
11. Besaran-besaran berikut ini yang semuanya bukan besaran turunan adalah ....
    a. usaha, massa jenis, dan suhu
    b. daya, gaya, dan intensitas cahaya
    c. luas, panjang, dan volume
    d. kuat arus listrik, suhu, dan waktu
    e. usaha, daya, dan gaya
12. Dari besaran-besaran berikut ini, yang bukan merupakan besaran pokok adalah ....
    a. suhu
    b. kuat arus
    c. intensitas cahaya
    d. berat
    e. waktu
13. Di antara kelompok besaran-besaran berikut ini, yang hanya terdiri atas besaran turunan adalah ....
    a. waktu, kecepatan, dan luas
    b. massa jenis, kecepatan, dan tekanan
    c. volume, berat, dan temperatur
    d. percepatan, energi, dan temperatur
    e. waktu, massa jenis, dan berat
14. Seorang siswa menunggu bis selama 30 menit. Dari pernyataan tersebut yang menyatakan satuan adalah ....

a. siswa
b. bus
c. 30
d. menit
e. 30 menit

15. Massa jenis air dalam sistem CGS (cm - gram - sekon) adalah 1 g/cm. Jika massa jenis ini dikonversikan ke sistem internasional (SI) maka nilainya adalah ....
a. 10^{-3} kg/mm^3
b. 10^{-1} kg/mm^3
c. 1 kg/m^3
d. 10 kg/m^3
e. 10^3 kg/m^3

16. Satuan berat dalam SI adalah ....
a. kg
b. kgm/s
c. kgm/s^2
d. kgm^2/s
e. kgm^2/s^2

17. Dalam SI, satuan tekanan adalah ....
a. dyne
b. joule
c. pascal
d. newton
e. watt

18. Satuan energi dalam SI adalah ....
a. watt
b. joule
c. dyne
d. newton
e. pascal

19. Lintasan sebuah partikel dinyatakan dengan $x = A + Bt + Ct^2$. Dalam rumus itu x menunjukan tempat kedudukan dalam cm, t waktu dalam sekon, A, B, dan C masing-masing merupakan konstanta. Satuan C adalah ....
a. cm/s
b. cm/s^2
c. cms
d. s/cm
e. cm

20. [M][L][T]$^{-2}$ menunjukan dimensi dari ....
a. percepatan
b. energi
c. usaha
d. gaya
e. daya

21. Jika M dimensi massa, L dimensi panjang, dan T dimensi waktu, dimensi tekanan adalah ....
a. [M][L][T]$^{-2}$
b. [ML]$^{-1}$[T]$^{-2}$
c. [M][L]^2 [T]$^{-3}$
d. [M][L]$^{-2}$ [T]$^{-2}$
e. [M][L]$^{-3}$[T]$^{-2}$

22. Daya adalah usaha per satuan waktu. Dimensi daya adalah ....
a. MLT^{-2}
b. ML^{2}T^{-2}
c. ML^{2}T^{-3}
d. ML^{-2}T^{-2}
e. ML^{-3}T^{-2}

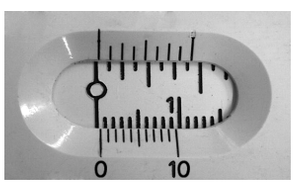
23. Besaran yang dimensinya MLT^{-1} adalah ....
a. gaya
b. tekanan
c. energi
d. momentum
e. percepatan

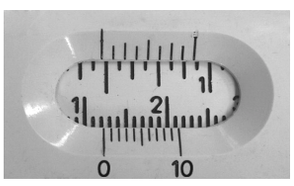
24. Notasi ilmiah dari bilangan 0,000000022348 adalah ....
a. 22,348 × 10^{-9}
b. 22,348 × 10^{-10}
c. 2,23 × 10^{-8}
d. 2,2348 × 10^{-8}
e. 2,2348 × 10^{-9}

25. Orde bilangan dari nilai 0,00000002456 adalah ....
a. –10
b. –8
c. 10^{-12}
d. 10^{-9}
e. 10^{-8}

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Sebutkan dan jelaskan perbedaan antara *stopwatch* analog dan digital. Sebutkan juga kelebihan dan kekurangan dari kedua alat ukur waktu tersebut.
2. Sebutkan dan jelaskan macam-macam alat ukur panjang dengan ketelitiannya.
3. Mengapa kesalahan paralaks (kesalahan penglihatan) sering terjadi dalam pengukuran? Jelaskan.
4. Sebutkan 7 besaran pokok berdasarkan Satuan Internasional beserta satuannya.
5. Tentukanlah hasil pengukuran panjang menggunakan jangka sorong berikut ini beserta ketelitiannya.





6. Tentukanlah banyaknya angka penting dari hasil pengukuran berikut.
   a. 0,56 kg
   b. 25,060 cm
   c. 2000 N
   d. 1,3672 A
7. Dalam persamaan berikut, jarak x dinyatakan dalam meter, waktu t dalam sekon, dan kecepatan v dalam meter per sekon. Tentukanlah satuan-satuan SI untuk konstanta C, dan C_2.
   a. $x = C_2 - C_1 t$
   b. $x = \frac{1}{2} C_2 t^2$
   c. $v^2 = C_1 x$
   d. $v = C_2 t$
8. Perhatikan gambar berikut.

   Tentukan hasil pengukuran menggunakan alat ukur tersebut lengkap beserta ketelitiannya.
9. Dari pengamatan mengukur ketebalan dengan menggunakan jangka sorong (ketelitian 0,025 mm) dari suatu bahan secara berulang-ulang, didapat hasilnya sebagai berikut.

No	Skala Utama	Skala Nonius	Hasil Pengukuran
1	1,2 cm	0,03	...
2	1,4 cm	0,05	...
3	1,6 cm	0,07	...

   Tentukanlah hasil pengukuran berdasarkan tabel tersebut.
10. Jelaskan cara-cara melakukan pengukuran yang baik dan benar.

Sumber:*www.tallship.org*

Bab 2

Vektor

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep besaran Fisika dan pengukurannya dengan cara melakukan penjumlahan vektor.

Pernahkah Anda mengarungi lautan menggunakan perahu layar? Ketika perahu layar mencoba untuk bergerak lurus, tiba-tiba angin dan ombak lautan menghambat perjalanan sehingga Anda tidak dapat mencapai tujuan dengan tepat. Untuk dapat sampai di tempat tujuan, Anda harus mengubah arah pergerakan perahu layar Anda dan memperkirakan arah gerak angin dan ombak tersebut.

Begitu pun jika Anda berenang di sungai yang memiliki aliran yang kuat, Anda perlu berjuang melawan arus aliran sungai agar dapat mencapai tujuan yang Anda inginkan. Besarnya kecepatan arus aliran sungai dapat menentukan seberapa jauh penyimpangan Anda ketika berenang. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Semua yang Anda alami tersebut berhubungan dengan vektor. Untuk lebih memahami materi mengenai vektor, pelajarilah bahasan-bahasan berikut ini dengan saksama.

A. Definisi, Gambar, dan Notasi Vektor
B. Penjumlahan Vektor Menggunakan Metode Grafis dan Analitis
C. Menjumlahkan Vektor Dengan Metode Uraian

Soal *Prameteri*

1. Apa yang Anda ketahui mengenai besaran vektor?
2. Sebutkan besaran-besaran yang termasuk ke dalam besaran vektor.
3. Sebutkan aplikasi dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan vektor.

Ketika seseorang bertanya di mana letak sekolah Anda dari tempat Anda berada saat itu, apa jawaban Anda? Cukupkah dengan menjawab, "Sekolah saya berjarak 2 km dari sini?". Tentu saja jawaban Anda belum lengkap. Tempat yang berjarak 2 km dari posisi Anda sangatlah banyak, bisa ke arah timur, barat, selatan, atas, dan bahkan ke bawah. Oleh karena itu wajar jika orang tadi melanjutkan pertanyaannya sebagai berikut "ke arah mana?". Jawaban yang dapat menyatakan letak atau posisi sekolah Anda secara tepat adalah "Sekolah saya berjarak 2 km dari Jogja ke timur". Pernyataan ini memperlihatkan bahwa untuk menunjukkan posisi suatu tempat secara tepat, memerlukan data jarak (nilai besaran) dan arah. Besaran yang memiliki nilai dan arah disebut besaran vektor.

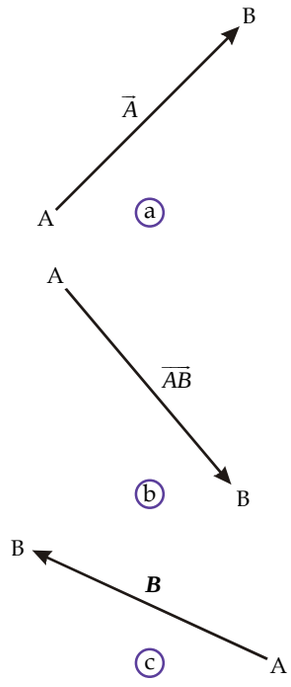
Dalam kehidupan sehari-hari, banyak peristiwa yang berkaitan dengan besaran vektor. Ketika Anda naik sebuah perahu di sungai Musi, Anda pasti menginginkan arahnya tegak lurus terhadap arus sungai. Arah gerak perahu tidak akan lurus tiba di seberang, melainkan bergeser searah gerak aliran air.

A Definisi, Gambar, dan Notasi Vektor

Seperti telah disinggung sebelumnya, besaran vektor adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. Dalam ilmu Fisika, banyak besaran yang termasuk vektor, di antaranya perpindahan, gaya, kecepatan, percepatan, dan momentum.

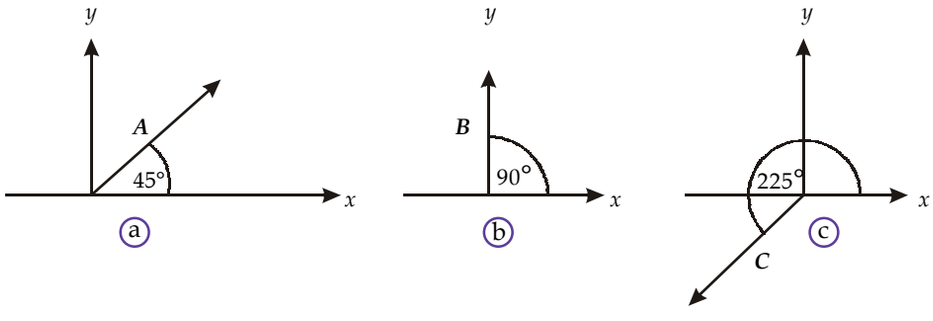
Selain besaran vektor, ada juga besaran yang hanya memiliki nilai. Besaran seperti ini disebut besaran skalar. Besaran yang termasuk besaran skalar, di antaranya massa, waktu, kuat arus, usaha, energi, dan suhu.

Sebuah vektor digambarkan oleh sebuah anak panah. Panjang anak panah mewakili besar atau nilai vektor, sedangkan arah anak panah mewakili arah vektor. Notasi atau simbol sebuah vektor dapat menggunakan satu atau dua huruf dengan tanda panah di atasnya, misalnya $\vec{A}$ atau $\overrightarrow{AB}$. Akan tetapi, dalam buku ini, vektor digambarkan oleh sebuah huruf yang dicetak tebal dan miring, misalnya ***A*** atau ***B***. **Gambar 2.1** menunjukkan gambar beberapa vektor dengan notasinya. Titik A disebut titik pangkal vektor dan titik B disebut ujung vektor.



Gambar 2.1
Beberapa contoh gambar dan notasi vektor.

Besar sebuah vektor dapat ditulis dengan beberapa cara, di antaranya dengan memberi tanda mutlak (| |) atau dicetak miring tanpa ditebalkan. Sebagai contoh, besar vektor ***A*** ditulis $|\boldsymbol{A}|$ atau A dan besar vektor ***B*** ditulis $|\boldsymbol{B}|$ atau B. Arah sebuah vektor dinyatakan oleh sudut tertentu terhadap arah acuan tertentu. Umumnya, sudut yang menyatakan arah sebuah vektor dinyatakan terhadap sumbu-x positif. **Gambar 2.2** memperlihatkan tiga buah vektor ***A***, ***B***, dan ***C*** dengan arah masing-masing membentuk sudut 45°, 90°, dan 225° terhadap sumbu-x positif.



Gambar 2.2
Arah vektor dinyatakan oleh sudut yang dibentuknya terhadap sumbu-x positif.

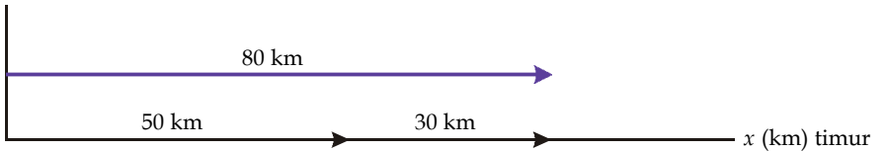
B Penjumlahan Vektor Menggunakan Metode Grafis dan Analitis

Pernahkah Anda membayangkan jika Anda berenang di sungai searah dengan aliran sungai, kemudian Anda tiba-tiba berbalik arah 90° dari arah pergerakan semula? Apakah posisi terakhir Anda tepat sesuai keinginan Anda? Tentu tidak, arah akhir posisi Anda tidak akan membentuk sudut 90° dari posisi semula karena terdapat hambatan arus sungai yang membuat arah gerak Anda tidak tepat atau menyimpang. Anda dapat menentukan posisi akhir Anda dengan cara menjumlahkan vektor gerak Anda, baik perpindahannya maupun kecepatannya. Apakah Anda mengetahui cara menjumlahkan dua buah vektor?

Penjumlahan vektor tidak sama dengan penjumlahan skalar. Hal ini karena vektor selain memiliki nilai, juga memiliki arah. Vektor yang diperoleh dari hasil penjumlahan beberapa vektor disebut vektor resultan. Berikut ini akan dibahas metode-metode untuk menentukan vektor resultan.

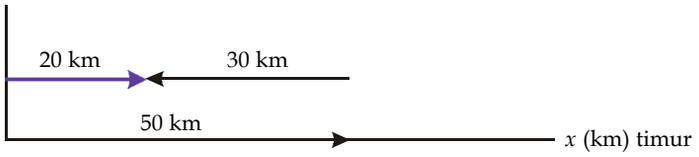
1. Resultan Dua Vektor Sejajar

Misalnya, Anda bepergian mengelilingi kota Palu dengan mengendarai sepeda motor. Dua jam pertama, Anda bergerak lurus ke timur dan menempuh jarak sejauh 50 km. Setelah istirahat secukupnya, Anda kembali melanjutkan perjalanan lurus ke timur sejauh 30 km lagi. Di lihat dari posisi asal, Anda telah berpindah sejauh sejauh 50 km + 30 km = 80 km ke timur. Dikatakan, resultan perpindahan Anda adalah 80 km ke timur. Secara grafis, perpindahan Anda seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3
Menjumlahkan dua vektor searah.

Sedikit berbeda dengan kasus tersebut, misalnya setelah menempuh jarak lurus 50 km ke timur, Anda kembali lagi ke barat sejauh 30 km. Relatif terhadap titik asal, perpindahan Anda menjadi 50 km – 30 km = 20 km ke timur. Secara grafis, perpindahan Anda diperlihatkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4
Menjumlahkan dua vektor berlawanan arah.

Dari kedua contoh, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4**, menjumlahkan dua buah vektor sejajar mirip dengan menjumlahkan aljabar biasa. Secara matematis, resultan dua buah vektor sejajar, yakni, sebagai berikut. Jika vektor $\boldsymbol{A}$ dan $\boldsymbol{B}$ searah, besar vektor resultan $\boldsymbol{R}$, adalah

$$R = |\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}| \qquad (2\text{–}1)$$

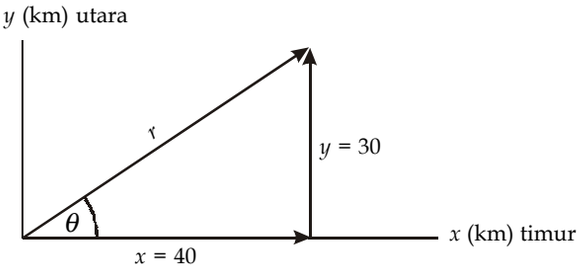
dengan arah vektor $\boldsymbol{R}$ sama dengan arah vektor $\boldsymbol{A}$ dan $\boldsymbol{B}$. Sebaliknya, jika kedua vektor tersebut berlawanan, besar resultannya adalah

$$R = |\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}| \qquad (2\text{–}2)$$

dengan arah vektor $\boldsymbol{R}$ sama dengan arah vektor yang terbesar.

2. Resultan Dua Vektor yang Saling Tegak Lurus

Misalnya, Anda memacu kendaraan Anda lurus ke timur sejauh 40 km dan kemudian berbelok tegak lurus menuju utara sejauh 30 km. Secara grafis, perpindahan Anda seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.5**. Besar resultan perpindahannya, r, diperoleh menggunakan Dalil Pythagoras, yakni sebagai berikut



Gambar 2.5
Menjumlahkan dua vektor yang saling tegak lurus.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = \sqrt{2.500} = 50 \text{ km}$$

dan arahnya

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4} \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{3}{4}\right) = 37°$$

terhadap sumbu-x positif (atau 37° dari arah timur).

Jangan **Lupa**
Besar atau nilai vektor selalu positif.

Dari contoh kasus tersebut, jika dua buah vektor, $\boldsymbol{A}$ dan $\boldsymbol{B}$, yang saling tegak lurus akan menghasilkan vektor resultan, $\boldsymbol{R}$, yang besarnya

$$\boxed{R = \sqrt{A^2 + B^2}} \qquad (2\text{–}3)$$

dengan arah

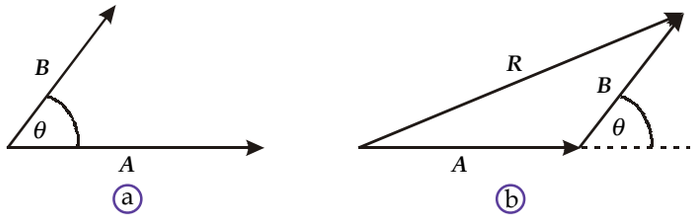
$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)} \qquad (2\text{–}4)$$

terhadap arah vektor $\boldsymbol{A}$ dengan catatan vektor $\boldsymbol{B}$ searah sumbu-y dan vektor $\boldsymbol{A}$ searah sumbu-x.

Kata Kunci
- Dalil Pythagoras
- Metode analitis
- Metode grafis
- Vektor resultan

3. Resultan Dua Vektor yang Mengapit Sudut

Sekarang tinjau dua buah vektor, $\boldsymbol{A}$ dan $\boldsymbol{B}$, yang satu sama lain mengapit sudut seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.6** (a). Gambar vektor resultannya dapat diperoleh dengan cara menempatkan pangkal vektor $\boldsymbol{B}$ di ujung vektor $\boldsymbol{A}$. Selanjutnya, tarik garis dari titik pangkal vektor $\boldsymbol{A}$ ke titik ujung vektor $\boldsymbol{B}$ dan buatkan panah tepat di ujung yang berimpit dengan ujung vektor $\boldsymbol{B}$. Vektor inilah, $\boldsymbol{R}$, resultan dari vektor $\boldsymbol{A}$ dan $\boldsymbol{B}$. Hasilnya seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.6** (b).



Gambar 2.6
(a) Vektor $\boldsymbol{A}$ dan vektor $\boldsymbol{B}$ mengapit sudut.
(b) Menggambarkan vektor resultan dari vektor $\boldsymbol{A}$ dan vektor $\boldsymbol{B}$.

Besar vektor resultan, $\boldsymbol{R}$, dapat ditentukan secara analitis sebagai berikut. Perhatikan **Gambar 2.7**. Vektor $\boldsymbol{C}$ dan $\boldsymbol{D}$ diberikan sebagai alat bantu sehingga vektor $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{C}$ tegak lurus vektor $\boldsymbol{D}$ dan ketiganya membentuk

resultan yang sama dengan resultan dari vektor ***A*** dan ***B***, yakni ***R*** . Dengan menggunakan Dalil Pythagoras, besarnya vektor resultan ***R*** adalah

$$R = \sqrt{(A+C)^2 + D^2} = \sqrt{A^2 + 2AC + C^2 + D^2}$$

Selanjutnya, juga dengan menggunakan Dalil Pythagoras, dari gambar diperoleh

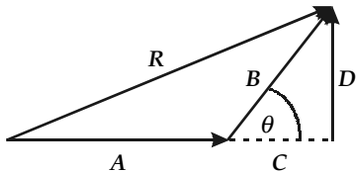
$$C^2 + D^2 = B^2$$

dan dari trigonometri,

$$\cos\theta = \frac{C}{B} \text{ atau } C = B\cos\theta$$

Dengan memasukkan dua persamaan terakhir ke persamaan pertama, diperoleh besarnya vektor resultan ***R***.

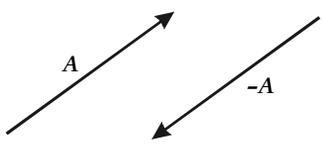
$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta} \qquad (2\text{–}5)$$



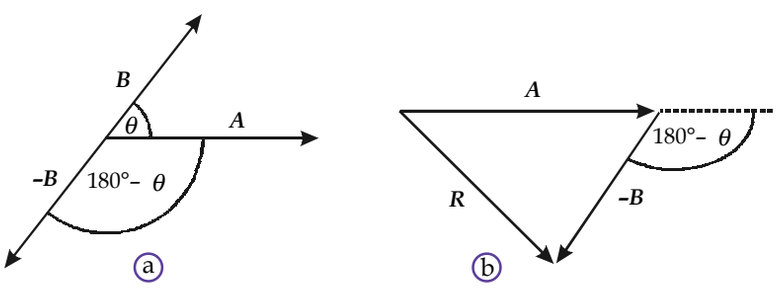
Gambar 2.7
Menentukan besar resultan dua buah vektor secara analitis.

4. Selisih Dua Vektor yang Mengapit Sudut

Vektor ***A*** dan vektor ***-A***, memiliki besar yang sama, yakni $|A| = |-A| = A$, tetapi arahnya berlawanan seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.8**. Selisih dari dua buah vektor, misalnya vektor ***A – B***, secara grafis sama dengan jumlah antara vektor ***A*** dan vektor ***–B***, seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.9**. Secara matematis, vektor selisihnya ditulis ***R = A – B***.



Gambar 2.8
Vektor ***–A*** Negatif dari sebuah vektor ***A***.



Gambar 2.9
Selisih dua buah vektor.

Secara analitis, besar vektor selisihnya ditentukan dari **Persamaan (2–5)** dengan mengganti θ dengan $180 - \theta$. Oleh karena, $\cos(180° - \theta) = -\cos\theta$ sehingga diperoleh

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta} \qquad (2\text{–}6)$$

5. Melukis Resultan Beberapa Vektor dengan Metode Poligon

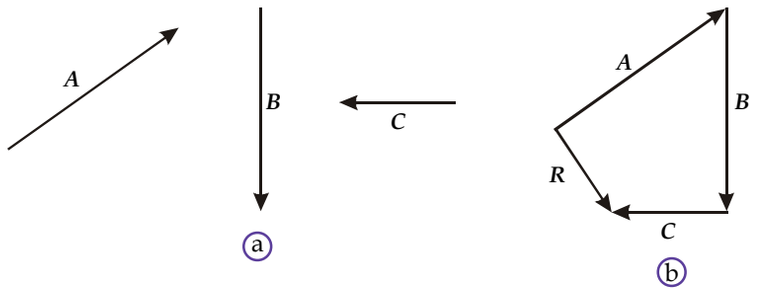
Jika terdapat tiga buah vektor, ***A***, ***B***, dan ***C***, yang besar dan arahnya berbeda seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.10** (a), resultannya dapat diperoleh dengan cara menggunakan metode poligon, yakni sebagai berikut.

a. Hubungkan titik tangkap vektor ***B*** pada ujung vektor ***A*** dan titik pangkal vektor ***C*** pada ujung vektor ***B***.
b. Buat vektor resultan, ***R***, dengan titik tangkap sama dengan titik pangkal vektor ***A*** dan ujung panahnya tepat di titik ujung vektor ***C***.

Perlu Anda Ketahui

$\cos(180 - \theta) = -\cos\theta$
Hal ini dikarenakan $\cos(180 - \theta)$ sama dengan $\cos(180)\cos\theta + \sin(180)\sin\theta$ di mana nilai $\cos(180) = -1$ dan nilai $\sin(180) = 0$. Bagaimana jika $\cos(180 + \theta)$? Apakah sama dengan $-\cos\theta$?

Hasilnya seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.10** (b).



Gambar 2.10
Menggambarkan resultan beberapa vektor dengan metode poligon.

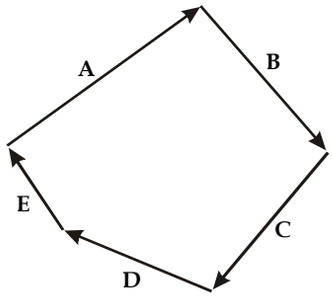
Secara matematis, vektor resultan pada **Gambar 2.10** ditulis sebagai berikut.

$$R = A + B + C$$

6. Vektor Nol

Vektor nol adalah vektor hasil penjumlahan beberapa buah vektor yang hasilnya nol. Sebagai contoh, lima buah vektor, ***A***, ***B***, ***C***, ***D***, dan ***E***, menghasilkan resultan sama dengan nol maka secara matematis ditulis

$$A + B + C + D + E = 0$$



Gambar 2.11
Penjumlahan lima buah vektor yang menghasilkan vektor nol.

Dengan menggunakan metode poligon, secara grafis vektor-vektor tersebut diperlihatkan seperti pada **Gambar 2.11**. Perhatikan bahwa ujung vektor terakhir (vektor ***E***) bertemu kembali dengan titik pangkal vektor pertama (vektor ***A***).

Contoh 2.1

Dua buah vektor satu sama lain membentuk sudut 60°. Besar kedua vektor tersebut sama, yakni 5 satuan. Tentukanlah
a. resultan, dan
b. selisih kedua vektor tersebut.

Jawab
Misalnya, kedua vektor tersebut adalah ***A*** dan ***B***. Besarnya, $A = B = 5$ dan sudutnya $\theta = 60°$. Dengan menggunakan **Persamaan (2–5)** dan **(2–6),** diperoleh
a. resultannya

$$R = \sqrt{5^2 + 5^2 + 2(5)(5)\cos 60^o} = \sqrt{5^2 + 5^2 + (2)(5)(5)(0,5)} = 5\sqrt{3} \text{ satuan}$$

b. selisihnya

$$R = \sqrt{5^2 + 5^2 - 2(5)(5)\cos 60^o} = \sqrt{5^2 + 5^2 - (2)(5)(5)(0,5)} = 5 \text{ satuan}$$

Kata Kunci
- Metode poligon
- Vektor nol

Soal Penguasaan *Materi* 2.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

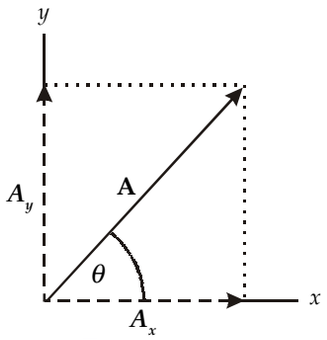
1. Dua buah vektor dijumlahkan dan hasilnya nol. Bagaimanakah besar dan arah kedua vektor tersebut?
2. Sebuah mobil bergerak menempuh jarak 150 km ke barat, kemudian 200 km ke selatan. Berapakah perpindahan mobil dari titik asal (besar dan arahnya)?
3. Ahmad hendak menyeberangi sungai menggunakan perahu. Kecepatan arus air 4 m/s. Jika Ahmad memacu perahu dengan kecepatan 3 m/s tegak lurus arus air, berapakah kecepatan perahu relatif terhadap tepi sungai? Berapakah sudut yang dibentuk oleh lintasan perahu terhadap garis tepi sungai? Anggap sungainya lurus.
4. Dua buah vektor, ***A*** dan ***B***, masing-masing besarnya 30 N dan 40 N. Tentukanlah resultan kedua vektor tersebut jika (a) searah, (b) berlawanan arah, dan (c) saling tegak lurus. (d) Tentukan pula resultan dan selisihnya jika kedua vektor tersebut membentuk sudut sudut 60°.

C Menjumlahkan Vektor dengan Metode Uraian

Dalam beberapa kasus, seringkali Anda menjumlahkan beberapa vektor yang lebih dari dua buah. Secara grafis, metode yang digunakan adalah metode poligon, seperti yang telah disinggung sebelumnya. Akan tetapi, bagaimanakah cara menentukan besar dan arah vektor resultannya? Salah satu metode yang digunakan adalah metode uraian, seperti yang akan di bahas pada sub-subbab berikut ini.

1. Menguraikan Vektor Menjadi Vektor Komponennya

Sebuah vektor dapat diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus. Vektor-vektor baru hasil uraian disebut vektor-vektor komponen. Ketika sebuah vektor telah diuraikan menjadi vektor-vektor komponennya, vektor tersebut dianggap tidak ada karena telah diwakili oleh vektor-vektor komponennya. Sebagai contoh, ketika Anda menguraikan sekarung beras 50 kg menjadi dua karung dengan masing-masing 20 kg dan 30 kg, apakah karung yang berisi 50 kg tetap ada?



Gambar 2.12
Menguraikan sebuah vektor menjadi dua vektor komponen yang saling tegak lurus.

Gambar 2.12 memperlihatkan sebuah vektor A yang diuraikan menjadi dua buah vektor komponen, masing-masing berada pada sumbu-x dan sumbu-y. $\boldsymbol{A}_x$ adalah komponen vektor $\boldsymbol{A}$ pada sumbu-x dan $\boldsymbol{A}_y$ adalah komponen vektor $\boldsymbol{A}$ pada sumbu-y. Dengan mengingat definisi sin θ dan cos θ dari trigonometri, besar setiap komponen vektor $\boldsymbol{A}$ dapat ditulis sebagai berikut.

$$A_x = A\cos\theta \text{ dan } A_y = A\sin\theta \qquad (2\text{–}7)$$

Sementara itu, dengan menggunakan Dalil Pythagoras diperoleh hubungan

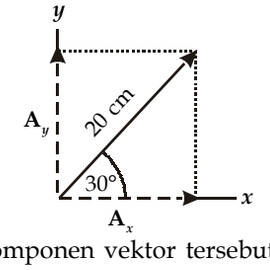
$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \qquad (2\text{–}8)$$

Selanjutnya, hubungan antara A_x dan A_y diberikan oleh

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x} \qquad (2\text{–}9)$$

Contoh 2.2

Sebuah vektor panjangnya 20 cm dan membentuk sudut 30° terhadap sumbu-x positif seperti diperlihatkan pada gambar.



Tentukanlah komponen-komponen vektor tersebut pada sumbu-x dan sumbu-y.

Jawab

Gunakan **Persamaan (2–7)** maka diperoleh

$$A_x = A\cos 30^o = (20)(\frac{1}{2}\sqrt{3}) = 10\sqrt{3} \text{ cm}$$

dan

$$A_y = A\sin 30^o = (20)(\frac{1}{2}) = 10 \text{ cm}$$

2. Menjumlahkan Vektor Melalui Vektor-Vektor Komponennya

Menjumlahkan sejumlah vektor dapat dilakukan dengan menguraikan setiap vektor menjadi komponen-komponennya ke sumbu-x dan sumbu-y pada koordinat kartesius. Metode seperti ini disebut metode uraian.

Berikut adalah tahapan-tahapan untuk mencari besar dan arah vektor resultan dengan metode uraian.

a. Buat koordinat kartesius x-y.
b. Letakkan titik tangkap semua vektor pada titik asal (0,0). Hati-hati, arah vektor tidak boleh berubah.
c. Uraikan setiap vektor, yang tidak berimpit dengan sumbu-x atau sumbu-y, menjadi komponen-komponennya pada sumbu-x dan sumbu-y.
d. Tentukanlah resultan vektor-vektor komponen pada setiap sumbu, misalnya
   $\sum R_x$ = resultan vektor-vektor komponen pada sumbu-x.
   $\sum R_y$ = resultan vektor-vektor komponen pada sumbu-y.
e. Besar vektor resultannya

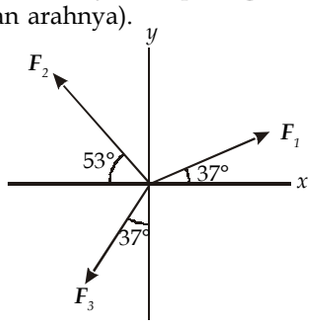
$$R = \sqrt{\left(\sum R_x\right)^2 + \left(\sum R_y\right)^2} \qquad (2\text{–}10)$$

dan arahnya terhadap sumbu-x positif

$$\tan\theta = \frac{\sum R_y}{\sum R_x} \qquad (2\text{–}11)$$

Contoh 2.3

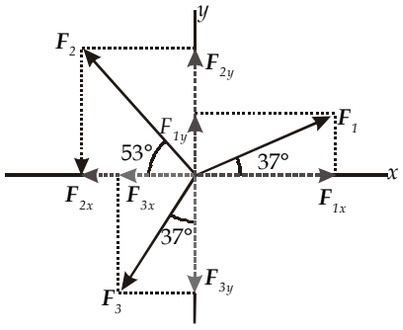
Tiga buah vektor gaya masing-masing besarnya F_1 = 10 N, F_2 = 30 N, dan F_3 = 20 N. Arah ketiga vektor tersebut ditunjukkan pada gambar. Tentukanlah resultan ketiga vektor tersebut (besar dan arahnya).



Jawab

Diketahui: F_1 = 10 N,
F_2 = 30 N, dan
F_3 = 20 N.

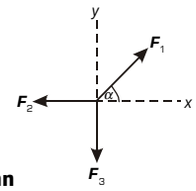
Uraian setiap vektor pada sumbu-x dan sumbu-y, seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Solusi Cerdas

Tiga vektor masing-masing F_1 = 10 N, F_2 = 16 N, dan F_3 = 12 N, disusun seperti pada gambar. Jika $\alpha = 37°$, besar resultan ketiga vektor adalah ....

a. 5 N
b. 8 N
c. 10 N
d. 12 N
e. 18 N



Penyelesaian

Diketahui: F_1 = 10 N, F_2 = 16 N, dan F_3 = 12 N.

Besar komponen pada sumbu-x
$F_{1x} = F_1 \cos\alpha$ = 10 cos 37°
= 8 N
F_{2x} = 16 N
F_{3x} = 0 N

Besar komponen pada sumbu-y
$F_{1y} = F_1 \sin\alpha$ = 10 sin 37°
= 6 N
F_{2y} = 0 N
F_{3y} = 12 N

$\Sigma F_x = 8 - 16 + 0 = -8$ N
$\Sigma F_y = 6 + 0 - 12 = -6$ N

$F_R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$
$= \sqrt{(-8)^2 + (-6)^2}$
= 10 N

Jawab: c

UAN 2004

Besar komponen-komponen setiap vektornya adalah:

$F_{1x} = F_1 \cos 37° = 10\ \text{N} \times 0{,}8 = 8\ \text{N}$

$F_{1y} = F_1 \sin 37° = 10\ \text{N} \times 0{,}6 = 6\ \text{N}$

$F_{2x} = F_2 \cos 53° = 30\ \text{N} \times 0{,}6 = 18\ \text{N}$

$F_{2x} = F_2 \sin 53° = 30\ \text{N} \times 0{,}8 = 24\ \text{N}$

$F_{3x} = F_3 \sin 37° = 20\ \text{N} \times 0{,}6 = 12\ \text{N}$

$F_{3x} = F_3 \cos 37° = 20\ \text{N} \times 0{,}8 = 16\ \text{N}$

Resultan pada sumbu-x dan sumbu-y masing-masing:

$\sum R_x = F_{1x} - F_{2x} - F_{3x} = 8 - 18 - 12 = -22\ \text{N}$

$\sum R_y = F_{1y} - F_{2y} - F_{3y} = 6 + 24 - 12 = 18\ \text{N}$

Dengan demikian, besar resultan ketiga vektor tersebut adalah

$$R = \sqrt{\left(\sum R_x\right)^2 + \left(\sum R_y\right)^2} = \sqrt{(-22\ \text{N})^2 + (18\ \text{N})^2} = \sqrt{484\ \text{N} + 324\ \text{N}} = \sqrt{808\ \text{N}} = 28{,}4\ \text{N}$$

dan arahnya terhadap sumbu-x positif

$$\tan\theta = \frac{\sum R_y}{\sum R_x} = \frac{18\ \text{N}}{-22\ \text{N}} = -0{,}82 \rightarrow \theta = 219^o$$

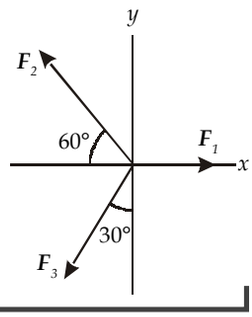
Kata Kunci

- Metode uraian
- Vektor komponen

Soal Penguasaan *Materi* 2.2

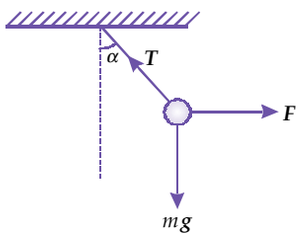
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Komponen-komponen sebuah vektor pada sumbu-x dan sumbu-y masing-masing 60 satuan dan 80 satuan. Tentukanlah besar dan arah vektor asalnya.
2. Vektor A berada pada bidang xy positif. Besar vektor tersebut 100 satuan dan komponennya pada sumbu-y adalah 50 satuan. Tentukanlah:
   a. besar komponennya pada sumbu-x,
   b. berapakah sudut yang dibentuk oleh vektor A tersebut terhadap sumbu-x positif?
3. Seseorang mengendarai mobil pada lintasan yang lurus ke timur menempuh jarak sejauh 60 km. Selanjutnya, berbelok ke arah 37° antara timur dan selatan sampai menempuh jarak sejauh 50 km. Kemudian, berbelok lagi menuju ke barat hingga menempuh jarak 70 km.
   a. Gambarkan vektor-vektor perpindahannya pada koordinat kartesius dengan sumbu-x negatif menyatakan timur.
   b. Hitunglah resultan perpindahannya.
4. Tiga buah vektor masing-masing besarnya F_1 = 12 N, F_2 = 24 N, dan F_3 = 12 N, seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Tentukanlah resultan ketiga vektor tersebut.



Kerjakanlah

Uraikan Vektor-vektor yang terdapat pada gerakan bandul berikut.



Jika diketahui besarnya T = 10 N, α = 37°, m = 10 kg, g = 10 m/s, dan F = 12 N (Hasil kali mg menghasilkan satuan newton (N)). Tentukanlah penjumlahan vektor dalam arah sumbu-x dan sumbu-y. Menurut Anda, supaya resultan vektor-vektor tersebut sama dengan nol, dengan tidak mengubah besarnya α dan g, berapakah nilai $\boldsymbol{T}$, $\boldsymbol{F}$, dan m yang harus diberikan? Gunakan konsep vektor untuk menjawabnya. Apa yang dapat Anda simpulkan? Diskusikan hasilnya bersama teman dan guru Anda, kemudian presentasikan di depan kelas.

Pembahasan Soal *SPMB*

Ditentukan dua buah vektor yang sama besarnya, yaitu *F*. Bila perbandingan antara besar jumlah dan selisih kedua vektor sama dengan $\sqrt{3}$ maka sudut yang dibentuk kedua vektor tersebut adalah ....

a. 30°
b. 37°
c. 45°
d. 60°
e. 120°

Penyelesaian

Diketahui dua buah vektor besarnya = *F*

Besar jumlah vektor adalah

$$R_1 = \sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2 \cos\theta}$$

Besar selisih kedua vektor adalah

$$R_2 = \sqrt{F^2 + F^2 - 2F^2 \cos\theta}$$

Jika perbandingan nilai R_1 dan R_2 adalah $\sqrt{3}$ maka sudut θ dapat dihitung sebagai berikut

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{3}$$

$$\frac{\sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2 \cos\theta}}{\sqrt{F^2 + F^2 - 2F^2 \cos\theta}} = \sqrt{3}$$

$$\frac{2F^2 + 2F^2 \cos\theta}{2F^2 - 2F^2 \cos\theta} = 3$$

$$2F^2 + 2F^2 \cos\theta = 6F^2 - 6F^2 \cos\theta$$

$$8F^2 \cos\theta = 4F^2$$

$$\cos\theta = \frac{1}{2}$$

$$\theta = 60°$$

Jawab: d

SPMB 2002

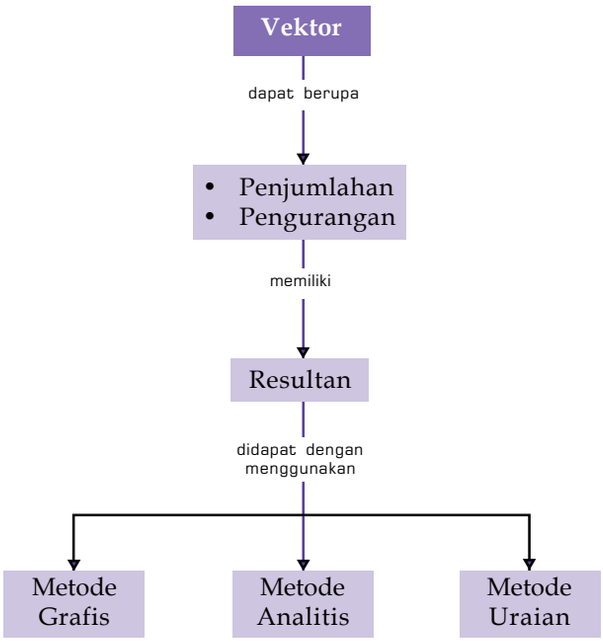
Rangkuman

1. **Besaran skalar** adalah besaran yang memiliki nilai saja (contoh: jarak, laju, luas, volume, suhu, dan energi).
2. **Besaran vektor** adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. (contoh: perpindahan, kecepatan, percepatan, dan gaya).
3. Notasi atau simbol sebuah vektor dapat menggunakan satu atau dua huruf dengan tanda panah di atasnya atau dengan dicetak tebal.
4. **Penjumlahan vektor** dapat menggunakan metode grafis, analitis, poligon, dan ukuran.
5. Jika dua buah vektor membentuk sudut α, resultan dan selisih keduanya dapat dihitung dengan persamaan:

$$|\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\alpha}$$

$$|\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}| = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\alpha}$$

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Vektor, Anda dapat melakukan penjumlahan vektor. Jika Anda belum mampu melakukan penjumlahan vektor, Anda belum menguasai materi bab Vektor dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

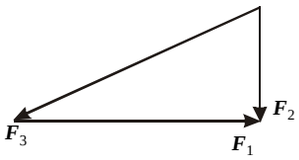
Evaluasi Materi Bab 2

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

1. Besaran-besaran di bawah ini yang bukan termasuk besaran vektor adalah ....
   a. energi
   b. kecepatan
   c. gaya
   d. momentum
   e. percepatan

2. Besaran-besaran di bawah ini yang bukan termasuk besaran skalar adalah ....
   a. massa
   b. waktu
   c. suhu
   d. kecepatan
   e. massa jenis

3. Perhatikan gambar berikut.

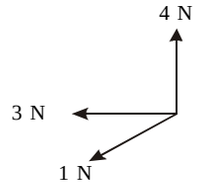


   Tiga buah gaya F_1, F_2, dan F_3 memiliki arah dan besar seperti pada gambar berikut ini. Hubungan yang benar untuk ketiga gaya tersebut adalah ....
   a. $F_1 + F_2 = F_3$
   b. $F_2 + F_3 = F_1$
   c. $F_1 + F_3 = F_2$
   c. $F_1 + F_2 = F_3 = 0$
   d. $F_1 = F_3 = F_2$

4. Dua vektor besarnya masing-masing 6 satuan dan 8 satuan. Besarnya vektor resultan yang tidak mungkin adalah ....
   a. 14 satuan
   b. 2 satuan
   c. 10 satuan
   d. 9 satuan
   e. 1 satuan

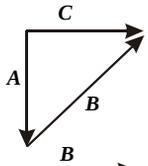
5. Sebuah gaya yang besarnya F memiliki komponen vektor pada sumbu-x dan sumbu-y yang besarnya sama. Sudut antara kedua vektor tersebut pada sumbu horizontal adalah ....
   a. 30°
   b. 45°
   c. 60°
   d. 90°
   e. 0°

6. Perhatikan gambar berikut.

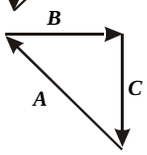


   Pada gambar tersebut, terdapat tiga buah vektor. Manakah kemungkinan arah vektor resultannya?
   a.
   b.
   c.
   d.
   e.

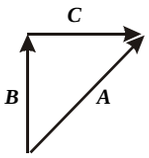
7. Dari gambar-gambar berikut, yang menunjukkan besar vektor $A = B - C$ adalah ....
   a.



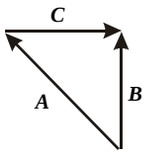
   b.



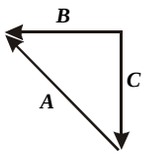
   c.



   d.



   e.



8. Apabila besar resultan dan selisih dua buah vektor adalah sama maka sudut apit kedua vektor tersebut adalah ....
   a. 0°
   b. 60°
   c. 90°
   d. 120°
   e. 180°

9. Dua buah vektor memiliki besar yang sama, yakni F. Jika besar resultan kedua vektor itu sama dengan F, besar sudut apitnya adalah ....
   a. 30°
   b. 45°
   c. 60°
   d. 90°
   e. 120°

10. Dua buah vektor gaya yang besarnya sama, yakni 40 N memiliki sudut apit 120°. Selisih vektor tersebut adalah ....
    a. $2\sqrt{3}$ N
    b. $4\sqrt{3}$ N
    c. $16\sqrt{3}$ N
    d. $32\sqrt{3}$ N
    e. $40\sqrt{3}$ N

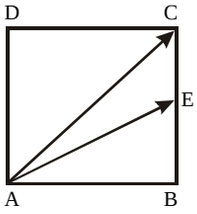
11. Dua buah vektor masing-masing besarnya 5 satuan dan 12 satuan dan satu sama lain berlawanan arah. Selisih kedua vektor tersebut adalah ....
    a. 7 satuan
    b. 12 satuan
    c. 17 satuan
    d. 30 satuan
    e. 60 satuan

12. Dari kumpulan vektor-vektor berikut, kumpulan vektor yang tidak pernah menghasilkan resultan sama dengan nol adalah ....
    a. 5 N, 5 N, 5 N, 5 N
    b. 5 N, 10 N, 15 N, 20 N
    c. 5N, 5N, 40N, 40 N
    d. 10 N, 15 N, 20 N, 45 N
    e. 5 N, 5 N, 10N, 25 N

13. Diketahui dua buah vektor besarnya sama. Jika perbandingan antara selisih dan resultan kedua vektor tersebut sama dengan 1, sudut apit antara kedua vektor tersebut adalah ....
    a. 30°
    b. 45°
    c. 60°
    d. 90°
    e. 120°

14. Jika resultan dua buah vektor sama besar dengan vektor pertama dan kedua, besarnya sudut yang diapit oleh kedua vektor pertama dengan vektor kedua adalah ....
    a. 30°
    b. 45°
    c. 60°
    d. 90°
    e. 120°

15. Perhatikan gambar berikut.



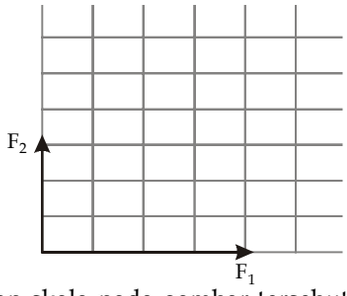
    Persegi ABCD panjang sisi-sisinya 10 cm. Titik E membagi BC menjadi 2 bagian yang sama. Panjang resultan vektor ***AC*** dengan ***AE*** adalah ....
    a. $10\sqrt{2}$ cm
    b. 20 cm
    c. 25 cm
    d. $25\sqrt{2}$ cm
    e. $15\sqrt{2}$ cm

16. Dua vektor ***a*** dan ***b*** berimpit dan searah. Resultan kedua vektor tersebut besarnya adalah ....
    a. $\left(a^2+b^2\right)^{\frac{1}{2}}$
    b. $\left(a^2+ab^2+b^2\right)^{\frac{1}{2}}$
    c. $(a+b)$
    d. $\left(a^2-2ab^2+b^2\right)^{\frac{1}{2}}$
    e. $(a-b)$

17. Dua buah vektor A = 10 cm dan B = 10 cm mengapit sudut 90°. Resultan kedua vektor tersebut adalah ....
    a. $5\sqrt{2}$ cm
    b. $10\sqrt{2}$ cm
    c. $20\sqrt{2}$ cm
    d. $30\sqrt{2}$ cm
    e. $40\sqrt{2}$ cm

18. Dua buah vektor gaya memiliki besar yang sama, yaitu 10 N. Perbandingan antara resultan dan selisih kedua vektor adalah $\sqrt{3}$. Besar sudut apit kedua vektor gaya ini adalah ....
    a. 30°
    b. 37°
    c. 35°
    d. 60°
    e. 90°

19. Perhatikan gambar berikut.

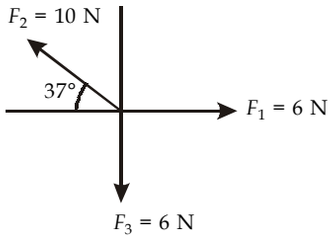


    Jika tiap skala pada gambar tersebut sama dengan 2 N, resultan kedua gaya tersebut adalah ....
    a. 4 N
    b. 6 N
    c. 8 N
    d. 10 N
    e. 12 N

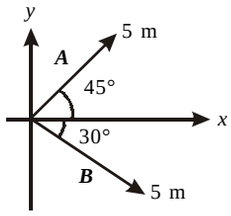
20. Sebuah vektor gaya F = $20\sqrt{3}$ N membentuk sudut 60° terhadap sumbu-x. Besar komponen vektor pada sumbu-y adalah ....
    a. $10\sqrt{3}$ N
    b. 20 N
    c. $10\sqrt{6}$ N
    d. 30 N
    e. 60 N

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

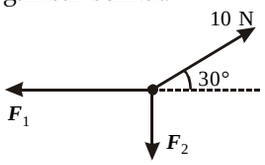
1. Pada sebuah benda bekerja dua buah vektor gaya, masing-masing $F_1 = 6$ N arah horizontal dan $F_2 = 8$ N membentuk sudut 60° terhadap F_1. Berapakah resultan kedua vektor tersebut?
2. Sebuah perahu hendak menyeberangi sungai. Kecepatan perahu 10 m/s dan diarahkan 60° terhadap arus sungai yang kecepatannya 6 m/s. Hitunglah:
   a. kecepatan resultan perahu, dan
   b. jarak yang ditempuh jika perahu tersebut tiba di seberang dalam waktu 50 sekon.
3. Sebuah mobil bergerak 20 km ke utara, 40 km ke timur, kemudian 25 km kembali ke barat. Tentukanlah resultan perpindahannya.
4. Perhatikan gambar berikut.



   Tentukanlah resultan ketiga vektor gaya pada gambar tersebut.
5. Diketahui dua buah vektor gaya besarnya sama. Jika resultan kedua vektor tersebut dibandingkan dengan selisih kedua vektor akan menghasilkan $\frac{1}{2}$, tentukanlah sudut apit yang dibentuk.
6. Vektor $\boldsymbol{F}_1$ dan $\boldsymbol{F}_2$ yang saling tegak lurus menghasilkan resultan 20 N dan membentuk sudut 30° terhadap $\boldsymbol{F}_1$. Berapa nilai vektor $\boldsymbol{F}_1$?
7. Perhatikan gambar berikut.



   Tentukanlah besar resultan dari penjumlahan dan pengurangan vektor tersebut dengan menggunakan metode grafis.
   a. $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}$
   b. $\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}$
   c. $2\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}$
   d. $2\boldsymbol{B} - \boldsymbol{A}$
   e. $2\boldsymbol{A} - 3\boldsymbol{B}$
8. Perhatikan gambar berikut.



   Tentukan besar $\boldsymbol{F}_1$ dan $\boldsymbol{F}_2$ dari ketiga vektor gaya yang menyebabkan keseimbangan.
9. Hitunglah sudut apit, jika memenuhi persamaan berikut $|\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2| = 2|\boldsymbol{F}_1 - \boldsymbol{F}_2|$ dan $\boldsymbol{F}_1 = 3\boldsymbol{F}_2$.
10. Jika $\boldsymbol{F}_2 = 3\boldsymbol{F}_1$, hitunglah perbandingan $\frac{\boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_1}{\boldsymbol{F}_2 - \boldsymbol{F}_1}$ dari kedua vektor gaya tersebut yang membentuk sudut 60°.

Sumber: *www.a1-teamindonesia.com*

Bab 3

Gerak dalam Satu Dimensi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep dan prinsip kinematika dan dinamika benda titik dengan cara menganalisis besaran Fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan.

Pernahkah Anda melihat atau mengamati pesawat terbang yang mendarat di landasannya? Berapakah jarak tempuh hingga pesawat tersebut berhenti? Ketika Anda menjatuhkan sebuah batu dari ketinggian tertentu, berapa waktu yang dibutuhkan hingga mencapai permukaan tanah? Semua pertanyaan tersebut berhubungan dengan gerak yang akan dibahas dalam bab ini.

Dalam bab ini, Anda akan mempelajari gerak satu dimensi tanpa mempedulikan penyebabnya atau disebut dengan gerak lurus. Sebagai contoh, sebuah mobil yang bergerak pada lintasan yang licin dengan kecepatan tertentu. Anda dapat menentukan seberapa cepat mobil tersebut melaju dan seberapa jauh jarak yang dapat ditempuh dalam selang waktu tertentu. Untuk lebih mempermudah dalam memahami materi gerak dalam satu dimensi, pelajari bahasan-bahasan dalam bab ini dengan saksama.

A. Jarak dan Perpindahan
B. Kelajuan dan Kecepatan
C. Gerak Lurus Beraturan (GLB)
D. Percepatan
E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Soal *Prameteri*

1. Jelaskan apa yang Anda ketahui mengenai gerak.
2. Dalam kondisi bagaimana suatu benda dikatakan bergerak lurus?
3. Apakah yang Anda ketahui mengenai kecepatan, kelajuan, jarak, perpindahan, percepatan, dan perlajuan? Jelaskan.

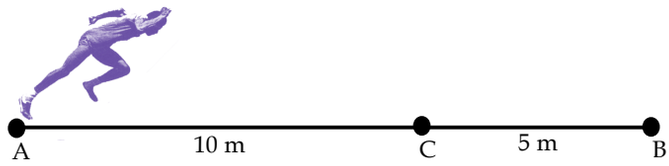
Sebenarnya, semua benda yang ada di alam semesta dapat dianggap sebagai sebuah benda titik atau disebut partikel. Ukuran sebuah partikel tidak memiliki batas, yang artinya semua benda termasuk Bumipun dapat dianggap sebagai partikel jika dilihat dari galaksi yang jauh. Jadi, ketika mempelajari bab ini, Anda dapat menggunakan partikel sebagai model untuk benda yang bergerak jika efek dari rotasi dan perubahan bentuk benda dapat diabaikan.

Sebelum Anda dapat menerangkan gerak dari sebuah partikel, ada baiknya Anda mengenal terlebih dahulu besaran fisik perpindahan, kecepatan, dan perpindahan. Setelah itu, Anda dapat memperluas ilmu Anda mengenai gerak dari sebuah partikel dalam bidang vertikal. Dalam bab ini, semua variabel dituliskan dalam bentuk skalar sehingga variabel yang termasuk besaran vektor dapat dianggap sebagai besarnya saja.

A Jarak dan Perpindahan

Ingatlah ketika Anda pergi ke sekolah melewati jalan yang biasa Anda lewati. Tahukah Anda, berapa jauhkah jarak yang telah Anda tempuh dari rumah hingga ke sekolah Anda? Berapakah perpindahannya? Ke manakah arahnya? Mungkin jawabannya akan berbeda-beda antara Anda dan teman Anda. Akan tetapi, tahukah Anda maksud dari jarak dan perpindahan tersebut?

Jarak dan perpindahan adalah besaran Fisika yang saling berhubungan dan keduanya memiliki *dimensi yang sama*, tetapi memiliki makna fisis yang berbeda. Jarak merupakan besaran skalar, sedangkan perpindahan merupakan *besaran vektor*. Perhatikan **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1
Perpindahan Roni yang sedang berlari.

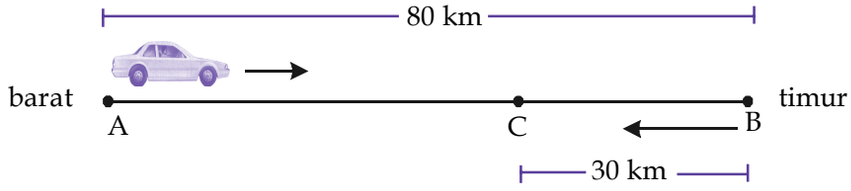
Roni berlari dari A ke B, kemudian berbalik ke arah C. Jarak yang ditempuh oleh Roni adalah panjang lintasan dari A ke B, yakni 15 m, kemudian ditambah dari B ke C, yakni 5 m sehingga jarak total yang ditempuh adalah 20 m. Jarak yang dimaksud di sini adalah panjang lintasan yang dilalui Roni dan tidak bergantung ke mana arah Roni berlari. Bagaimana dengan perpindahannya? Perpindahan Roni adalah dari A ke C. Mengapa demikian? Seperti yang telah dipelajari sebelumnya, perpindahan merupakan besaran vektor sehingga perpindahan Roni hanya dilihat dari perubahan kedudukannya. Pertama di posisi A, kemudian berubah kedudukan akhirnya di C. Besarnya perpindahan Roni adalah 10 m dan arahnya dari A ke C.

Kata Kunci

- Jarak
- Perpindahan

Contoh 3.1

Sebuah mobil bergerak sejauh 80 km ke arah timur, kemudian berbalik arah sejauh 30 km ke arah barat.



Tentukanlah jarak dan perpindahan yang ditempuh mobil tersebut.

Jawab
Jarak yang ditempuh oleh mobil, yakni sebesar 80 km ke arah timur ditambah 30 km ke arah barat. Secara matematis, dapat ditulis

Jarak yang ditempuh = 80 km + 30 km = 110 km

Perpindahan mobil, yakni posisi awal (A) ke posisi akhir (C) dengan arah perpindahannya menuju arah timur. Besar perpindahannya adalah

Perpindahan = 80 km – 30 km = 50 km

Jadi, jarak yang ditempuh mobil itu adalah 110 km dan perpindahannya sejauh 50 km.

Soal Penguasaan *Materi* 3.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan antara jarak dan perpindahan.
2. Sebuah mobil bergerak sejauh 12 km ke utara, kemudian berbelok ke timur sejauh 5 km. Tentukanlah jarak dan perpindahan mobil tersebut.
3. Seorang pelari berlari sejauh 3 km ke timur, kemudian pelari tersebut belok ke selatan sejauh 4 km, lalu kembali ke posisi awalnya sejauh 5 km. Berapakah jarak dan perpindahan yang ditempuh pelari tersebut?
4. Sebuah pesawat yang membawa penumpang sebanyak 200 orang terbang ke utara sejauh 6 km, kemudian belok ke barat sejauh 4 km. Oleh karena terdapat kabut yang sangat tebal, pesawat tersebut kehilangan arah sehingga pesawat berbelok sejauh 3 km ke selatan. Tentukanlah jarak dan perpindahan yang telah ditempuh pesawat tersebut.
5. Andi berenang di sebuah kolam renang yang memiliki ukuran 10 m × 5 m. Andi hanya sanggup berenang 3,5 kali panjangnya. Berapakah perpindahan yang Andi tempuh?

B Kelajuan dan Kecepatan

Ketika Anda mengendarai sebuah mobil, pernahkah Anda memperhatikan jarum penunjuk pada *speedometer*? Menunjukkan nilai apakah yang tertera pada *speedometer* tersebut? Apakah kecepatan atau kelajuan? Dua besaran turunan ini sama jika dipandang dari segi satuan dan dimensi, tetapi arti secara fisisnya berbeda. Tahukah Anda di mana letak perbedaan fisisnya?

Kelajuan merupakan *besaran skalar*, sedangkan kecepatan merupakan *besaran vektor*. Nilai yang terbaca pada *speedometer* adalah nilai kelajuan sebuah mobil karena yang terbaca hanya nilainya, sedangkan arahnya tidak ditunjukkan oleh alat ukur tersebut.

Sumber: *www.thedentongarage.com*

Gambar 3.2
Speedometer sebagai alat ukur kelajuan.

1. Kelajuan Rata-Rata

Ketika Anda berlari pada suatu lintasan, pernahkah Anda merasakan bahwa waktu yang diperlukan untuk melewati lintasan tersebut berubah-ubah? Misalkan, Anda dapat menempuh jarak 120 meter dalam waktu 60 sekon, kemudian Anda mempercepat lari Anda sehingga dapat menempuh jarak 150 m dalam waktu 60 sekon. Karena energi Anda berkurang, Anda hanya mampu menempuh jarak 100 meter dalam waktu 120 sekon sampai Anda berhenti. Kelajuan rata-rata lari Anda adalah

$$\frac{120\,\text{m} + 150\,\text{m} + 100\,\text{m}}{60\,\text{s} + 60\,\text{s} + 120\,\text{s}} = \frac{370\,\text{m}}{240\,\text{s}} = 1{,}54\,\text{m/s}$$

Kelajuan lari rata-rata Anda adalah 1,54 m/s. Nilai kelajuan ini bukan kelajuan Anda setiap saat ketika berlari, melainkan rata-rata dari kelajuan yang Anda miliki selama proses berlari.

Kelajuan rata-rata adalah jumlah jarak yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Secara matematis, dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{Jumlah jarak yang ditempuh}}{\text{waktu tempuh}}$$

Kata Kunci

- Kecepatan rata-rata
- Kelajuan rata-rata

Dari persamaan kelajuan rata-rata menunjukkan bahwa tidak ada benda yang memiliki kelajuan yang tetap atau konstan. Sebuah benda hanya memiliki kelajuan rata-rata dari jumlah kelajuan yang dimilikinya dalam selang waktu tertentu.

2. Kecepatan Rata-Rata

Seperti pembahasan sebelumnya, kelajuan merupakan besaran skalar, sedangkan kecepatan merupakan besaran vektor. Perbedaan secara fisis ini berlaku juga pada kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata adalah besarnya perpindahan sebuah benda dalam selang waktu tertentu. Secara matematis persamaan kecepatan rata-rata dapat dituliskan sebagai berikut.

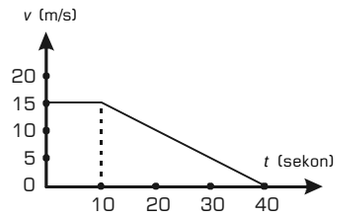
$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{selang waktu}}$$

atau

$$\boxed{\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}} \qquad (3\text{–}1)$$

Solusi Cerdas

Grafik berikut ini menunjukkan kecepatan benda yang bergerak lurus dalam selang waktu 40 sekon.



Jarak yang ditempuh benda tersebut adalah ....

a. 600 m
b. 450 m
c. 375 m
d. 300 m
e. 150 m

Penyelesaian

Jarak yang ditempuh benda sama dengan luas daerah pada grafik.

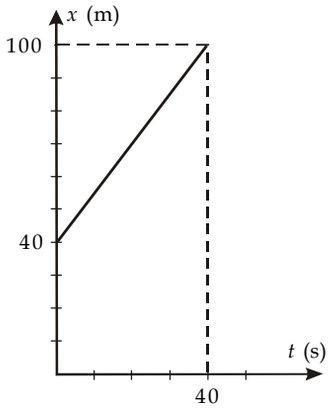
x = luas trapesium
= jumlah sisi yang sejajar × $\frac{1}{2}$ tinggi
= (40 + 10) $\left(\frac{1}{2} \times 10\right)$
= 375

Jawab: c

Ebtanas 1994/1995

Contoh 3.2

Tentukanlah kecepatan rata-rata benda jika diberikan data dalam grafik berikut ini.



Jawab

Posisi awal benda saat $t = 0$, yakni pada jarak 40 m dan berakhir di posisi 100 m pada waktu $t = 40$ sekon. Besarnya kecepatan rata-rata yang dimiliki benda tersebut, yakni sebagai berikut.

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

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{100\,\text{m} - 40\,\text{m}}{40\,\text{s} - 0\,\text{s}}$$

$$\bar{v} = \frac{60\,\text{m}}{40\,\text{s}} = 1{,}50\ \text{m/s}$$

Persamaan (3–1) berlaku juga untuk menentukan kecepatan rata-rata yang berbentuk persamaan dalam fungsi waktu. Misalkan, perpindahan sebuah benda dituliskan dalam persamaan $x(t) = at^2 + bt + c$ maka kecepatan rata-rata yang dimiliki benda tersebut adalah

$$\boxed{\bar{v} = \frac{x_n - x_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}} \qquad (3\text{–}2)$$

dengan x_n adalah perpindahan benda saat t_n, dan x_{n-1} adalah perpindahan benda saat t_{n-1}.

Contoh 3.3

Sebuah benda bergerak dengan mengikuti persamaan $x = 2t^2 + 4t - 2$. Diketahui x adalah perpindahan yang ditempuh benda (dalam meter) dan t adalah waktu tempuh (sekon). Tentukanlah kecepatan rata-rata pada saat $t = 1$ s dan $t = 2$ s.

Jawab

$x = 2t^2 + 4t - 2$

Perpindahan pada saat $t = 1$ s adalah

$x_1 = 2(1)^2 + 4(1) - 2 = 4$ m

Perpindahan pada saat $t = 2$ s adalah

$x_2 = 2(2)^2 + 4(2) - 2 = 14$ m

maka kecepatan rata-rata yang dimiliki benda tersebut adalah

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \rightarrow = \frac{(14 - 4)\text{ m}}{(2 - 1)\text{ s}} \rightarrow = 10\text{ m/s}$$

3. Kelajuan dan Kecepatan Sesaat

Ketika sebuah mobil bergerak dengan kelajuan tertentu, Anda dapat melihat besarnya kelajuan mobil tersebut pada *speedometer*. Kelajuan sebuah mobil dalam kenyataannya tidak ada yang konstan, melainkan berubah-ubah. Akan tetapi, Anda dapat menentukan kelajuan pada saat waktu tertentu. Kelajuan yang dimaksud adalah kelajuan sesaat. Kelajuan sesaat merupakan besaran skalar, sedangkan kecepatan sesaat merupakan besaran vektor. Oleh karena itu, kelajuan sesaat disebut juga sebagai nilai dari kecepatan sesaat.

Kelajuan atau kecepatan sesaat berlaku untuk Δt mendekati nilai nol. Umumnya, konsep kelajuan dan kecepatan sesaat digunakan pada kejadian yang membutuhkan waktu yang sangat pendek. Misalnya, kelajuan yang tertera pada speedometer. Kecepatan sesaat secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

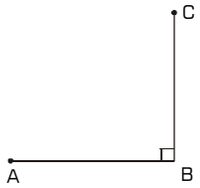
dengan Δt mendekati nol.

Karena Anda belum mendapatkan materi mengenai limit maka persamaan tersebut dapat ditulis

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (3\text{–}3)$$

Solusi Cerdas

Gambar berikut ini melukiskan perjalanan dari A ke C melalui B.



Jarak AB = 40 km ditempuh dalam waktu 0,5 jam, jarak BC = 30 km ditempuh dalam waktu 2 jam. Besarnya kecepatan rata-rata perjalanan itu adalah ....

A. 95 km/jam
B. 48 km/jam
C. 35 km/jam
D. 28 km/jam
E. 20 km/jam

Penyelesaian

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

Perpindahan, Δs

$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}$

$AC = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50$ km

$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{50\text{ km}}{2{,}5\text{ jam}} = 20$ km/jam

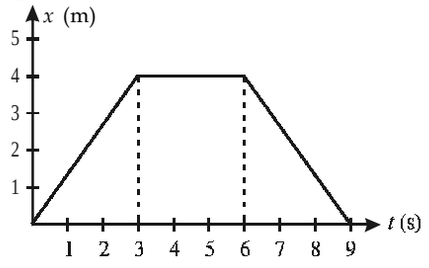
Jawab: e

Ebtanas 1996/1997

Soal Penguasaan *Materi* 3.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jarak Bandung–Jakarta adalah 180 km. Sebuah mobil mampu menempuh jarak tersebut dalam waktu 3 jam. Tentukanlah kelajuan rata-rata mobil tersebut.
2. Seorang atlet berlari pada sebuah lintasan berbentuk lingkaran dengan diameter 40 m. Atlet tersebut dapat menempuh 1,5 kali putaran dalam waktu 40 sekon. Berapakah kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata pelari tersebut?
3. Sebuah partikel bergerak dengan mengikuti persamaan $x = 5t^3 - 2t^2 + 1$ dengan s dalam meter dan t dalam sekon. Tentukanlah kecepatan rata-rata pada saat $t = 1$ sekon dan $t = 2$ sekon.
4. Sebuah partikel yang bergerak digambarkan seperti pada grafik berikut.



Tentukanlah kelajuan rata-rata partikel tersebut.

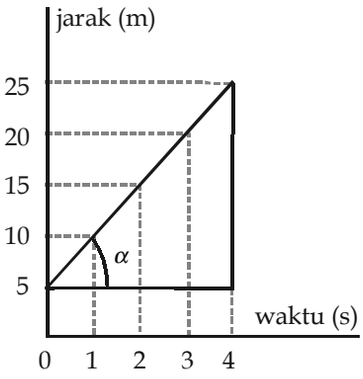
C Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Suatu benda dikatakan bergerak lurus beraturan jika lintasan yang dilalui benda tersebut berupa bidang lurus dan memiliki kecepatan yang tetap untuk setiap saat. Pada kenyataannya, gerak dengan kecepatan yang konstan sulit ditemukan. Untuk materi dalam bab ini, digunakan pengandaian yang lebih mendekati. Misalnya, sebuah kereta api yang bergerak pada lintasan rel yang lurus dan tanpa hambatan atau sebuah mobil yang bergerak di jalan tol bebas hambatan.

Untuk lebih memahami materi gerak lurus beraturan (GLB), perhatikan gerak seorang pelari dalam tabel berikut.

Tabel 3.1 Data Gerak Seorang Pelari

No.	Perpindahan	Waktu
1	5 m	0 sekon
2	10 m	1 sekon
3	15 m	2 sekon
4	20 m	3 sekon
5	25 m	4 sekon



Gambar 3.3
Grafik kecepatan rata-rata seorang pelari

Dari **Tabel 3.1**, dapat dibuat grafik seperti pada **Gambar 3.3**. Gambar tersebut menunjukkan nilai kecepatan rata-rata seorang pelari yang dimulai pada jarak awal 5 meter. **Gambar 3.3** menunjukkan sebuah grafik yang linear terhadap waktu. Kelinearan inilah yang menunjukkan bahwa gerak seorang pelari tersebut adalah lurus beraturan. Kecepatan rata-rata pelari tersebut dapat dihitung menggunakan **Persamaan (3–1)**.

$$\bar{v} = \frac{x_5 - x_0}{t_5 - t_0}$$

$$\bar{v} = \frac{(25-5)\,\text{m}}{(4-0)\,\text{s}} = 5\ \text{m/s}$$

atau dengan mencari kemiringan kurva akan didapatkan nilai kecepatan rata-rata yang sama.

$$\tan\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\,\text{m}}{4\ \text{s}} = 5\ \text{m/s}$$

Jadi, hubungan antara jarak, kecepatan, dan waktu dari sebuah benda yang bergerak lurus beraturan dapat dituliskan sebagai berikut

$$x = vt \qquad (3\text{–}4)$$

dengan x adalah jarak tempuh (m), v adalah kecepatan (m/s), dan t adalah waktu tempuh (s).

Perlu Anda Ketahui

Dalam suatu perjalanan, lazimnya Anda selalu menambah dan mengurangi kecepatan. Artinya, Kecepatan Anda tidak tetap. Jika demikian rumus $x = vt$ tidak berlaku lagi. Karena rumus tersebut hanya berlaku untuk kecepatan tetap. Oleh karena itu nilai v yang digunakan adalah nilai kecepatan sesaat. Tahukah Anda mengapa nilai kecepatan sesaat yang digunakan? Bukan nilai kecepatan rata-rata?

Contoh 3.4

Jarak kota Banda Aceh ke kota Medan adalah 420 km. Jarak tersebut dapat ditempuh dalam waktu 7 jam. Tentukanlah waktu yang diperlukan mobil tersebut untuk mencapai kota Pekanbaru yang memiliki jarak 900 km dari kota Banda Aceh.

Jawab

Diketahui: x_{BA-M} = 420 km,
t_{BA-M} = 7 jam, dan
s_{BA-P} = 200 km.

Kata Kunci

- Gerak lurus beraturan
- Kelajuan sesaat

$$v = \frac{x_{BA-M}}{t_{BA-M}} = \frac{420\text{km}}{7\text{jam}} = 60 \text{ km/jam}$$

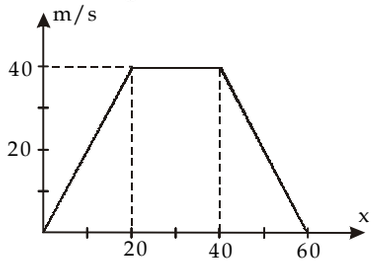
Waktu yang ditempuh ke kota Pekanbaru oleh mobil tersebut adalah

$$t_{BA-P} = \frac{x_{BA-P}}{v} = \frac{900 \text{ km}}{60 \text{ km/jam}} = 15 \text{ jam}$$

Soal Penguasaan *Materi* 3.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah kereta api meninggalkan stasiun dan bergerak menuju stasiun lain dengan kecepatan 72 km/jam dalam waktu 2 jam. Kemudian, kereta itu bergerak menuju stasiun berikutnya dengan kecepatan 53 km/jam dalam waktu 3 jam. Berapakah kecepatan rata-rata kereta api tersebut selama perjalanan?
2. Grafik berikut ini menunjukkan kecepatan sebuah pesawat Boeing 737-900 yang bergerak lurus beraturan dalam selang waktu 60 sekon.



   Tentukanlah perpindahan yang ditempuh pesawat tersebut.
3. Mobil pertama dapat menempuh jarak 180 km dengan kelajuan 60 km/jam. Mobil kedua mulai berangkat satu jam kemudian dan tiba di tempat tujuan dengan waktu yang bersamaan dengan mobil pertama. Tentukanlah kelajuan rata-rata mobil kedua.
4. Kereta api A dan B yang terpisah sejauh 6 km, bergerak berlawanan arah. Kecepatan setiap kereta api adalah 60 km/jam untuk kereta api A dan 40 km/jam untuk kereta api B. Tentukanlah kapan dan di mana kedua kereta api tersebut berpapasan?
5. Jarak dan waktu yang ditempuh seorang pelari dalam suatu perlombaan lari ditampilkan dalam tabel berikut.

No.	Jarak (m)	Waktu (s)
1	10	2
2	20	3
3	30	4
4	40	5
5	50	6

   a. Buatlah grafik jarak terhadap waktu.
   b. Tentukanlah kelajuan rata-rata pelari tersebut.

D Percepatan

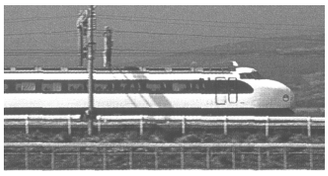
1. Percepatan Rata-Rata

Dalam kehidupan sehari-hari, sulit menemukan benda atau materi yang bergerak dengan kecepatan yang konstan. Sebuah benda yang bergerak cenderung dipercepat atau diperlambat gerakannya. Proses mempercepat dan memperlambat ini adalah suatu gerakan perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu atau disebut sebagai percepatan. Percepatan merupakan besaran vektor, sedangkan nilainya adalah perlajuan yang merupakan besaran skalar. Secara matematis, percepatan dan perlajuan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Percepatan, } \bar{a} = \frac{\text{perubahan kecepatan } (\Delta v)}{\text{selang waktu } (\Delta t)} \text{ atau}$$

Jelajah Fisika

Peluru Jepang



Kereta api memerlukan tenaga jauh lebih sedikit daripada mobil untuk mengangkut penumpang. Banyak kereta api modern berupa kereta listrik, tetapi dayanya tetap berasal dari mesin kalor. Kereta api ini, dikenal dengan nama "*Bullet*" (peluru). Kereta ini melakukan perjalanan antara Tokyo dan Osaka di atas jaringan rel kereta api berkecepatan tinggi Shinkansen, yang dibangun pada awal 1960-an untuk memberikan pelayanan cepat kepada penumpangnya. Kecepatan puncaknya adalah 210 km per jam dan kereta ini berjalan di atas jalur yang dibangun khusus.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad (3\text{–}5)$$

dengan v_2 adalah kecepatan pada saat t_2 dan v_1 adalah kecepatan pada saat t_1.

2. Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat dapat didefinisikan sebagai perubahan kecepatan pada saat selang waktu yang singkat. Seperti halnya kecepatan sesaat, percepatan sesaat terjadi dalam kejadian yang memiliki selang waktu yang sangat pendek atau mendekati nol.

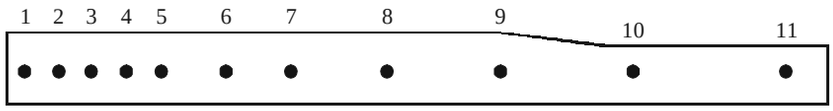
$$a = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ atau}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (3\text{–}6)$$

dengan Δt mendekati nilai nol.

Alat ukur yang dapat menentukan kecepatan sesaat dan percepatan sesaat adalah *ticker timer*. Hasil ketikan yang dilakukan *ticker timer* tersebut dapat menentukan gerakan yang dilakukan oleh sebuah benda. Hasil ketikan berupa titik-titik dengan jarak antartitik berbeda-beda. Perbedaan jarak antartitik menunjukkan bahwa benda tersebut sedang bergerak dipercepat atau diperlambat. Semakin besar jarak antartitik, semakin besar percepatan yang dilakukan oleh sebuah benda. Semakin pendek jarak antartitik, semakin besar perlambatan yang dilakukan oleh sebuah benda hingga benda tersebut berhenti. Jika jarak antartitik tetap, berarti benda tidak melakukan percepatan maupun perlambatan, melainkan memiliki kecepatan yang konstan.

Perhatikan **Gambar 3.4**. Alat pewaktu ketik, *ticker timer,* memberikan data kecepatan sebuah benda yang bergerak. Dari waktu pertama hingga waktu keempat, kecepatan benda tersebut adalah konstan, kemudian mulai waktu kelima hingga waktu kesebelas, benda tersebut mengalami percepatan, hal ini dapat dilihat dari jarak antara titik yang semakin membesar.



Gambar 3.4
Contoh ilustrasi data kecepatan yang ditunjukkan alat pewaktu ketik (*ticker timer*).

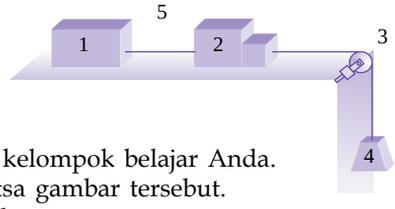
Anda dapat mencoba pengukuran kecepatan sebuah benda menggunakan alat ini di rumah atau di sekolah. Anda dapat mengikuti prosedur yang dijelaskan pada penelitian berikut.

Mahir Meneliti

Memahami Terjadinya Percepatan dari Sebuah Benda

Alat dan Bahan

1. *ticker timer*
2. kereta dinamik
3. katrol
4. beban
5. pita ketik



Prosedur

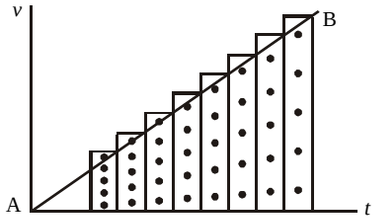
Lakukanlah kegiatan berikut bersama dengan kelompok belajar Anda.

1. Susunlah alat dan bahan seperti pada sketsa gambar tersebut.
2. Biarkan beban dan kereta dinamik bergerak.
3. Lihat hasil ketikan pada pita ketik.

Kata Kunci

- Percepatan
- Percepatan sesaat
- Perlajuan
- *Ticker timer*

4. Potong pita hasil ketikan, setiap potong terdapat 5 titik ketikan, lalu buatlah grafik seperti gambar berikut.

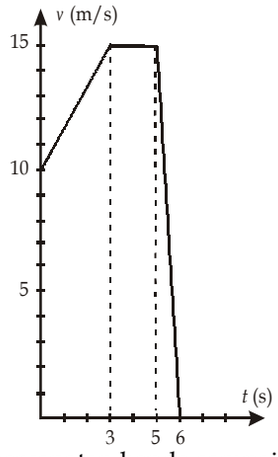


5. Dengan menggunakan **Persamaan (3–5)** dan **(3–6)**, tentukanlah percepatan rata-rata dan percepatan sesaat setiap selang waktu.
6. Catat hasil yang diperoleh dalam bentuk tabel pada buku Anda. Apa yang dapat Anda simpulkan? Laporkanlah hasil penelitian ini kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas

Soal Penguasaan *Materi* 3.4

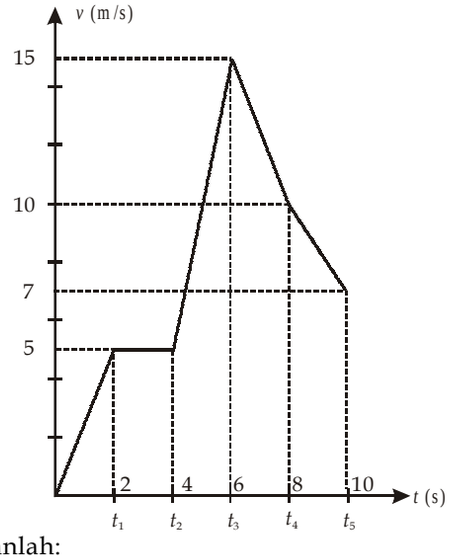
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Setelah 10 sekon, kecepatan mobil berubah menjadi 30 m/s. Berapakah percepatan mobil tersebut?
2. Berikut adalah grafik kecepatan (v) terhadap waktu dari sebuah benda.



Tentukanlah percepatan benda sampai t = 6 sekon.

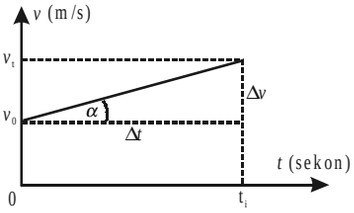
3. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 20 m/s. Tiba-tiba, mobil itu direm sehingga dalam dua sekon kemudian, kecepatannya tinggal 10 m/s. Tentukanlah:
   a. waktu henti mobil,
   b. jarak berhenti dari posisi awal, dan
   c. perlambatan yang dialami mobil.
4. Sebuah benda bergerak melalui suatu lintasan yang lurus. Dalam grafik berikut, digambarkan bagaimana kecepatan benda (v) berubah terhadap waktu.



Tentukanlah:
   a. percepatan benda, dan
   b. waktu ketika percepatan benda tersebut memiliki nilai harga yang terbesar.
5. Kecepatan sebuah truk bertambah secara beraturan dari 36 km/jam menjadi 108 km/jam dalam waktu 20 sekon. Tentukanlah kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata dari truk tersebut.

E Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Setelah Anda mempelajari materi mengenai gerak lurus beraturan, Anda tentu harus mengetahui bahwa tidak ada benda yang selalu dapat bergerak dengan kecepatan konstan. Sebuah benda yang bergerak tidak selalu memiliki kecepatan yang konstan dan lintasan yang lurus. Dalam kehidupan sehari-hari, setiap benda cenderung untuk mempercepat dan memperlambat secara tidak beraturan.



Gambar 3.5
Grafik kecepatan terhadap waktu untuk gerak lurus berubah beraturan.

Gerak lurus yang memiliki kecepatan berubah secara beraturan disebut gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Benda yang bergerak berubah beraturan dapat berupa bertambah beraturan (dipercepat) atau berkurang beraturan (diperlambat). Jika Anda perhatikan **Gambar 3.5**, akan diperoleh sebuah persamaan percepatan, yaitu besarnya tangen α.

Dari persamaan percepatan rata-rata, diperoleh

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

dengan $\Delta v = v_t - v_0$, v_t adalah kecepatan akhir, v_0 adalah kecepatan awal dan $\Delta t = t - t_0$. Oleh karena $t_0 = 0$

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

Dengan mengalikan silang persamaan tersebut, akan diperoleh persamaan baru

$$at = v_t - v_0 \quad \text{atau}$$

$$\boxed{v_t = v_0 + at} \qquad (3\text{–}7)$$

dengan v_t = kecepatan akhir, v_0 = kecepatan awal, a = percepatan, dan t = waktu.

Contoh 3.5

Sebuah mobil bergerak dipercepat dari keadaan diam. Jika percepatan mobil 20 m/s^2, tentukanlah kecepatan mobil tersebut setelah 5 sekon.

Jawab

Diketahui: v_0 = 0 (posisi awal diam),
a = 20 m/s^2, dan
t = 5 sekon.

Dengan menggunakan **Persamaan (3–7)**, diperoleh

$v_t = v_0 + at$
$v_t = 0 + 20 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ s}$
$v_t = 100 \text{ m/s}$

Untuk memperoleh besar perpindahan, dapat ditentukan dari persamaan kecepatan rata-rata.

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

$$x - x_0 = \bar{v}(t - t_0)$$

dengan $\bar{v}$ adalah kecepatan rata-rata, yakni $\frac{1}{2}(v_0 + v_t)$ sehingga

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)(t - t_0)$$

t_0 dapat diabaikan karena $t_0 = 0$ maka

$$\boxed{x = x_0 + \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t} \qquad (3\text{–}8)$$

Substitusikan **Persamaan (3–7)** ke dalam **Persamaan (3–8)**, diperoleh

$$x = x_0 + \frac{1}{2}(v_0 + v_0 + at)t$$

$$\boxed{x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2} \qquad (3\text{–}9)$$

dengan x_0 adalah posisi awal pada saat t = 0.

Contoh 3.6

Tonton Suprapto atlet balap sepeda Jawa Barat dapat mengayuh sepedanya dengan kecepatan awal 10 km/jam pada suatu perlombaan. Atlet tersebut dapat mencapai garis *finish* dalam waktu 2 jam dengan percepatan 20 km/jam^2. Tentukanlah panjang lintasan yang ditempuh atlet tersebut.

Jawab

Diketahui: v_0 = 10 km/jam,
a = 20 km/jam^2, dan
t = 2 jam.

Perlombaan dimulai dari posisi awal *start* sehingga $x_0 = 0$. Dengan menggunakan **Persamaan (3–9)**, diperoleh

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

$x = 10 \text{ km/jam} \times 2 \text{ jam} + \frac{1}{2} \times 20 \text{ km/jam}^2 \times (2 \text{ jam})^2$

$x = 20 \text{ km} + 40 \text{ km}$

$x = 60 \text{ km}$

Jadi, jarak yang ditempuh atlet selama perlombaan adalah 60 km.

Jika pada **Persamaan (3–7)** diubah menjadi persamaan waktu, diperoleh

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} \qquad (3\text{–}10)$$

Persamaan (3–10) disubstitusikan ke dalam **Persamaan (3–9)** maka

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

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

$$\Delta x = \frac{v_t v_0 - v_0^2}{a} + \frac{v_t^2 - 2v_t v_0 + v_0^2}{2a^2}$$

$$\Delta x = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$$

sehingga menghasilkan persamaan baru,

$$v_t^2 - v_0^2 = 2a\,\Delta x$$

atau

$$v_t^2 = v_0^2 + 2a\,\Delta x \qquad (3\text{–}11)$$

Contoh 3.7

Sebuah benda bergerak dengan percepatan 8 m/s^2. Jika kecepatan awal benda 6 m/s, tentukanlah kecepatan benda setelah menempuh jarak 4 m.

Jawab

Diketahui: a = 8 m/s^2,
v_0 = 6 m/s,
x = 4 m, dan
x_0 = 0.

Dengan menggunakan **Persamaan (3–11)**, diperoleh

$v_t^2 = v_0^2 + 2a\,(x_t - x_0)$

$= (6 \text{ m/s})^2 + 2\,(8 \text{ m/s}^2)(4 \text{ m} - 0)$

$= 36 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 64 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Solusi Cerdas

Suatu benda jatuh bebas dari ketinggian tertentu. Apabila gesekan benda dengan udara diabaikan, kecepatan benda pada saat menyentuh tanah ditentukan oleh ....

a. massa benda dan ketinggiannya
b. percepatan gravitasi bumi dan massa benda
c. ketinggian benda jatuh dan gravitasi bumi
d. waktu jatuh yang diperlukan dan berat benda
e. kecepatan awal benda dan gravitasi bumi.

Penyelesaian

$v^2 = v_0^2 + 2gh$, $v_0 = 0$

$v = \sqrt{2gh}$

Kecepatan pada saat menyentuh tanah dipengaruhi oleh gravitasi bumi dan ketinggian benda pada saat jatuh.

Jawab: c

Ebtanas 1994

$v_t = \sqrt{36\,m^2/s^2 + 64\,m^2/s^2}$

$v_t = 10$ m/s

Jadi, kecepatan akhir benda setelah menempuh jarak 4 m adalah 10 m/s.

1. Gerak Vertikal ke Bawah

Setiap benda yang dilepas dari suatu ketinggian tertentu dekat permukaan Bumi, akan jatuh ke permukaan Bumi. Hal ini terjadi karena terdapat medan gravitasi Bumi yang menyebabkan benda selalu jatuh ke permukaan Bumi. Benda yang jatuh secara vertikal dapat memiliki kecepatan konstan jika hambatan udara dapat diabaikan. Benda yang jatuh dapat memiliki kecepatan awal ataupun tidak. Benda yang tidak memiliki kecepatan awal ($v = 0$) disebut benda bergerak jatuh bebas. Anda akan dapat lebih memahami pergerakan benda tanpa kecepatan awal dengan mempelajari contoh soal berikut.

Contoh 3.8

Sebuah benda dijatuhkan dari sebuah gedung yang memiliki ketinggian 45 m ($g = 10$ m/s^2). Tentukan:
a. waktu tempuh benda hingga mencapai tanah, dan
b. kecepatan saat menyentuh tanah.

Jawab

Diketahui: $y_0 = 45$ m, dan
$g = 10$ m/s^2.

Oleh karena gerak jatuh bebas bergerak secara vertikal, perpindahan disimbolkan dengan y dan y_0, yang diambil dalam koordinat kartesius dalam arah vertikal. Selanjutnya, percepatan diubah menjadi percepatan gravitasi (g) karena percepatan yang dialami selama gerak jatuh bebas adalah percepatan gravitasi.

a. Dengan menggunakan **Persamaan (3–9)**, diperoleh

$$y = y_0 + \frac{1}{2}gt^2$$

Oleh karena $y = 0$ (tiba di tanah) dan $v_0 = 0$, persamaan tersebut menjadi

$$-y_0 = \frac{1}{2}gt^2$$

$$t^2 = \frac{-2y_0}{g}$$

Nilai waktu tidak ada yang negatif sehingga pada persamaan tersebut diberikan harga mutlak.

$$t = \sqrt{\left|\frac{-2y_0}{g}\right|} = \sqrt{\frac{2\times 45}{10}}$$

$$t = \sqrt{9} = 3 \text{ sekon}$$

b. Dengan menggunakan **Persamaan (3–7)**, diperoleh

$v_t = gt;\ v_0 = 0$

$v_t = 10$ m/s^2 × 3 s = 30 m/s

atau dapat pula menggunakan **Persamaan (3–11)**, yakni

$v_t^2 = 2g\,\Delta y$

$v_t = \sqrt{2g\,\Delta y} = \sqrt{2\times 10\ m/s^2 \times 45\ m} = 30$ m/s

Loncatan Kuantum

Untuk melepaskan diri dari gravitasi Bumi, sebuah roket luar angkasa harus menjangkau kecepatan yang tinggi, yakni di atas 11 km/s (lebih dari 40.000 km/jam)

Quantum Leap

For a space rocket to escape from the earth's gravity it has to reach the phenomenal speed of just over 11 km/s (more than 40.000 km/h)

Sumber: *Science Encylopedia*, 1991

Gerak vertikal ke bawah yang memiliki kecepatan awal dapat Anda temukan contohnya dalam kehidupan sehari-hari misalnya, Anda melemparkan sebuah benda dari gedung bertingkat. Benda akan memiliki kecepatan awal dari hasil lemparan Anda. Dapatkah Anda memberikan contoh gerak vertikal kebawah lainnya dalam kehidupan sehari-hari? Perhatikan contoh soal berikut.

Contoh 3.9

Sebuah benda dilemparkan dari sebuah gedung yang tingginya 20 m. Benda tersebut tiba di tanah pada selang waktu 5 sekon (g = 10 m/s^2). Tentukanlah kecepatan yang diberikan kepada benda tersebut.

Jawab

Diketahui: Δy = 20 m, dan
t = 5 sekon.

Dengan menggunakan **Persamaan (3–9)**, diperoleh

$$\Delta y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_0 = \frac{\Delta y - \frac{1}{2} g t^2}{t} = \frac{20\text{m} - \frac{1}{2} \times 10\text{m/s}^2 \times (5s)^2}{5\text{s}}$$

$$v_0 = -21 \text{ m/s}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa kecepatan bergerak ke bawah. Soal ini dapat diselesaikan juga dengan menggunakan dua persamaan lainnya. Coba Anda kerjakan di dalam buku latihan Anda.

2. Gerak Vertikal ke Atas

Coba Anda lemparkan sekeping uang logam ke atas atau air mancur di taman yang meluncur. Amati apa yang terjadi pada uang logam dan air mancur tersebut. Mengapa ketika sekeping uang dilemparkan ke atas kecepatannya makin berkurang? Gerak yang Anda lakukan adalah gerak vertikal ke atas. Gerak ini memiliki kecepatan awal saat akan bergerak dan kecepatannya berkurang karena dipengaruhi oleh medan gravitasi Bumi. Pada titik tertinggi, benda berhenti sesaat sehingga nilai v_t = 0 dan benda akan jatuh secara bebas hingga benda tersebut mencapai tanah. Perhatikan contoh soal berikut.

Kata Kunci

- Jatuh bebas
- Gerak vertikal ke atas
- Gerak vertikal ke bawah

Contoh 3.10

Sebuah benda dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Tentukanlah:

a. waktu untuk mencapai tinggi maksimum, dan
b. tinggi maksimum.

Jawab

Diketahui: v_0 = 10 m/s.

a. Di titik tertinggi, kecepatan akhir v_t = 0 sehingga dengan menggunakan **Persamaan (3–7)**, diperoleh

$v_t = v_0 - gt$ (tanda minus menunjukkan bahwa gerak berlawanan arah dengan percepatan gravitasi Bumi)

$v_0 = gt$

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{10\text{m/s}}{10\text{m/s}^2}$$

= 1 sekon

b. Dengan mensubstitusikan nilai t pada jawaban (a) ke dalam **Persamaan (3–9)**, diperoleh

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2; \quad y_0 = 0$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = 10 \text{ m/s} \times 1 \text{ sekon} - \frac{1}{2} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1 \text{ s})^2$$

$$y = 5 \text{ m}$$

Soal Penguasaan *Materi* 3.5

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Ali mengendarai mobil dengan kecepatan awal 18 m/s. Kemudian, Ali menginjak rem dan mengalami perlambatan sebesar 2 m/s^2 hingga berhenti dalam waktu 20 sekon. Tentukanlah jarak total yang ditempuh mobil Ali.
2. Kelajuan sebuah kereta api berkurang secara beraturan dari 10 m/s menjadi 5 m/s. Jarak yang ditempuh kereta api tersebut adalah 250 m. Tentukanlah:
   a. perlambatan kereta api, dan
   b. jarak yang ditempuh kereta api sebelum berhenti.
3. Sebuah benda dijatuhkan dari sebuah pesawat udara yang berada 1 km di atas permukaan tanah (g = 10 m/s^2). Tentukanlah:
   a. waktu yang ditempuh benda hingga mencapai tanah, dan
   b. kecepatan akhir benda hingga mencapai tanah.
4. Sebuah benda jatuh bebas dari keadaan diam selama 6 sekon. Tentukanlah jarak yang ditempuh benda dalam 2 sekon terakhir.
5. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 500 m/s. Tentukanlah:
   a. tinggi maksimum, dan
   b. waktu yang diperlukan hingga mencapai tinggi maksimum.

Pembahasan Soal *SPMB*

Sebuah mobil mula-mula diam. Kemudian, mobil tersebut dihidupkan dan mobil bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s^2. Setelah mobil bergerak selama 10 s mesinnya dimatikan sehingga mobil mengalami perlambatan tetap dan mobil berhenti 10 sekon kemudian. Jarak yang ditempuh mobil mulai dari saat mesin dimatikan sampai berhenti adalah ....

a. 210 m
b. 200 m
c. 195 m
d. 100 m
e. 20 m

Penyelesaian

Diketahui: a = 2 m/s^2,
t_1 = 10 s, dan
t_2 = 10 s.

Mobil bergerak mulai dari keadaan diam dengan percepatan 2 m/s^2. Kecepatan setelah 10 sekon, yakni

$$v_t = v_0 + at_1$$

Oleh karena mobil bergerak mulai dari keadaan diam, v_0 = 0 maka

$$v_t = 0 + 2 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ s}$$
$$v_t = 20 \text{ m/s}$$

Mesin mobil dimatikan dan berhenti setelah 10 sekon maka perlambatan mobil adalah

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

$$a = \frac{0 - 20 \text{ m/s}}{10 \text{ s}}$$

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

Tanda negatif menunjukkan bahwa mobil mengalami perlambatan. Mobil akan berhenti setelah 10 sekon dan menempuh jarak

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Oleh karena mobil bergerak mulai dari keadaan diam, x_0 = 0 maka

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

$$x = 20 \text{ m/s} \times 10 \text{ s} - \frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s}^2 \times (10 \text{ s})^2$$

$$x = 100 \text{ meter}$$

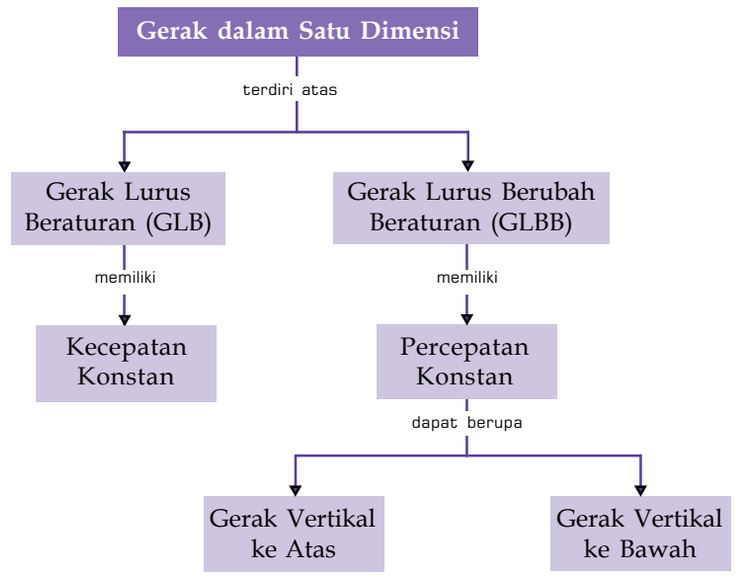
Jawab: d

SPMB 2002

Rangkuman

1. **Jarak** adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh sebuah partikel. Jarak termasuk besaran skalar, sedangkan **perpindahan** adalah perubahan kedudukan sebuah partikel dan termasuk besaran vektor.
2. **Kelajuan** adalah jarak yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. **Kelajuan** merupakan besaran skalar.
3. **Kecepatan** adalah perpindahan yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. **Kecepatan** merupakan besaran vektor.
4. Rumus **kecepatan rata-rata:**
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
5. **Percepatan** adalah perubahan kecepatan sebuah benda dalam selang waktu tertentu. **Percepatan** merupakan besaran vektor. Rumus **percepatan** rata-rata adalah
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
6. Sebuah benda dapat **bergerak lurus beraturan** (GLB) jika benda tersebut bergerak pada lintasan yang lurus dan memiliki kecepatan yang konstan. Rumus GLB adalah
$$x = vt$$
7. Sebuah benda dikatakan bergerak lurus berubah beraturan jika benda tersebut bergerak pada lintasan yang lurus dengan perubahan kecepatan yang teratur. Rumus GLBB adalah
$$v_t = v_0 + at$$
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$
$$v_t^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$
8. Sebuah benda dapat dikatakan bergerak vertikal jika benda tersebut bergerak lurus dalam arah vertikal, baik ke atas maupun ke bawah.
9. Sebuah benda dapat dikatakan jatuh bebas jika benda tersebut bergerak lurus dalam arah vertikal ke bawah yang tidak memiliki kecepatan awal atau $v_0 = 0$.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Gerak dalam Satu Dimensi, Anda dapat menganalisis besaran Fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan. Jika Anda belum mampu menganalisis besaran Fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan, Anda belum menguasai materi bab Gerak dalam Satu Dimensi dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 3

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

1. Sebuah mobil bergerak ke arah timur sejauh 80 km, kemudian berbalik arah sejauh 20 km ke arah barat. Jarak yang ditempuh mobil adalah ....
   a. 20 km
   b. 60 km
   c. 80 km
   d. 100 km
   e. 120 km

2. Sebuah pesawat bergerak ke arah timur sejauh 80 km, kemudian berbalik arah sejauh 20 km ke arah barat. Perpindahan yang ditempuh pesawat adalah ....
   a. 20 km
   b. 60 km
   c. 80 km
   d. 100 km
   e. 120 km

3. Seseorang berjalan sejauh 60 m ke timur dalam waktu 60 s, kemudian 20 m ke barat dalam waktu 40 s. Laju rata-rata dan kecepatan rata-rata orang tersebut adalah ....
   a. 0,2 m/s dan 0,8 m/s ke timur
   b. 0,8 m/s dan 0,2 m/s ke barat
   c. 0,3 m s dan 0,4 m/s ke timur
   d. 0,8 m/s dan 0,4 m/s ke timur
   e. 0,4 m/s dan 0,8 m/s ke barat

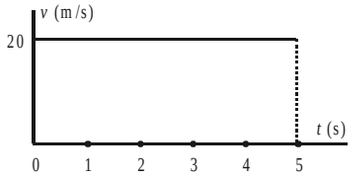
4. Sebuah mobil bergerak dengan persamaan sebagai berikut, $s = 2t^3 + 5t^2 + 5$, s dalam meter, t dalam sekon. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu antara 2 s dan 3 s adalah ....
   a. 12 m/s
   b. 27 m/s
   c. 31 m/s
   d. 54 m/s
   e. 63 m/s

5. Mobil bergerak dengan kecepatan awal 5 m/s. Setelah 5 sekon, kecepatannya berubah menjadi 20 m/s maka percepatan benda adalah ....
   a. 1 m/s^2
   b. 2 m/s^2
   c. 3 m/s^2
   d. 4 m/s^2
   e. 5 m/s^2

6. Mobil bergerak diperlambat dengan kecepatan berubah dari 25 m/s menjadi 5 m/s selama 4 sekon maka perlambatannya adalah ....
   a. 2 m/s^2
   b. –7,5 m/s^2
   c. 5 m/s^2
   d. –5 m/s^2
   e. 7,5 m/s^2

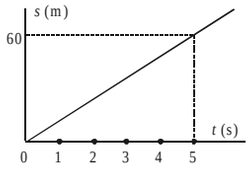
7. Sebuah benda bergerak lurus beraturan dalam waktu 10 sekon dan menempuh jarak 80 meter, kecepatan benda tersebut adalah ....
   a. 4 m/s
   b. 6 m/s
   c. 8 m/s
   d. 10 m/s
   e. 12 m/s

8. Grafik suatu benda bergerak lurus beraturan tampak seperti gambar berikut ini.



   Jarak yang di tempuh selama selama 4 sekon adalah ....
   a. 20 m
   b. 40 m
   c. 60 m
   d. 80 m
   e. 100 m

9. Perhatikan grafik berikut ini.

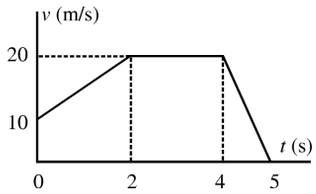


   Besar kecepatan benda adalah ....
   a. 5 m/s
   b. 12 m/s
   c. 15 m/s
   d. 20 m/s
   e. 25 m/s

10. Sebuah mobil yang mula-mula diam, kemudian bergerak. Setelah 80 km, kecepatannya berubah menjadi 40 km/jam. Waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut adalah ....
    a. 4 jam
    b. 8 jam
    c. 12 jam
    d. 15 jam
    e. 20 jam

11. Dua buah mobil A dan B bergerak saling mendekati dengan kecepatan masing-masing 36 km/jam dan 72 km/jam. Jika jarak kedua mobil 900 m, kedua mobil akan berpapasan setelah ....
    a. 10 sekon
    b. 20 sekon
    c. 30 sekon
    d. 60 sekon
    e. 90 sekon

12. Perhatikan grafik berikut.

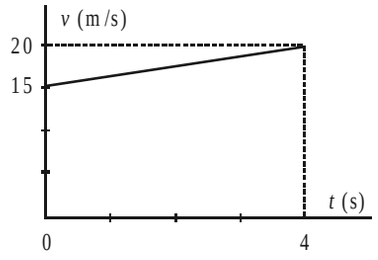


    Dari grafik tersebut, jarak yang ditempuh selama 5 s adalah ....
    a. 60 m
    b. 70 m
    c. 80 m
    c. 90 m
    d. 100 m

13. Sebuah pesawat terbang memerlukan waktu 20 s dan jarak 400 m untuk lepas landas. Kecepatan pesawat tersebut ketika lepas landas adalah ....
    a. 10 m/s
    b. 20 m/s
    c. 30 m/s
    d. 40 m/s
    e. 50 m/s

14. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan awal 10 m/s dan mengalami perlambatan 2 m/s^2. Dalam 5 sekon, mobil tersebut menempuh jarak sejauh ....
    a. 5 m
    b. 10 m
    c. 15 m
    d. 20 m
    e. 25 m

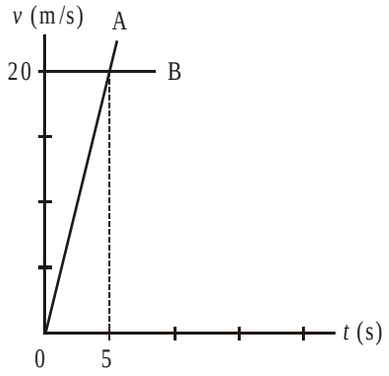
15. Benda bergerak seperti dinyatakan dalam grafik berikut.



Jarak yang ditempuh selama 4 sekon adalah ....
a. 35 m
b. 50 m
c. 60 m
d. 70 m
e. 80 m

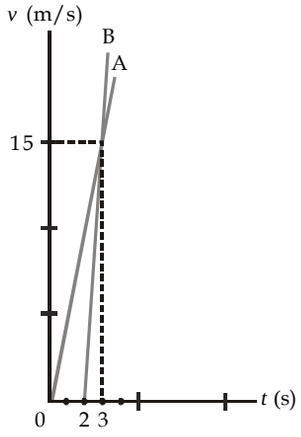
16. Waktu yang diperlukan sebuah mobil yang bergerak dengan percepatan 2 m/s^2, untuk mengubah kecepatannya dari 10 m/s menjadi 30 m/s adalah ....
a. 10 s
b. 20 s
c. 30 s
d. 40 s
e. 50 s

17. Dua benda bergerak seperti grafik berikut.



Kedua benda tersebut akan bertemu setelah ....
a. 5 sekon
b. 8 sekon
c. 10 sekon
d. 12 sekon
e. 16 sekon

18. Perhatikan grafik berikut.



Dari grafik tersebut, percepatan A dan B adalah ....
a. 3 m/s^2 dan 5 m/s^2
b. 3 m/s^2 dan 15 m/s^2
c. 5 m/s^2 dan 3 m/s^2
d. 15 m/s^2 dan 5 m/s^2
e. 5 m/s^2 dan 15 m/s^2

19. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 45 m, waktu yang dibutuhkan saat menyentuh tanah adalah ....
a. 2 sekon
b. 3 sekon
c. 5 sekon
d. 7 sekon
e. 9 sekon

20. Bola tenis jatuh dari ketinggian 5 m. Kecepatan benda saat menyentuh tanah adalah ... (g = 10 m/s^2).
a. 5 m/s
b. 10 m/s
c. 20 m/s
d. 50 m/s
e. 100 m/s

21. Sebuah benda dilempar ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke tanah adalah ....
a. 1 sekon
b. 2 sekon
c. 3 sekon
d. 4 sekon
e. 5 sekon

22. Sebuah benda dilemparkan ke bawah dengan kecepatan awal v_0. Jarak dari posisi lempar supaya kecepatan benda menjadi 2 kali semula adalah ....
a. $\frac{v_0^2}{g}$
b. $\frac{2v_0^2}{g}$
c. $\frac{v_0^2}{2g}$
d. $\frac{3v_0^2}{2g}$
e. $\frac{2v_0^2}{3g}$

23. Sebuah batu dilepaskan dari menara dan tiba di tanah dalam waktu 5 sekon. Ketinggian menara adalah ....
a. 25 m
b. 50 m
c. 75 m
d. 100 m
e. 125 m

24. Terdapat dua buah batu yang akan dilempar. Batu pertama dilemparkan ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 60 m/s. Batu kedua dilemparkan ke bawah dari sebuah gedung dengan kecepatan awal 40 m/s. Jika jarak kedua batu 400 m, kedua batu tersebut akan bertemu setelah bergerak selama ....
a. 2 sekon
b. 3 sekon
c. 4 sekon
d. 6 sekon
e. 10 sekon

25. Terdapat dua buah bola yang berjarak 100 m. Bola pertama bergerak jatuh bebas dan pada saat bersamaan bola kedua dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Jarak kedua bola setelah 2 sekon adalah ....
a. 10 m
b. 20 m
c. 40 m
d. 60 m
e. 80 m

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Sebuah mobil sedang bergerak dengan kecepatan 36 km/jam, tentukanlah:
   a. waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak 10 km,
   b. jarak yang ditempuh selama 10 menit.
2. Sebuah benda bergerak sepanjang sumbu-x. Setelah bergerak selama 2 sekon, benda berada pada posisi x_1 = 16 m dan setelah 5 sekon benda berada pada posisi x_2 = 10 m. Tentukanlah jarak, perpindahan, laju, dan kecepatan rata- rata pada waktu tersebut.
3. Mobil A bergerak dengan laju 72 km/jam dan berada 200 m di belakang mobil B yang sedang bergerak dengan kelajuan 54 km/jam. Kapan mobil A menyusul mobil B?
4. Sebuah benda mula-mula diam, kemudian bergerak. Setelah 10 sekon, kecepatan benda menjadi 15 m/s^2. Hitung percepatan benda tersebut.
5. Mobil yang sedang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam, pada jarak 100 m tiba-tiba mengalami perlambatan karena tepat di depan mobil tersebut ada seorang nenek yang sedang melintas. Apakah mobil tersebut akan menabrak nenek yang sedang melintas di jalan?
6. Sebuah kelapa jatuh bebas dari ketinggian 20 m. Berapakah waktu dan kecepatan saat tiba di tanah?
7. Dua buah benda terpisah sejauh 100 m dalam arah vertikal. Benda pertama mula-mula di tanah, kemudian ditembakkan dengan kecepatan awal 20 m/s ke atas. Pada saat yang bersamaan, benda kedua jatuh bebas. Kapan dan di mana kedua benda berpapasan?
8. Sebuah benda dilemparkan ke atas dan mencapai ketinggian maksimum 40 m. Hitunglah:
   a. kecepatan awal benda,
   b. waktu untuk mencapai tinggi maksimum,
   c. kecepatan setelah 3 sekon, dan
   d. ketinggian setelah 3 sekon.
9. Dari puncak menara setinggi 60 m, sebuah benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan 10 m/s. Hitunglah kecepatan dan waktu benda ketika tiba di tanah.
10. Sebuah benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal v_0 dari permukaan Bumi. Jika benda dibawa ke Bulan dan dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal $2v_0$. Tentukanlah perbandingan tinggi maksimum di Bumi dan di Bulan.
    (Petunjuk: $g_{\text{Bulan}} = \frac{1}{6} g_{\text{Bumi}}$).

Sumber: *www.realcoasters.com*

Bab 4

Gerak Melingkar

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep dan prinsip kinematika dan dinamika benda titik dengan cara menganalisis besaran Fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan.

Coba perhatikan benda-benda di sekeliling Anda. Benda-benda apa saja yang dapat bergerak melingkar? Mungkin Anda pernah melihat sebuah film yang diputar pada VCD atau DVD. Sebenarnya, kedua alat tersebut hanya berfungsi sebagai pemutar CD, sedangkan benda yang berputar pada VCD dan DVD tersebut adalah CD. Tahukah Anda mengapa CD tetap berada pada porosnya ketika berputar?

Gerak melingkar dapat terjadi juga pada *roller coaster* sedang bergerak. Pernahkah Anda menaiki *roller coaster*? Jika Anda menaiki *roller coaster* yang sedang bergerak, Anda akan merasakan seolah-olah akan keluar atau terpental dari lintasan. Apakah yang menyebabkan hal tersebut. Untuk mengetahuinya, Anda harus memahami konsep tentang gerak melingkar. Oleh karena itu, Anda dapat mempelajari dan memahami konsep gerak melingkar pada bab ini.

A. Kecepatan Linear dan Kecepatan Anguler
B. Percepatan Sentripetal
C. Gerak Melingkar Beraturan

Soal *Pramateri*

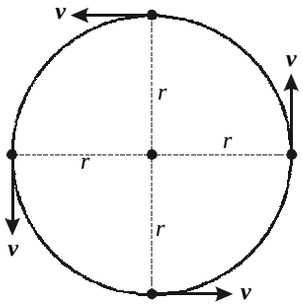
1. Apa yang menyebabkan benda dapat bergerak melingkar?
2. Ketika Anda naik komidi putar, mengapa Anda tidak terlempar? Apa yang menyebabkan Anda dapat bertahan dalam sistem tersebut (komidi putar)?

A Kecepatan Linear dan Kecepatan Anguler

Sebuah benda dikatakan bergerak melingkar jika lintasan yang dilaluinya berbentuk lingkaran. Pada pelajaran sebelumnya, Anda telah belajar mengenai gerak lurus. Setiap benda yang bergerak selalu memiliki kecepatan, walaupun kecepatan yang dimiliki setiap benda berbeda-beda. Begitu pula dengan gerak melingkar, setiap benda yang bergerak melingkar memiliki dua kecepatan, yakni kecepatan linear dan kecepatan anguler. Kedua kecepatan ini tidaklah sama, akan tetapi penting dalam proses gerak melingkar.

1. Kecepatan Linear

Coba Anda perhatikan benda-benda yang bergerak melingkar. Apa yang menyebabkan benda tersebut berputar? Kecepatan apa saja yang dimiliki benda tersebut ketika berputar? Kecepatan yang dimiliki benda ketika bergerak melingkar dengan arah menyinggung lintasan putarannya disebut kecepatan linear. Kecepatan linear akan selalu menyinggung lintasan lingkaran yang memiliki panjang lintasan yang sama dengan keliling lingkaran.



Gambar 4.1
Arah kecepatan linear dalam gerak melingkar.

$$\Delta s = \text{keliling lingkaran}$$

$$\boxed{\Delta s = 2\pi r} \qquad (4\text{–}1)$$

dengan Δs adalah panjang lintasan yang ditempuh dan r adalah jari-jari lintasan yang berbentuk lingkaran.

Kata Kunci
- Frekuensi
- Kecepatan linear
- Periode

Contoh 4.1

Sebuah benda bergerak melingkar pada sebuah lintasan yang memiliki diameter 200 cm. Jika benda tersebut berputar sebanyak 1,5 kali putaran, tentukanlah jarak yang ditempuh benda tersebut.

Jawab

Diketahui: $d = 200$ cm $= 2$ m.

Oleh karena jari-jari lingkaran adalah setengah dari panjang diameter maka

$$r = \frac{1}{2} \times 2 \text{ m} = 1 \text{ m}.$$

Keliling sebuah lingkaran adalah $2\pi r$ sehingga jarak yang ditempuh oleh benda tersebut adalah 1,5 kali keliling lingkaran, yakni

$$\Delta s = 1{,}5 \times (2\pi r)$$
$$\Delta s = 1{,}5 \times 2 \times 3{,}14 \times 1 \text{ m}$$
$$\Delta s = 9{,}42 \text{ m}$$

Jadi, jarak yang telah ditempuh benda tersebut adalah sejauh 9,42 m.

Waktu yang ditempuh sebuah benda ketika bergerak melingkar dalam satu putaran penuh disebut periode, yang diberi lambang T dengan satuan sekon. Banyaknya lintasan yang dapat ditempuh dalam satu sekon disebut frekuensi, yang diberi lambang f dengan satuan hertz. Nama ini diambil dari salah seorang ilmuwan yang berjasa dalam ilmu Fisika, yakni **Henrich Hertz** (1857–1895). Hubungan antara periode dan frekuensi dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\boxed{f = \frac{1}{T}} \qquad (4\text{–}2)$$

Dalam materi gerak lurus, pengertian kecepatan adalah perubahan perpindahan dalam selang waktu tertentu. Begitu pula dengan gerak melingkar yang dapat didefinisikan sebagai besarnya panjang lintasan yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Besarnya kecepatan linear disebut juga laju linear. Persamaan laju linear dalam gerak melingkar dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Laju linear} = \frac{\text{panjang lintasan}}{\text{selang waktu}} \quad \text{atau}$$

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

Dalam gerak melingkar, panjang lintasan diubah menjadi keliling lintasan dan selang waktu yang ditempuh diubah menjadi periode. Oleh karena itu persamaannya menjadi

$$\boxed{v = \frac{2\pi r}{T}} \qquad (4\text{–}3)$$

Oleh karena $\frac{1}{T} = f$, **Persamaan (4–3)** dapat ditulis kembali menjadi

$$\boxed{v = 2\pi r f} \qquad (4\text{–}4)$$

Solusi Cerdas

Sebuah roda yang berjari-jari 50 cm berotasi dengan kecepatan sudut 900 rpm. Kelajuan tangensial sebuah titik pada tepi roda itu adalah ....

a. $7{,}5\,\pi$ m/s
b. $15\,\pi$ m/s
c. $225\,\pi$ m/s
d. $350\,\pi$ m/s
e. $450\,\pi$ m/s

Penyelesaian

Kelajuan tangensial: $v = 2\pi f r$

$f = 900 \text{ rpm} = \frac{900}{60 \text{ sekon}}$

$= 15$ put/sekon

$v = 2\pi \times 15 \text{ put/sekon} \times 0{,}5 \text{ m}$

$v = 15\,\pi$ m/s

Jawab: b

Ebtanas 2000

Contoh 4.2

Sebuah roda sepeda berputar sebanyak 10 kali putaran tiap 1 sekon dengan kecepatan linear 18 m/s. Tentukanlah panjang diameter roda sepeda tersebut.

Jawab

Diketahui: $f = 10$ hertz, dan
$v = 18$ m/s.

Dengan menggunakan **Persamaan (4–4)**, diperoleh

$$v = 2\pi r f$$

$$r = \frac{v}{2\pi f}$$

$$r = \frac{18 \text{ m/s}}{2 \times 3{,}14 \times 10 \text{ Hz}}$$

$$r = 0{,}287 \text{ m}$$

Oleh karena jari-jari sebuah lingkaran adalah setengah dari diameter maka

$$r = \frac{1}{2} d$$

$$d = 2r$$

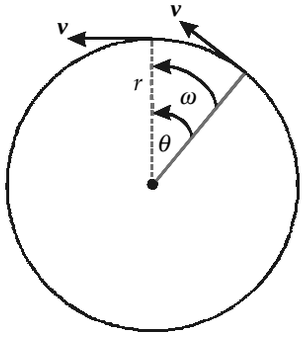
$$d = 2 \times 0{,}287 \text{ m}$$

$$d = 0{,}574 \text{ m} = 5{,}74 \text{ cm}$$

Jadi, diameter roda sepeda tersebut adalah 5,74 cm.

2. Kecepatan Anguler

Perhatikan kembali sebuah benda yang bergerak melingkar seperti pada **Gambar 4.2**. Benda yang bergerak pada lintasannya akan membentuk sudut tertentu dari posisi awal benda diam. Perubahan sudut ini mengikuti arah gerak benda pada lintasan tersebut. Perubahan sudut gerak benda akan



Gambar 4.2
Arah kecepatan linear dan anguler dengan perubahan sudut θ.

bernilai positif jika gerak benda berlawanan dengan arah putaran jam. Adapun perubahan sudut akan bernilai negatif jika arah gerak benda searah dengan arah putaran jam.

Perubahan sudut dilambangkan dengan $\Delta\theta$ dan memiliki satuan radian. Biasanya, sering juga satuan perubahan sudut menggunakan derajat. Hubungan antara radian dan derajat dapat dituliskan sebagai berikut.

$$1 \text{ rad} = \frac{\text{sudut putaran (dalam derajat)}}{2\pi}$$

Untuk satu putaran penuh,

$$1 \text{ rad} = \frac{360°}{2\pi} = 57{,}3°$$

Besarnya perubahan sudut ($\Delta\theta$) dalam selang waktu (Δt) tertentu disebut kelajuan anguler atau kelajuan sudut. Kelajuan anguler ini dilambangkan dengan ω dan memiliki satuan rad/s. Besarnya kelajuan anguler dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{Kelajuan anguler} = \frac{\text{perubahan sudut}}{\text{selang waktu}} \quad \text{atau}$$

$$\boxed{\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}} \qquad (4\text{–}5)$$

Dalam melakukan satu putaran penuh, sudut yang ditempuh adalah 360° atau 2π rad dalam waktu T sekon, dengan T adalah periode. Dari **Persamaan (4–5)**, dapat ditulis kembali menjadi

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \qquad (4\text{–}6)$$

Dari pembahasan sebelumnya, Anda telah mengetahui bahwa frekuensi $f = \frac{1}{T}$ sehingga **Persamaan (4–6)** menjadi

$$\boxed{\omega = 2\pi f} \qquad (4\text{–}7)$$

Solusi Cerdas

Perhatikan pernyataan-pernyataan tentang gerak melingkar beraturan berikut.
(1) kecepatan sudut sebanding dengan frekuensi
(2) kecepatan linear sebanding dengan kecepatan sudut
(3) kecepatan sudut sebanding dengan periode

Pernyataan yang benar adalah nomor ....
a. (1)
b. (1) dan (2)
c. (2)
d. (2) dan (3)
e. (3)

Penyelesaian
Perhatikan persamaan-persamaan berikut.

$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r$

$v = \omega r$

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

Jadi jawaban yang sesuai adalah nomor (1) dan (2).

Jawab: b

Ebtanas 1999

Contoh 4.3

Sebuah benda yang berada di ujung sebuah CD melakukan gerak melingkar dengan besar sudut yang ditempuh adalah $\frac{3}{4}$ putaran dalam waktu 1 sekon. Tentukanlah kelajuan sudut dari benda tersebut.

Jawab
Diketahui: $f = \frac{3}{4}/\text{s} = 0{,}75$ hertz.

Dengan menggunakan **Persamaan (4–7)**, diperoleh

$\omega = 2\pi f$

$\omega = 2 \times 3{,}14 \times 0{,}75 \text{ hertz}$

$\omega = 4{,}71 \text{ rad/s}$

Besarnya nilai tersebut menunjukkan nilai kelajuan anguler dalam $\frac{3}{4}$ putaran.

Jika Anda perhatikan **Persamaan (4–6)** dan **(4–7)**, terdapat hubungan antara laju linear (v) dengan kelajuan anguler (ω). Jika persamaan-persamaan laju linear dan laju anguler ditulis kembali, akan diperoleh persamaan baru seperti berikut.

$$v = 2\pi fr$$
$$\omega = 2\pi f$$

sehingga hubungan antara laju linear (v) dan laju anguler (ω) dapat ditulis menjadi

$$\boxed{v = \omega r} \qquad (4\text{–}8)$$

dengan: v = laju linear (m/s),
ω = laju anguler (rad/s), dan
r = jari-jari lintasan (m).

Contoh 4.4

Sebuah partikel bergerak melingkar dengan kelajuan 4 m/s dan jari-jari lintasannya 0,5 m. Tentukanlah kelajuan angulernya.

Jawab
Diketahui: v = 4 m/s, dan
r = 0,5 m.
Dengan menggunakan **Persamaan (4–8)**, diperoleh

$$v = \omega r$$
$$\omega = \frac{v}{r}$$
$$\omega = \frac{4\ \text{m/s}}{0{,}5\ \text{m}} = 8\ \text{rad/s}$$

B Percepatan Sentripetal

Pada bab sebelumnya Anda telah belajar mengenai percepatan rata-rata. Percepatan rata-rata dapat didefinisikan sebagai perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu. Ketika Anda belajar mengenai gerak lurus beraturan, percepatan yang dialami sebuah benda sama dengan nol. Apakah di dalam gerak melingkar beraturan juga berlaku seperti halnya gerak lurus beraturan? Jawabannya adalah tidak. Mengapa? Coba Anda perhatikan **Gambar 4.3**.

Apakah Anda masih mengingat rumus dari percepatan sesaat pada bab sebelumnya? Percepatan sesaat sebuah benda dituliskan dalam bentuk limit seperti berikut ini.

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \ \text{ atau } \ a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa percepatan sesaat (a) searah dengan perubahan kecepatan (Δv). Jika $\Delta t \to 0$ perubahan kecepatan (Δv) akan tegak lurus terhadap kecepatan v_1 dan v_2 sehingga percepatan sesaat haruslah tegak lurus juga dengan kecepatan v_1 dan v_2. Jika dibandingkan sisi pada gambar a dengan gambar b diperoleh

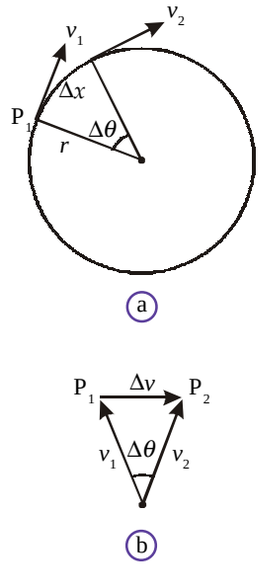
$$\frac{|\Delta v|}{v_1} = \frac{\Delta x}{r}$$
$$|\Delta v| = \frac{v_1}{r}\Delta x$$

Perlu Anda Ketahui

Sudut yang ditempuh oleh sebuah benda untuk bergerak melingkar sama dengan panjang lintasan (busur) yang dilalui dibagi dengan jari-jari lintasan $\theta = \frac{s}{r}$.

Kata Kunci

- Kecepatan anguler
- Sudut putaran



Gambar 4.3
Vektor kecepatan sebuah benda untuk selang waktu yang sangat kecil, perubahan kecepatan Δv hampir tegak lurus pada v dan mengarah ke pusat lingkaran.

Jika kedua persamaan (baik di sebelah kiri maupun sebelah kanan) dibagi dengan Δt akan diperoleh

$$a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{v_1}{r}\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Pada konsep kecepatan sesaat, nilai percepatan adalah limit dari persamaan tersebut dan jika ditulis ulang akan diperoleh

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v_1}{r}\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v_1}{r}\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

dengan menganggap titik P_1 semakin dekat dengan P_2 maka

$$\boxed{a_s = \frac{v^2}{r}} \qquad (4\text{–}9)$$

Percepatan yang tegak lurus terhadap kecepatan yang menyinggung lingkaran ini disebut percepatan sentripetal. Percepatan sentripetal arahnya selalu menuju pusat lingkaran. Jika Anda masih ingat hubungan antara kecepatan linear dan kecepatan sudut, persamaan kecepatan sentripetal dapat ditulis dalam bentuk lain, yaitu

$$\boxed{a_s = \omega^2 r} \qquad (4\text{–}10)$$

Contoh 4.5

Sebuah bola yang memiliki jari-jari 2 cm berputar dalam bidang lingkaran horizontal. Satu kali putaran dapat ditempuh bola selama 2 s. Tentukanlah percepatan sentripetalnya.

Jawab

Diketahui: r = 2 cm = 0,02 m, dan
T = 2 s.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(0{,}02\text{ m})}{2\text{ s}} = 0{,}0628\text{ m/s}$$

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \frac{(0{,}0628\text{ m/s})^2}{0{,}02\text{ m}}$$

a_s = 0,917 m/s^2

Jadi, percepatan sentripetal yang dialami bola adalah 0,197 m/s^2.

Soal Penguasaan *Materi* 4.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tentukanlah percepatan sebuah benda yang bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan 3 m dan kelajuan 9 m/s.
2. Percepatan sentripetal maksimum yang dialami sebuah motor balap adalah 10 m/s^2. Lintasan yang dilaluinya berupa lingkaran yang memiliki jari-jari 5 m. Tentukanlah kelajuan maksimum motor balap tersebut.
3. Jika Anda memutarkan sebuah benda yang terikat dengan tali yang memiliki panjang 1 m, berapa putaran permenit yang harus Anda buat supaya percepatan yang menuju pusat lingkaran sama dengan percepatan gravitasi (g = 10 m/s^2)

C Gerak Melingkar Beraturan

Pada bab sebelumnya, yakni bab gerak dalam satu dimensi atau disebut juga sebagai gerak lurus, terdapat gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) begitu pula dalam gerak melingkar terdapat gerak melingkar beraturan (GMB) dan gerak melingkar berubah beraturan (GMBB). Pada bab ini hanya dibahas gerak melingkar beraturan (GMB), sedangkan gerak melingkar berubah beraturan akan Anda pelajari di Kelas XI.

Gerak melingkar beraturan (GMB) dapat dianalogikan seperti gerak lurus beraturan (GLB) di mana kecepatan ω sudut sama dengan kecepatan sesaat.

$$\omega = \frac{\text{perpindahan sudut}}{\text{selang waktu}}$$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

dengan $$\Delta\theta = \frac{\Delta x}{\Delta r}$$

Jadi, $$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$

Oleh karena $t_0 = 0$ maka

$$\omega t = \theta - \theta_0$$

$$\boxed{\theta = \theta_0 + \omega t} \qquad (4\text{–}11)$$

dan ω = konstan.

Contoh 4.6

Sebuah partikel bergerak melingkar beraturan dengan posisi sudut awal 5 rad. Jika partikel bergerak dengan kecepatan sudut 10 rad/s, tentukanlah posisi sudut akhir pada saat t = 5 s.

Jawab

Diketahui: θ_0 = 5 rad,
ω = 10 rad/s, dan
t = 5 s.

$\theta = \theta_0 + \omega t$

$\theta = 5 \text{ rad} + 10 \text{ rad/s} \times 5 \text{ s}$

$\theta = 55 \text{ rad}$

Jadi, posisi sudut akhir partikel adalah 55 rad.

Kerjakanlah

Misalkan, Anda mengendarai sepeda motor pada suatu lintasan yang berbentuk lingkaran, seperti pada bundaran HI, Jakarta. Kelajuan yang terbaca pada *speedometer* Anda menunjukkan nilai 10 km/jam. Sekalipun nilai yang terbaca pada *speedometer* Anda tidak berubah, Anda merasakan ada sesuatu yang mendorong Anda ke luar lintasan, tetapi Anda masih tetap berada pada lintasan tersebut. Mengapa bisa demikian? Diskusikanlah bersama teman Anda. Laporkan hasil diskusi Anda kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

Jelajah Fisika

Helikopter

Helikopter memiliki mesin yang membuat bilahnya berputar beraturan. Begitu bilah berputar beraturan, mesin mendorong udara ke bawah sehingga membuat helikopter terangkat ke atas. Dengan memiringkan bilahnya, pilot dapat membuat helikopter lepas landas, melayang, atau mendarat. Untuk bergerak maju, bilah harus dimiringkan sehingga bilah mendorong sebagian udara ke belakang sekaligus ke bawah. Biasanya, helikopter memiliki rotor kecil di ekornya. Rotor ini dipakai untuk menghentikan pesawat berputar beraturan ke arah yang berlawanan dari rotor utama.

Sumber: *Oxford Ensiklopedi Pelajar*, 1995

Soal Penguasaan *Materi* 4.2

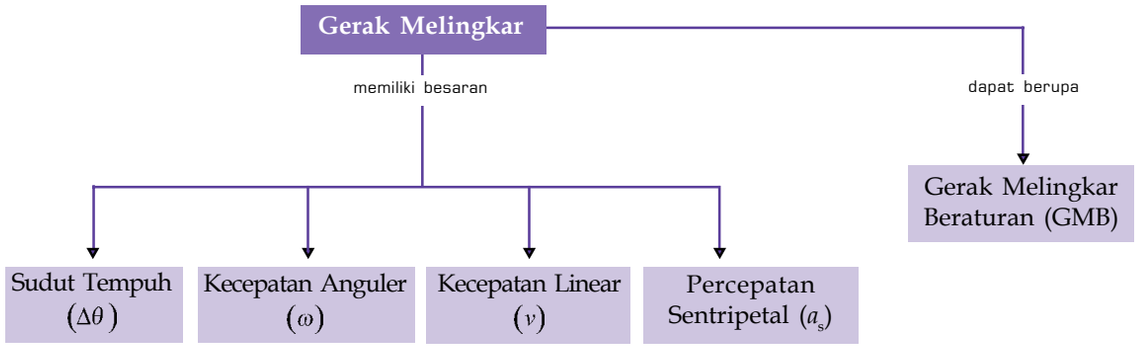
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Kecepatan sudut sebuah pertikel yang bergerak melingkar beraturan adalah 20 rad/s. Tentukanlah persamaan posisi sudut jika diketahui sudut awal θ_0 = 2 rad.
2. Sebuah benda dapat melakukan satu putaran penuh dalam waktu 5 s. Jika jari-jari lintasan 1 m dan sudut awal θ_0 = 1,5 rad, tentukanlah:
   a. posisi sudut akhir pada saat t = 2 s, dan
   b. percepatan sentripetal benda.
3. Percepatan sebuah bola yang diikat dengan tali dan bergerak melingkar beraturan adalah 10 m/s^2. Jika diketahui panjang tali 50 cm dan posisi awal θ_0 = 0, tentukanlah:
   a. kecepatan sudut bola,
   b. persamaan posisi sudut, dan
   c. posisi sudut pada saat t = 5 s.

Rangkuman

1. Sebuah benda dapat dikatakan **bergerak melingkar** jika lintasan yang dilewatinya berbentuk lingkaran.
2. Kecepatan yang diberikan kepada benda ketika bergerak melingkar, dalam arah tangensial, disebut **kecepatan linear**.
3. **Kecepatan anguler** adalah perubahan sudut $(\Delta\theta)$ dalam selang waktu (Δt) tertentu.
4. Hubungan antara kecepatan linear dan kecepatan anguler dapat dituliskan sebagai berikut.
$$v = \omega r$$
5. **Percepatan sentripetal** adalah percepatan yang arahnya selalu menuju pusat lingkaran.
6. **Gerak melingkar beraturan** (GMB) terjadi jika kecepatan anguler benda bernilai tetap (konstan). Persamaan terdapat dalam GMB adalah
$$\omega = \text{konstan}$$
$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

Peta Konsep



Kaji Diri

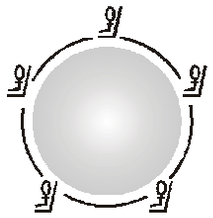
Setelah mempelajari bab Gerak Melingkar, Anda dapat menganalisis besaran Fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan. Jika Anda belum mampu menganalisis besaran Fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan, Anda belum menguasai materi bab Gerak Melingkar dengan baik.

Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 4

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

1. Jika sebuah titik bergerak melingkar beraturan maka ....
   a. percepatannya nol
   b. kecepatan linearnya tetap
   c. percepatan sudutnya nol
   d. frekuensinya berubah
   e. energi potensialnya tetap
2. Jarum *speedometer* sebuah sepeda motor menunjukkan angka 1.200 rpm. Berarti, kecepatan sudut putaran mesin motor tersebut adalah ....
   a. 20 rad/s
   b. 20π rad/s
   c. 40 rad/s
   d. 40π rad/s
   e. 60 rad/s
3. Jika sebuah *compact disc* berputar dengan kecepatan 390 rpm (putaran per menit), frekuensi putarnya ....
   a. 390 Hz
   b. 6,5 Hz
   c. 13 Hz
   d. 0,11 Hz
   e. 234 Hz
4. Sebuah benda bergerak 90 putaran dalam 1 menit. Kecepatan sudut benda tersebut adalah ....
   a. 90 rad/s
   b. 15 rad/s
   c. 3π rad/s
   d. 3 rad/s
   e. $1{,}5\pi$ rad/s
5. Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari 20 cm. Kecepatan sudut yang dialami benda adalah 4π rad/s. Periode dan frekuensi benda tersebut adalah ....
   a. 0,5 sekon dan 2 Hz
   b. 0,05 sekon dan 2 Hz
   c. 2 sekon dan 4 Hz
   d. 0,1 sekon dan dan 10 Hz
   e. 0,05 sekon 20 Hz
6. Sebuah roda sepeda memiliki jari-jari 30 cm dan diputar melingkar beraturan. Jika kelajuan sebuah titik pada roda 6,0 m/s, kecepatan sudutnya adalah ....
   a. 6 rad/s
   b. 18 rad/s
   c. 20 rad/s
   d. 30 rad/s
   e. 60 rad/s
7. Sebuah piringan hitam dengan diameter 20 cm berputar dengan kecepatan sudut 4 rad/s. Hal ini berarti sebuah benda titik yang berada di pinggir piringan memiliki kelajuan linear sebesar ....
   a. 20 cm/s
   b. 40 cm/s
   c. 50 cm/s
   d. 60 cm/s
   e. 80 cm/s
8. Seorang anak duduk di atas kursi yang berputar vertikal, seperti pada gambar berikut.



   Jika percepatan gravitasi bumi $g = 10$ m/s^2 dan jari-jari roda 2,5 m, laju maksimum roda itu agar anak tidak terlepas dari tempat duduknya adalah ....
   a. 8 m/s
   b. 6 m/s
   c. 5 m/s
   d. 4 m/s
   e. 2 m/s
9. Jika sebuah titik bergerak secara beraturan dalam lintasan yang melingkar, pernyataan berikut yang benar adalah ....
   a. percepatan radialnya sama dengan nol
   b. jari-jari lintasannya berubah
   c. percepatan radialnya tidak sama dengan nol
   d. besar dan kecepatan linearnya berubah
   e. besar dan kecepatan sudutnya berubah
10. Sebuah bola yang terikat pada tali bergerak dalam lingkaran horizontal yang memiliki jari-jari 3 m. Jika diketahui percepatan sudut bola tersebut 5 rad/s, besar percepatannya adalah ....
    a. 75 rad/s
    b. 50 rad/s
    c. 45 rad/s
    d. 15 rad/s
    e. 5 rad/s
11. Sebuah motor mengelilingi jalan yang melingkar dengan jari-jari 20 m. Jika percepatan sentripetal maksimum yang dapat diberikan oleh gesekan adalah 5 m/s^2, besarnya kelajuan maksimum motor tersebut adalah ....
    a. 100 m/s
    b. 80 m/s
    c. 20 m/s
    d. 10 m/s
    e. 5 m/s
12. Sebuah benda bergerak melingkar beraturan pada suatu lintasan. Jika pada saat $t = 0$, benda berada pada posisi 5 rad dan pada saat $t = 10$ s, benda tersebut berada pada posisi 10 rad maka kecepatan sudut benda tersebut adalah ....

a. 500 rad/s
b. 50 rad/s
c. 5 rad/s
d. 1 rad/s
e. 0,5 rad/s

13. Sebuah partikel berada pada ujung sebuah CD yang sedang berputar. Posisi awal partikel tersebut berada pada sudut awal ($\theta_0 = 0$). Kecepatan sudut yang dimiliki partikel tersebut adalah 10 rad/s maka posisi partikel tersebut setelah bergerak selama 5 s adalah ....
    a. 500 rad/s
    b. 50 rad/s
    c. 5 rad/s
    d. 1 rad/s
    e. 0,5 rad/s
14. Jika Anda memutar tali yang diikat dengan batu dalam arah vertikal, kecepatan linear yang Anda rasakan sama dengan dua kali kecepatan sudutnya. Besarnya kecepatan linear tersebut jika diketahui percepatan sentripetal batu 50 m/s^2 adalah ....
    a. 100 m/s
    b. 50 m/s
    c. 10 m/s
    d. $\sqrt{50}$ m/s
    e. $\sqrt{10}$ m/s
15. Pernyataan mengenai percepatan sentripetal berikut ini yang benar adalah ....
    a. percepatan sentripetal sebanding dengan massa sebuah benda
    b. percepatan sentripetal selalu tegak lurus terhadap kecepatan linearnya
    c. arah percepatan sentripetal selalu keluar lintasan
    d. percepatan sentripetal hanya bergantung pada jari-jari lintasannya
    e. percepatan sentripetal tidak akan memengaruhi arah kecepatan linearnya

Pernyataan berikut digunakan pada soal no 16 – 20
Misalkan, Anda bergerak melingkar beraturan dengan mengikuti persamaan berikut.

$$\theta = 5 + 30\pi t$$

Jari-jari lintasan yang Anda lalui besarnya 2 m.

16. Frekuensi putaran Anda adalah ....
    a. 30 hertz
    b. 15 hertz
    c. 12 hertz
    d. 5 hertz
    e. 0
17. Posisi Anda setelah menempuh waktu selama $\frac{0,5}{\pi}$ s adalah ....
    a. 30 rad
    b. 25 rad
    c. 20 rad
    d. 15 rad
    e. 5 rad
18. Kecepatan linear Anda adalah ....
    a. 60π m/s
    b. 60
    c. 30π m/s
    d. 30 m/s
    e. $15\ \pi$ m/s
19. Besarnya percepatan sentripetal yang Anda rasakan adalah ....
    a. $7.200\ \pi^2$ m/s^2
    b. $3.600\ \pi^2$ m/s^2
    c. $1.800\ \pi^2$ m/s^2
    d. $600\ \pi^2$ m/s^2
    e. $60\ \pi^2$ m/s^2
20. Waktu yang dapat ditempuh oleh Anda jika berhenti di posisi 65 rad adalah ....
    a. $\frac{2}{\pi}$ s
    b. $\frac{5}{\pi}$ s
    c. $\frac{7}{\pi}$ s
    d. $\frac{10}{\pi}$ s
    e. $\frac{15}{\pi}$ s

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Diketahui sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan sebanyak 240 kali tiap menit, hitunglah:
    a. frekuensi,
    b. periode,
    c. kecepatan sudut, dan
    d. kecepatan linear jika jari-jari 4 m.
2. Seutas tali dengan panjang 1 m, ujungnya diberi beban 20 gram. Kemudian, tali tersebut diputar dalam arah horizontal dengan kecepatan linear 5 m/s, tentukanlah:
    a. kecepatan angulernya, dan
    b. percepatan sentripetal.
3. Seutas tali dengan panjang 1 m, ujungnya diberikan beban 100 gram lalu diputar dalam arah vertikal dengan kecepatan 5 m/s. Tentukanlah percepatan sentripetal beban.
4. Pada permainan komidi putar, seorang anak duduk pada roda yang berputar dengan jari-jari 2,5 m. Berapakah kecepatan maksimum roda agar anak tersebut tidak terlepas dari tempat duduknya? (roda berputar dalam arah vertikal)

5. Diketahui sebuah sepeda bergerak dengan keceptan 2 m/s. Tentukanlah:
   a. periode putaran roda sepeda (r = 40 cm), dan
   b. kecepatan sudut.
6. Misalkan, Anda mengendarai sebuah mobil pada lintasan melingkar. Lintasan tersebut memiliki diameter 20 m. Jika diketahui kelajuan mobil Anda 10 m/s, tentukanlah percepatan maksimum yang masih diperbolehkan supaya mobil Anda tetap bergerak pada lintasannya.
7. Tentukanlah percepatan sentripetal dari sebuah benda yang bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan 10 cm, jika diketahui dalam satu kali putaran benda tersebut menghabiskan waktu 1 s.
8. Sebuah partikel bergerak melingkar pada suatu lintasan melingkar. Jika posisi awal partikel θ_0 = 5 rad, tentukanlah:
   a. posisi akhir partikel pada saat t = 5 s yang memiliki kecepatan sudu 2 rad/s, dan
   b. frekuensi putaran partikel.
9. Tentukanlah percepatan sentripetal dari sebuah benda yang memiliki kecepatan 300 rpm (putaran per menit) yang bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan:
   a. 20 cm, dan
   b. 1 m.
10. Sebuah benda bergerak dengan mengikuti persamaan $\theta = \theta_0 + \omega t$. Tentukanlah waktu yang diperlukan benda untuk mengubah posisi sudut dari 5 rad menjadi 20 rad, jika diketahui satu kali putaran dapat ditempuh benda selama 10π s.

Kegiatan Semester 1

Pada bab sebelumnya Anda telah belajar mengenai pengukuran, gerak lurus, dan gerak melingkar. Anda diharapkan dapat memahami materi tersebut secara mendalam. Untuk itu Anda akan belajar melakukan penelitian sederhana yang dilakukan secara berkelompok dalam waktu yang telah ditentukan oleh guru Anda. Penelitian ini terdiri atas tiga bagian, pertama tentang pengukuran, kedua tentang gerak lurus, dan ketiga tentang gerak melingkar. Supaya hasil yang didapatkan baik, Anda diharapkan dapat mengerjakannya dengan sungguh-sungguh.

Tujuan

- Memahami proses pengukuran
- Menentukan kecepatan benda yang jatuh bebas
- Menentukan gaya sentripetal pada benda yang bergerak melingkar

Alat dan Bahan

1. Alat ukur massa (timbangan)
2. Alat ukur suhu
3. Alat ukur panjang (mistar, meteran, jangka sorong, mikrometer sekrup)
4. Alat ukur waktu (*stopwatch*)
5. Beberapa macam dan jenis benda
6. Benang dengan panjang secukupnya

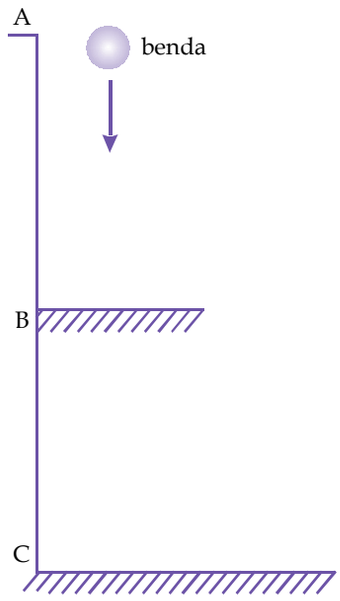
Prosedur

Kegiatan 1: Memahami proses pengukuran.

1. Carilah 20 buah benda yang berbeda (zat cair, padat, atau gas), kemudian ukurlah besaran-besaran yang dapat diukur dari benda-benda tersebut dengan menggunakan alat ukur yang tersedia.
2. Masukkan data pengukuran Anda dalam tabel berikut.

No.	Nama Benda	Nama Alat Ukur	Nilai	Satuan
1	.....	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....
5	.....	.....	.....	.....
6	.....	.....	.....	.....
7	.....	.....	.....	.....
8	.....	.....	.....	.....
9	.....	.....	.....	.....
10	.....	.....	.....	.....
11	.....	.....	.....	.....
12	.....	.....	.....	.....
13	.....	.....	.....	.....
14	.....	.....	.....	.....
15	.....	.....	.....	.....
16	.....	.....	.....	.....
17	.....	.....	.....	.....
18	.....	.....	.....	.....
19	.....	.....	.....	.....
20	.....	.....	.....	.....

3. Lakukanlah pengukuran tersebut secara berulang-ulang, minimal tiga kali pengukuran dan tuliskanlah hasil pengukuran tersebut dalam angka penting.



Kegiatan 2: Menentukan kecepatan benda yang jatuh bebas.

1. Ukur dan catat massa benda dengan menggunakan timbangan.
2. Lepaskanlah benda tersebut dari suatu tempat yang telah diukur ketinggiannya.
3. Catatlah waktu jatuh benda dari A–B dan waktu dari B–C.
4. Lakukanlah kegiatan ini secara berulang-ulang.
5. Gantilah benda tersebut dengan benda yang memiliki massa yang berbeda dan lakukanlah seperti prosedur nomor 1–4.

Kegiatan 3: Menentukan percepatan sentripetal pada benda yang bergerak melingkar

1. Ukur dan catat massa benda dengan menggunakan timbangan.
2. Ikatkanlah dengan menggunakan tali atau benang, kemudian putarkanlah benda tersebut dalam arah vertikal dan horizontal.
3. Catat waktu yang ditempuh benda dalam melakukan 50 kali putaran.

4. Gantilah benda dengan benda yang memiliki massa yang berbeda.
5. Ulangi prosedur nomor 1–3.

Pertanyaan

1. Apakah setiap benda yang akan diukur membutuhkan alat ukur yang sama?
2. Tentukanlah kecepatan benda pada kegiatan 2, jika percepatan gravitasi bumi = 10 m/s^2.
3. Apakah benda berbeda mempengaruhi kecepatan? Berikan penjelasan Anda.
4. Hitunglah kecepatan sudut dari proses gerak melingkar.
5. Hitunglah kecepatan linear benda yang bergerak melingkar.
6. Berapakah percepatan sentripetal yang terdapat pada benda?
7. Tuliskanlah kesimpulan dari penelitian tersebut.
8. Laporkan hasil penelitian kepada guru Anda, kemudian presentasikan di depan kelas.

Menyusun Laporan

Setelah Anda menyelesaikan penelitian, buatlah sebuah laporan yang menceritakan hasil penelitian Anda. Laporan tersebut terdiri atas pendahuluan, teori dasar, data pengamatan, pembahasan, kesimpulan dan saran, serta daftar pustaka.

Anda diharapkan dapat membuat laporan sebaik mungkin. Tujuannya agar orang yang membaca laporan Anda dapat mengerti dan memahaminya. Laporan tersebut ditulis atau diketik dalam kertas HVS ukuran A4. Anda dapat mendiskusikan dengan guru Anda jika terdapat hal-hal yang belum Anda pahami yang berhubungan dengan laporan Anda.

Selamat berkarya.

Sumber: *media.nasaexplores.com*

Bab 5

Dinamika Gerak

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep dan prinsip kinematika dan dinamika benda titik dengan cara menerapkan Hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.

Pernahkah Anda melihat sebuah roket yang akan terbang ke luar angkasa? Mengapa sebuah roket ketika meluncur membutuhkan tenaga yang sangat besar? Sebuah roket memiliki gas panas yang dipancarkan dari ruang pembakaran dan pancaran ini menyebabkan timbulnya gaya reaksi pada roket tersebut. Gaya tersebut akan mengangkat serta mempercepat roket sehingga dapat terbang ke luar angkasa.

Seseorang yang telah berjasa dalam ilmu Fisika terutama dinamika, yakni Sir Isaac Newton, mengungkapkan tiga hukumnya yang terkenal tentang gerak. Hingga saat ini, penemuannya tentang gaya dan gerak masih digunakan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam bidang teknologi modern yang semakin pesat.

Mungkin Anda dapat menemukan contoh dari dinamika dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada alat menimba air di dalam sumur ketika Anda akan mengambil air. Sistem yang digunakan dalam alat tersebut adalah katrol, yang membantu Anda dalam menarik ember yang berisi air dengan menggunakan tali. Semua bahasan tersebut akan dibahas dalam materi dinamika berikut ini.

A. Hukum Newton
B. Berat, Gaya Normal, dan Tegangan Tali
C. Gaya Gesekan
D. Dinamika Gerak Melingkar

Soal *Prameteri*

1. Apa yang Anda ketahui mengenai gaya?
2. Sebutkan gaya-gaya yang sering terjadi di dalam kehidupan sehari-hari.
3. Sebutkan manfaat adanya gaya.

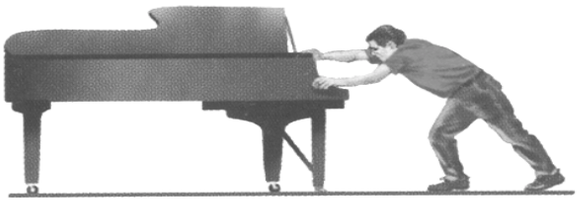
Kata Kunci

- Gaya
- Hukum Pertama Newton
- Kelembaman
- Massa

Apa yang Anda lakukan ketika hendak memindahkan atau menggeser sebuah benda? Anda akan mendorongnya atau menariknya, bukan? Demikian pula ketika Anda hendak menghentikan benda yang sedang bergerak, Anda harus menahan gerak benda tersebut. Ketika Anda mendorong, menarik, atau menahan benda, dikatakan Anda tengah mengerahkan gaya pada benda tersebut. Selain itu, Anda juga harus mengerahkan *gaya* untuk mengubah bentuk benda. Sebagai contoh, bentuk balon atau bola akan berubah bentuk ketika Anda tekan. Dengan demikian, gaya adalah suatu besaran yang dapat mengakibatkan gerak atau bentuk benda menjadi berubah. Pada bab ini, Anda akan mempelajari gerak dengan memperhatikan gaya penyebabnya. ilmu ini disebut dinamika. Perlu diingat bahwa penulisan besaran vektor pada contoh soal ditulis sebagai besaran skalar saja, sedangkan pada penurunan rumusnya ditulis sebagai vektor.

A Hukum Newton

Coba dorong sebuah benda di rumah Anda yang menurut Anda berat, Apa yang Anda rasakan? Jika Anda mendorongnya, mungkin akan terasa berat. Akan tetapi, jika teman-teman Anda membantu untuk mendorong benda tersebut, mungkin akan terasa lebih ringan. Mengapa bisa terjadi?



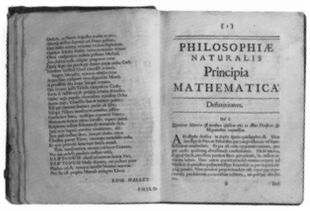
Gambar 5.1
Seseorang mendorong sebuah piano.

Semakin besar gaya yang diberikan maka semakin mudah Anda mendorongnya. Semua yang Anda lakukan tersebut terjadi karena terdapat gaya yang bekerja pada benda. Teori mengenai dinamika gerak ini diterangkan oleh seorang ilmuwan Fisika yang bernama **Isaac Newton**.

Dalam bab ini, Anda akan mempelajari hukum gerak Newton secara berurutan. Hukum pertama, memperkenalkan konsep kelembaman yang telah diusulkan sebelumnya oleh Galileo. Hukum kedua, menghubungkan percepatan dengan penyebab percepatan, yakni gaya. Hukum ketiga, merupakan hukum mengenai aksi-reaksi. Newton menuliskan ketiga hukum geraknya dalam sebuah buku yang terpenting sepanjang sejarah, yakni *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, yang dikenal sebagai *principia*.

Jelajah Fisika

Buku Principia


PHILOSOPHIÆ NATURALIS Principia MATHEMATICA

Ini adalah halaman judul dari buku Newton yang paling penting, yakni Principia. Newton mengikuti jejak Galileo, yakni menjelaskan alam ini secara matematis. Bagian pertama Principia menjelaskan bahwa ada tiga hukum dasar yang mengatur gerak benda-benda. Setelah itu, Newton memberikan teorinya mengenai gravitasi, yakni gaya yang menarik turun benda yang sedang jatuh. Dengan menggunakan hukum-hukumnya, Newton menunjukkan bahwa gaya gravitasilah yang membuat planet-planet bergerak pada orbitnya pada saat mengelilingi matahari.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

1. Hukum Pertama Newton

Sebelum Anda mempelajari mengenai Hukum Pertama Newton, ada baiknya Anda lakukan percobaan berikut ini.

Mahir Meneliti

Memahami Konsep Kelembaman

Alat dan Bahan

1. Sebungkus korek api yang penuh dengan isinya
2. Uang logam

Prosedur

1. Selipkan uang logam di antara bagian dasar wadah batang korek dalam dan luar dengan posisi seperti diperlihatkan pada **Gambar 5.2**.

2. Kemudian, pukul-pukul secara perlahan bagian atas wadah korek 20 - 30 kali.
3. Perhatikan apa yang terjadi?
4. Apa yang dapat Anda simpulkan?
5. Diskusikan hasilnya bersama teman dan guru Anda dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

Pada eksperimen di atas, Anda akan mendapati bahwa uang logam tersebut tidak jatuh, tetapi keluar dari bagian atas wadah korek api. Mengapa bisa terjadi demikian? Peristiwa ini menunjukkan bahwa benda, dalam hal ini uang logam, cenderung mempertahankan keadaannya. Ketika wadah korek api dipukul-pukul secara perlahan, wadah korek ini bergerak ke bawah. Akan tetapi, gerakan korek api tidak disertai gerakan uang logam. Uang logam sendiri tetap diam pada posisinya. Hal ini menyebabkan posisi uang logam pada wadah korek api menjadi bergeser ke bagian atas (sebenarnya yang bergeser adalah wadah korek api, ke bawah). Jika pukulan dilakukan terus-menerus secara perlahan-lahan, lama kelamaan uang logam itu akan muncul dari bagian atas wadah korek api.

Gambar 5.2
Uang logam yang berada di dalam korek api cenderung diam ketika di pukul-pukul.

Banyak peristiwa lain yang menunjukkan bahwa setiap benda cenderung untuk mempertahankan keadaannya. Ketika Anda berada di dalam mobil yang sedang melaju, tiba-tiba mobil direm secara mendadak, Anda akan terdorong ke depan. Demikian juga ketika mobil dari keadaan diam, tiba-tiba akan bergerak ke depan pada saat Anda menginjak gas, Anda akan merasakan bahwa badan Anda menekan bagian belakang tempat duduk Anda. Contoh lainnya adalah ketika mobil yang Anda tumpangi melintasi tikungan, Anda seolah-olah akan terlempar ke sisi luar tikungan.

Pada prinsipnya, benda yang diam akan tetap diam sebelum ada gaya yang menarik atau mendorongnya sehingga dapat bergerak. Demikian juga pada benda yang sedang bergerak dengan kecepatan konstan akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan dan akan dapat berhenti jika ada gaya yang melawan gerak tersebut. Keadaan ini disimpulkan oleh Newton sebagai berikut.

Setiap benda tetap dalam keadaan diam atau bergerak dengan kelajuan konstan pada garis lurus kecuali ada resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Pernyataan di atas dikenal sebagai Hukum Pertama Newton. Kecenderungan benda mempertahankan keadaannya, yaitu diam atau bergerak dengan kelajuan konstan dalam garis lurus, disebut kelembaman atau inersia. Oleh karena itu, Hukum Pertama Newton disebut juga sebagai hukum Kelembaman.

2. Hukum Kedua Newton

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, setiap benda cenderung mempertahankan keadaannya selama tidak ada resultan gaya yang bekerja benda tersebut. Apa yang terjadi jika resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut tidak sama dengan nol? Hasil eksperimen Newton menunjukkan bahwa gaya yang diberikan pada benda akan menyebabkan benda tersebut mengalami perubahan kecepatan. Ketika gaya tersebut searah dengan gerak benda, kecepatannya bertambah dan ketika gaya tersebut berlawanan dengan gerak benda, kecepatannya berkurang. Dengan kata lain, jika resultan gaya yang bekerja pada benda tidak sama dengan nol, benda akan bergerak dengan suatu percepatan.

Solusi Cerdas

Jika resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol maka
(1) benda tidak akan dipercepat
(2) benda selalu diam
(3) perubahan kecepatan benda nol
(4) benda tidak mungkin bergerak lurus beraturan
Pernyataan yang benar adalah...
a. (1), (2), dan (3)
b. (1) dan (3) saja
c. (2) dan (4) saja
d. (4) saja
e. (1), (2), (3), dan (4)

Penyelesaian
Dari Hukum Pertama Newton,

$$\sum F = 0$$

- Nilai nol ini disebabkan karena tidak ada percepatan pada benda.
- Jika percepatannya nol, kecepatan benda adalah konstan.
- Jika percepatan benda bernilai nol, benda dapat berada dalam keadaan diam maupun bergerak.
- Jika kecepatan benda bernilai konstan, benda akan bergerak lurus beraturan.

Jawab: b

UAN 2002

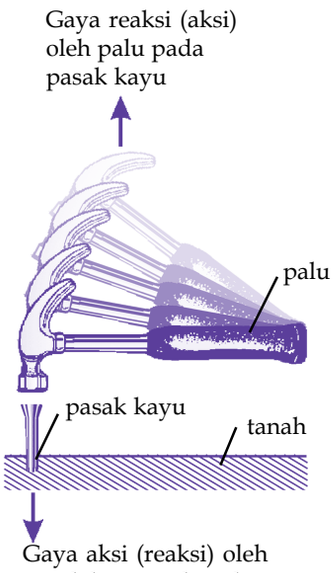
Hasil eksperimen Newton juga menunjukkan bahwa percepatan benda sebanding dengan resultan gaya yang diberikan. Akan tetapi, hubungan antara resultan gaya dan percepatan pada benda satu yang dihasilkan berbeda dengan benda lainnya. Kenyataan ini mengantarkan Newton pada konsep massa benda.

Massa adalah *ukuran kelembaman suatu benda*. Semakin besar massa benda, semakin sulit untuk mengubah keadaan geraknya. Dengan kata lain, semakin besar massa benda, semakin besar gaya yang harus diberikan untuk menggerakkannya dari keadaan diam atau menghentikannya dari keadaan bergerak. Sebagai contoh, sebuah mobil lebih lembam dan memerlukan gaya yang besar untuk mengubah geraknya dibandingkan dengan sebuah sepeda motor. Dengan demikian, mobil memiliki massa lebih besar daripada sepeda motor. Hubungan antara resultan gaya, massa, dan percepatan secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum F}{m} \text{ atau } \sum F = ma \qquad (5\text{–}1)$$

dengan: F = gaya (newton atau, disingkat, N),
m = massa benda (kg), dan
a = percepatan benda(m/s^2).

Semakin besar resultan gaya yang diberikan pada benda, semakin besar percepatan yang dihasilkannya. Jadi, percepatan benda sebanding dengan resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut. Arah percepatan sama dengan arah resultan gayanya.



Gambar 5.3
Interaksi antara palu dan pasak yang menyebabkan timbulnya gaya aksi-reaksi.

3. Hukum Ketiga Newton

Gaya selalu muncul berpasangan. Ketika Anda memukul pasak kayu menggunakan palu, pasak akan memberikan gaya kepada palu. Demikian pula, ketika Anda berjalan di atas lantai, Anda memberikan gaya pada lantai melalui telapak kaki atau alas sepatu Anda maka lantaipun memberikan gaya pada telapak kaki atau alas sepatu Anda sebagai reaksi terhadap gaya yang Anda berikan. Dengan kata lain, *ketika suatu benda memberikan gaya pada benda lainnya, benda kedua akan memberikan gaya yang sama dan berlawanan arah pada benda pertama*. Pernyataan di atas dikenal sebagai Hukum Ketiga Newton.

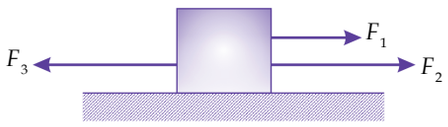
Sifat pasangan gaya aksi-reaksi besarnya selalu sama, segaris, saling berlawanan arah, dan bekerja pada benda yang berbeda.

Contoh 5.1

Tiga buah gaya, F_1 = 10 N dan F_2 = 15 N, dan F_3 = c N bekerja pada sebuah benda, seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Jika benda tetap diam, berapakah nilai c?

Jawab
Karena benda diam, sesuai dengan Hukum Pertama Newton,

$\Sigma F = 0$
$F_1 + F_2 - F_3 = 0$
sehingga diperoleh
$F_3 = F_1 + F_2 = 10 + 15 = 25$ N

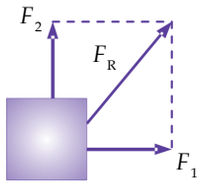


***Perlu Anda* Ketahui**

Gaya aksi-reaksi terjadi pada benda yang berbeda dan besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan.

Contoh 5.2

Dua buah gaya masing-masing 100 N bekerja pada benda 50 kg, seperti terlihat pada gambar.



a. Tentukanlah resultan gaya tersebut.
b. Berapakah percepatannya?

Jawab

a. Gunakan aturan vektor dalam menjumlahkan gaya. Oleh karena F_1 dan F_2 saling tegak lurus maka sesuai dengan Dalil Pythagoras

$$F_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(100)^2 + (100)^2} = 100\sqrt{2} \text{ N.}$$

b. m = 50 kg maka percepatannya

$$a = \frac{F_B}{m} = \frac{100\sqrt{2}}{50} = 2\sqrt{2} \text{ m/s}^2.$$

Contoh 5.3

Tentukan resultan sebuah gaya yang diperlukan untuk menghentikan mobil 1.500 kg yang sedang bergerak dengan kelajuan 72 km/jam dalam jarak 50 m.

Jawab

Diketahui: m = 1.500 kg, v_0 = 72 km/jam = 20 m/s, dan s = 50 m.
Dari konsep GLBB, $v = v_0 + at$, percepatan (perlambatan) yang diperlukan supaya mobil berhenti, v = 0, adalah

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = \frac{0 - (20 \text{ m/s})^2}{2(50 \text{ s})} = -4 \text{ m/s}^2$$

Dengan demikian, sesuai dengan Hukum Kedua Newton,

$$F = ma = (1.500 \text{ kg})(-4 \text{ ms}^2) = -6.000 \text{ N}$$

Tanda *negatif* menunjukkan bahwa resultan gaya yang diberikan harus berlawanan arah dengan kecepatan awal benda. Jadi, besarnya resultan gaya yang harus diberikan adalah 6.000 N dan berlawanan arah dengan gerak benda.

Kata Kunci

- Gaya aksi
- Gaya interaksi
- Gaya reaksi

Jelajah Fisika

Lift dengan Sistem Kerek

Rancangan lift dengan tenaga air dari abad ke-19 menggunakan kerekan dengan dua arah. Kabel yang kuat meluncur dari atap lift ke atas roda kerekan dan ke bawah roda kerekan lainnya. Kabel itu diikat pada piston yang turun naik dalam tabung. Piston dijalankan oleh tekanan air di dalam tabung dari atas dan bawah. Tali yang melewati pasangan roda kerekan kedua memungkinkan lift membantu memutar katup di dasar lubang, mengarahkan air pada bagian atas atau bawah tabung, mendorong piston ke bawah atau ke atas untuk menaikan atau menurunkan lift. Konsep ini dapat dijelaskan oleh Hukum Ketiga Newton.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Soal Penguasaan *Materi* 5.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah gaya menghasilkan percepatan 5 m/s² pada sebuah benda yang memiliki massa 3 kg. Jika gaya yang sama dikenakan pada benda kedua, gaya tersebut menghasilkan percepatan 15 m/s². massa benda kedua dan berapakah besarnya gaya tersebut?
2. Sebuah balok yang bermassa 4 kg diam pada saat t = 0. Sebuah gaya konstan dalam arah horizontal F_x bekerja pada balok. Pada saat t = 3 s, balok telah berpindah sejauh 2,25 m. Tentukanlah besarnya gaya F_x tersebut.
3. Sebuah gaya sebesar 15 N bekerja pada sebuah benda bermassa m. Benda bergerak pada lintasan lurus dengan kelajuan yang bertambah 10 m/s setiap 2 s. Tentukanlah besarnya massa benda tersebut.
4. Sebuah benda bermassa 2 kg tergantung diam pada sebuah tali yang diikatkan di langit-langit.
   a. Gambarlah diagram yang menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada benda dan tunjukkanlah setiap gaya reaksinya.
   b. Lakukanlah hal yang sama untuk gaya-gaya yang bekerja pada tali.
5. Sebuah kotak meluncur menuruni permukaan miring yang licin. Gambarlah sebuah diagram yang menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada kotak tersebut. Untuk setiap gaya dalam diagram Anda, tentukanlah gaya reaksinya.

B Berat, Gaya Normal, dan Tegangan Tali

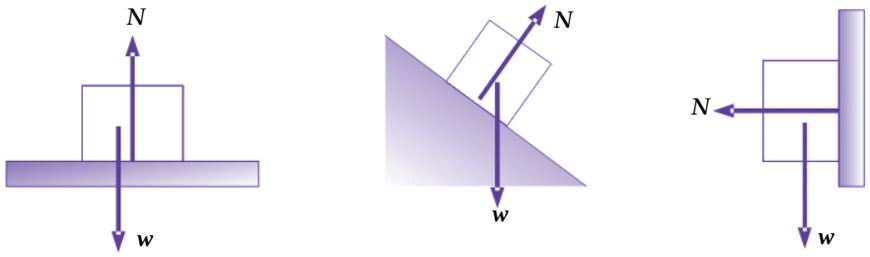
Berat adalah gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda. Akibat gaya ini, benda yang jatuh bebas akan memperoleh percepatan $a = g$ (percepatan gravitasi bumi). Dengan demikian berat benda dapat ditulis

$$w = mg \qquad (5\text{–}2)$$

dengan: w = berat benda (N),
m = massa benda (kg), dan
g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2).

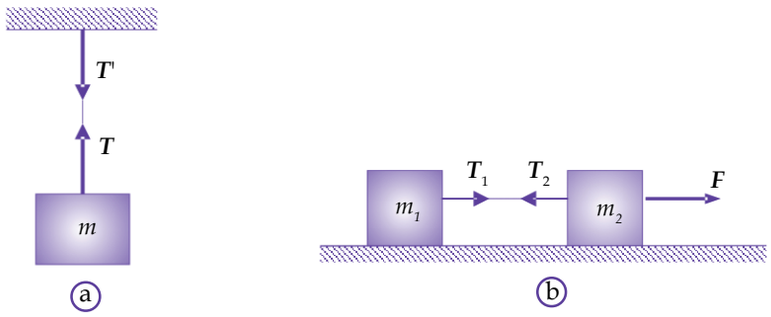
Arah dari gaya gravitasi selalu menuju ke pusat bumi (tegak lurus bidang datar).

Ketika benda berada pada suatu bidang, bidang tersebut akan memberikan gaya pada benda tadi yang disebut gaya kontak. Jika gaya kontak ini tegak lurus permukaan bidang maka disebut gaya normal. Besar gaya normal bergantung pada besar gaya lain yang bekerja pada benda. **Gambar 5.4** memperlihatkan beberapa arah gaya normal (dibandingkan dengan gaya gravitasi yang arahnya selalu tegak lurus permukaan bumi). Arah gaya normal selalu tegak lurus bidang tempat benda itu berada.



Gambar 5.4
Arah gaya normal.

Gaya tegangan tali adalah gaya pada tali ketika tali tersebut dalam keadaan tegang. Arah gaya tegangan tali bergantung pada titik atau benda yang ditinjau. Pada **Gambar 5.5(a)**, gaya tegangan tali T yang bekerja pada benda m berarah ke atas, dan sebaliknya, gaya tegangan tali T' pada tempat tali digantungkan berarah ke bawah. Pada **Gambar 5.5(b)**, gaya tegangan tali T_1 pada m_1 berarah ke kanan, sedangkan pada m_2 bekerja T_2 berarah ke kiri. Akan tetapi, meskipun arahnya berlawanan, besar gaya tegangan talinya sama ($T = T'$ dan $T_1 = T_2$).



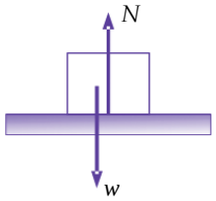
Gambar 5.5
Arah gaya tegangan tali.

Contoh 5.4

Benda bermassa 5 kg terletak diam di atas sebuah bidang. Tentukanlah gaya normal yang bekerja pada benda jika bidang tersebut
a. datar, dan
b. membentuk sudut 30° terhadap bidang datar.

Jawab

a. Pada benda bekerja gaya berat $w = mg$ = (5 kg)(10 m/s²) = 50 N dan gaya normal, N. Karena benda diam, sesuai dengan Hukum Pertama Newton, resultan gayanya harus sama dengan nol maka

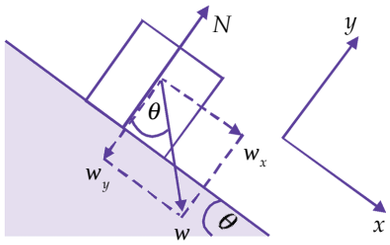


$$\sum F = 0$$
$$N - w = 0$$

sehingga diperoleh $N = w = 50$ N.

b. Untuk mendapatkan besar gaya normal, uraikan berat w ke sumbu-y (sumbu-y berimpit dengan N) dan diperoleh

$$w_y = w\cos 30° = (50)\left(\frac{1}{2}\sqrt{3}\right) = 25\sqrt{3} \text{ N}.$$



Pada sumbu-y benda diam maka

$$\sum F_y = 0$$
$$N - w_y = 0$$

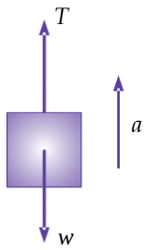
sehingga diperoleh $N = w_y = 25\sqrt{3}$ N.

Contoh 5.5

Sebuah lift bergerak dipercepat ke atas dengan percepatan 2 m/s². Jika massa lift dan isinya 200 kg, tentukanlah tegangan tali penarik lift tersebut. Ambil percepatan gravitasi bumi g = 10 m/s².

Jawab

Gaya yang bekerja pada lift adalah berat dan tegangan tali seperti diperlihatkan pada gambar di samping. Karena benda bergerak dengan suatu percepatan ke atas, sesuai dengan Hukum Kedua Newton, diperoleh



$$\sum F_y = ma$$
$$T - w = ma$$

sehingga diperoleh

$$T = w + ma = mg + ma = m(g + a) = (200 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2 + 2 \text{ m/s}^2) = 24.000 \text{ N}.$$

Catatan: Gaya yang searah percepatan diberi tanda positif dan gaya yang berlawanan arah dengan percepatan diberi tanda negatif.

Contoh 5.6

Dua buah balok dihubungkan dengan seutas tali dan diam di atas lantai datar licin seperti pada gambar berikut ini.

Solusi Cerdas

Sebual elevator, massa 400 kg, bergerak vertikal ke atas dari keadaan diam dengan percepatan tetap sebesar 2 m/s². Jika percepatan gravitasi 9,8 m/s², tegangan tali penarik elevator adalah ....

a. 400 N
b. 800 N
c. 3.120 N
d. 3.920 N
e. 4.720 N

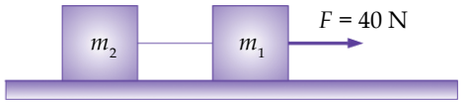
Penyelesaian

Diketahui m = 400 kg,
a = 2 m/s², dan
g = 9,8 m/s²

$\Sigma F = m\ a$
$T - w = m\ a$
$T - mg = m\ a$
$T = m\ a + mg$
$T = (a + g)\ m$
$= (2 + 9{,}8) \times 400$
$= 4.720$ N

Jawab: e

PPI 1994

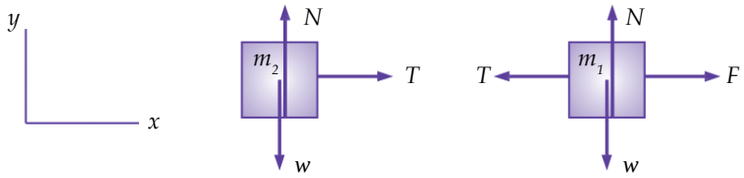


Balok pertama bermassa 4 kg dan balok kedua bermassa 6 kg. Gaya horizontal $F = 40$ N dikerjakan pada balok pertama. Tentukanlah:

a. percepatan tiap balok, dan
b. gaya tegangan tali penghubung.

Jawab

Gaya-gaya yang bekerja pada tiap balok adalah seperti diperlihatkan pada gambar. Perhatikan bahwa gaya tegangan tali pada m_1 berarah ke kiri, sedangkan gaya tegangan tali pada m_2 berarah ke kanan.



a. Tinjau balok 1 (m_1):

$$\sum F_x = F - T = m_1 a_1$$

Tinjau balok 2 (m_2)

$$\sum F_x = T = m_2 a_2$$

Karena balok 1 dan balok 2 bergerak bersama, $a_1 = a_2 = a$ sehingga jika kedua persamaan di atas dijumlahkan, diperoleh

$F = m_1 a + m_2 a \; (m_1 + m_2)a$

atau

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{40 \text{ N}}{4 \text{ kg} + 6 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$$

Perhatikan bahwa hasil yang sama diperoleh jika kita memandang balok 1 dan 2 sebagai satu kesatuan (sistem), dengan massa $m_1 + m_2$ dan diberi gaya F.

b. Tinjau balok m_2, gaya tegangan tali,

$$T = m_2 a = 6 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 24 \text{ N}$$

Loncatan Kuantum

Meteran Newton

Meteran newton atau meteran gaya, digunakan untuk mengukur gaya dengan menggunakan pegas. Pegas akan meregang ketika sebuah gaya mendorongnya dan menggerakan *pointer* sepanjang skala. Hal ini menunjukkan kekuatan dari sebuah gaya. Sebagai contoh, benda dengan massa 1 kilogram mendorong pegas dengan gaya 9,8 Newton.

Quantum Leap

Newton Meter

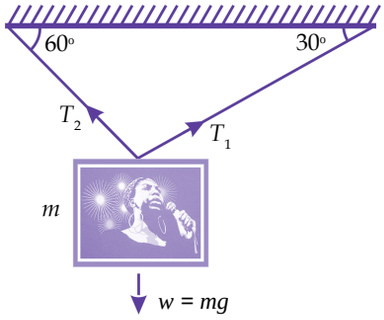
A newton meter, or force meter using a spring. The spring stretches when a force pulls on it, moving a pointer a long a scale. This indicates the strength of the force. For example, 1 kilogram pulls on the spring with a force of 9,8 newtons.

Sumber: *Science Encylopedia*, 1991

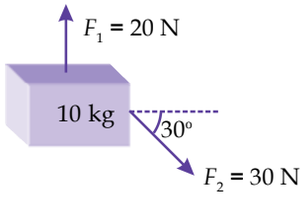
Soal Penguasaan *Materi* 5.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah lukisan yang beratnya 8 N digantungkan pada dua kawat yang tegangannya T_1 dan T_2, seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Hitunglah tegangan pada kawat-kawat tersebut.

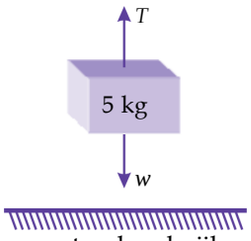


2. Sebuah benda bermassa 10 kg dipengaruhi oleh dua gaya, F_1 dan F_2, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



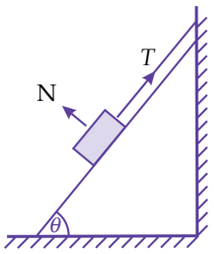
a. Tentukanlah percepatan benda tersebut.
b. Tentukanlah gaya ketiga, F_3 yang harus diberikan agar benda dalam keadaan setimbang (diam).

3. Sebuah gaya vertikal T dikerjakan pada benda 5 kg yang dekat di permukaan bumi, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Hitunglah percepatan benda jika
   a. T = 5 N,
   b. T = 10 N, dan
   c. T = 100 N.

4. Sebuah kotak diikatkan dengan menggunakan kabel sepanjang bidang miring yang licin.



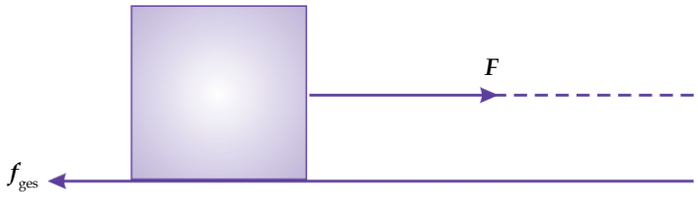
   a. Jika $\theta = 60^0$ dan m = 50 kg, hitunglah tegangan kabel dan gaya normal yang dikerjakan oleh bidang miring tersebut.
   b. Tentukanlah tegangan kabel sebagai fungsi θ dan m, dan periksa jawaban Anda untuk θ = 0° dan θ .= 90°.

C Gaya Gesekan

Coba Anda lakukan kegiatan berikut. Doronglah meja yang terletak di atas lantai datar dengan arah dorongan sejajar meja. Ketika Anda melakukannya, apakah meja langsung bergerak? Ketika meja sudah bergerak, apakah Anda merasakan gaya dorong yang Anda berikan menjadi lebih kecil (terasa ringan)? Selanjutnya, pada saat meja bergerak, apa yang terjadi ketika dorongan pada meja Anda lepaskan?

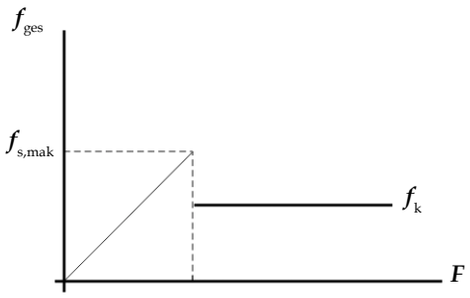
Contoh sederhana tersebut memberikan gambaran bahwa untuk menggerakkan benda dari keadaan diam diperlukan gaya minimum. Ketika gaya yang Anda berikan pada meja lebih kecil daripada suatu nilai, meja akan tetap diam. Akan tetapi, ketika gaya yang Anda kerahkan diperbesar, suatu saat meja tersebut dapat bergerak. Selain itu, Anda juga akan mendapatkan bahwa ketika gaya dorong Anda pada meja dilepaskan, meja akan segera berhenti. Mengapa dapat terjadi demikian?

Pertanyaan di atas dapat Anda terangkan dengan menggunakan hukum-hukum Newton tentang gerak. Untuk itu, perhatikan **Gambar 5.6**.



Gambar 5.6
Untuk menggerakkan meja dari keadaan diam diperlukan gaya minimum tertentu karena ada gaya gesekan yang menghambat kecenderungan gerak meja.

Misalkan, gaya yang Anda kerahkan pada meja besarnya ***F*** dengan arah sejajar lantai. Jika meja tetap dalam keadaan diam, sesuai dengan Hukum Pertama Newton, berarti resultan gaya pada meja sama dengan nol. Hal Ini menunjukkan bahwa ada gaya lain yang besarnya sama dan berlawanan arah dengan gaya ***F*** yang Anda berikan. Gaya ini tidak lain adalah gaya gesekan yang terjadi antara meja dan lantai. Gaya gesekan pulalah yang menyebabkan meja menjadi berhenti sesaat setelah Anda melepaskan gaya dorong Anda terhadap meja yang sudah bergerak.



Gambar 5.7
Grafik hubungan antara gaya gesekan f_{ges} dan gaya F sejajar bidang yang diberikan pada benda.

Hubungan antara gaya gesekan f_{ges} dan gaya F yang sejajar bidang pada sebuah benda ditunjukkan pada **Gambar 5.7**. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa saat benda belum diberi gaya atau $F = 0$, gaya gesekan belum bekerja atau $f_{ges} = 0$. Ketika besar gaya F dinaikkan secara perlahan-lahan, benda tetap diam hingga dicapai keadaan di mana benda tepat akan bergerak. Pada keadaan ini, gaya gesekan selalu sama dengan gaya yang diberikan atau secara matematis $f_{ges} = F$. Gaya gesekan yang bekerja saat benda dalam keadaan diam disebut gaya gesekan statis.

Perlu Anda Ketahui

Gaya F yang diberikan dapat berupa gaya luar atau komponen gaya luar yang sejajar bidang.

Pada keadaan benda tepat akan bergerak, besar gaya F tepat sama dengan gaya gesekan statis maksimum. Besar gaya gesekan statis maksimum sebanding dengan gaya normal antara benda dan bidang. Konstanta kesebandingan antara besar gaya gesekan statis maksimum dan gaya normal disebut *koefisien gesekan statis*. Dengan demikian, secara matematis besar gaya gesekan statis maksimum memenuhi persamaan

$$f_{s,maks} = \mu_s N \qquad (5\text{–}3)$$

dengan: μ_s = koefisien gesekan statis, dan
N = gaya normal.

Perhatikan bahwa **Persamaan (5–3)** hanya berlaku ketika benda tepat akan bergerak. Persamaan ini juga menunjukkan bahwa selama gaya F yang diberikan pada benda lebih kecil daripada atau sama dengan gaya gesekan statis ($F \leq f_{s,maks}$), benda tetap dalam keadaan diam. Pada keadaan ini berlaku

$$f_{ges} \leq \mu_s N \qquad (5\text{–}4)$$

Kata Kunci

- Berat
- Gaya gesekan
- Gaya normal

Selanjutnya, ketika gaya F yang diberikan lebih besar daripada besar gaya gesekan statis maksimum, $F > f_{s,maks}$, benda akan bergerak. Pada keadaan bergerak ini, gaya gesekan yang bekerja disebut gaya gesekan kinetik. Gaya gesekan ini besarnya konstan dan memenuhi persamaan

$$f_{ges} = f_k = \mu_k N \qquad (5\text{–}5)$$

dengan: μ_k = koefisien gesekan kinetik, dan
N = gaya normal.

Persamaan (5–5) juga memperlihatkan bahwa gaya gesekan kinetik besarnya lebih kecil daripada gaya gesekan statis maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien gesekan kinetik selalu lebih kecil daripada koefisien gesekan statis ($\mu_k > \mu_s$). Itulah sebabnya mengapa Anda perlu mengerahkan gaya yang lebih besar saat mendorong benda dari keadaan diam dibandingkan dengan ketika benda sudah bergerak. Selain itu, besarnya gaya yang harus Anda kerahkan bergantung pada keadaan dua permukaan bidang yang bergesekan. Hal ini disebabkan besarnya

koefisien gesekan bergantung pada sifat alamiah kedua benda yang bergesekan, di antaranya kering atau basahnya dan kasar atau halusnya permukaan benda yang bergesekan.

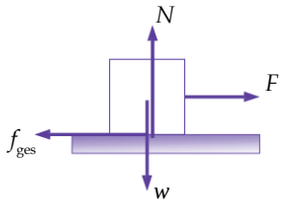
Contoh 5.7

Sebuah balok 10 kg diam di atas lantai datar. Koefisien gesekan statis $\mu_s = 0{,}4$ dan koefisien gesekan kinetis $\mu_k = 0{,}3$. Tentukanlah gaya gesekan yang bekerja pada balok jika gaya luar F diberikan dalam arah horizontal sebesar

a. 0 N,
b. 20 N, dan
c. 42 N.

Jawab

Gaya-gaya yang bekerja pada benda seperti diperlihatkan pada gambar. Karena pada sumbu vertikal tidak ada gerak, berlaku



$$\sum F_y = 0$$

$$N - w = 0$$

$$N = w = mg = (10\text{ kg})(10\text{ m/s}) = 100\text{ N}$$

a. Oleh karena $F = 0$ maka $f_{ges} = 0$,

b. Gaya gesekan statik $f_s = \mu_s N = (0{,}4)(100\text{ N}) = 40\text{ N}$. Karena $F = 10\text{ N} < f_s$ maka benda masih diam ($F = 20$ N tidak cukup untuk menggerakkan benda). Oleh karena itu,

$$\sum F_x = F - f_{ges} = 0$$

sehingga diperoleh $f_{ges} = F = 20$ N.

(c) $F = 42\text{ N} > f_s = 40\text{ N}$ maka benda bergerak. Jadi, pada benda bekerja gaya gesekan kinetik sebesar

$$f_{ges} = f_k = \mu_k\text{ N} = (0{,}3)(100\text{ N}) = 30\text{ N}.$$

Jelajah Fisika

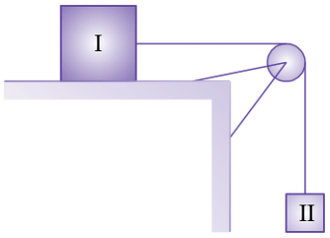
Menjamin Standar Keamanan

Para insinyur mencoba memperkecil efek dari tabrakan mobil. Setelah memasang sabuk pengaman, langkah berikutnya adalah menjamin agar mobil yang bertabrakan melambat selambat mungkin. Bagian kerut-merut depan dan belakang dirancang untuk menyerap tenaga yang mematikan. Kemampuannya diuji dengan membenturkannya. Perlengkapan uji digunakan untuk mengecek apakah rancangan bekerja sesuai dengan rencana. Pengayaan ini dapat diwujudkan dengan menggunakan konsep gaya gesek.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

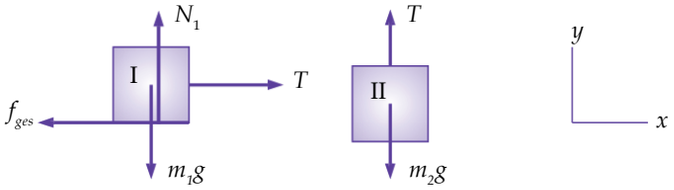
Contoh 5.8

Dua buah benda terhubung oleh tali tak bermassa melalui sebuah katrol. Massa kedua benda berturut-turut 5 kg dan 2,5 kg. Koefisien gesekan kinetik antara benda I dan lantai 0,2. Abaikan gesekan tali dan katrol. Tentukan percepatan tiap benda dan gaya tegangan tali yang menghubungkan kedua balok.



Jawab

Gaya-gaya yang bekerja pada tiap benda digambarkan, seperti berikut.



Tinjau benda I

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N - m_1 g = 0 \rightarrow N = m_1 g = (5\text{ kg})(10\text{ m/s}^2) = 50\text{ N}$$

$$f_{ges} = f_k = \mu_k N = (0{,}2)(50\text{ N}) = 10\text{ N}$$

$$\sum F_x = m_1 a \rightarrow T - f_{ges} = m_1 a \quad \text{.....(1)}$$

Tinjau benda II;

$$\sum F_y = m_2 a \rightarrow m_2 g - T = m_2 a \quad \text{.....(2)}$$

Jumlahkan persamaan (1) dan (2) maka diperoleh

$$a = \frac{m_2 g - f_k}{m_1 + m_2} = \frac{(2{,}5\text{ kg})(10\text{ m/s}^2) - 10\text{ N}}{5\text{ kg} + 2{,}5\text{ kg}} = 2{,}0\text{ m/s}^2$$

dan besarnya gaya tegangan tali, lihat persamaan (2)

$T = m_2 g - m_2 a = (2{,}5\text{ kg})(10\text{ m/s}^2) - (2{,}5\text{ kg})(2\text{ m/s}^2) = 20\text{ N}$.

Solusi Cerdas

Benda yang massanya 1 kg berada pada bidang miring licin $\alpha = 30°$. Jika $g = 10\text{ m/s}^{-2}$, berapakah percepatan benda tersebut?

a. 10 m/s^2
b. 5 m/s^2
c. $5\sqrt{3}\text{ m/s}^2$
d. $10\sqrt{3}\text{ m/s}^2$
e. 8 m/s^2

Penyelesaian

Diketahui $m = 1$ kg, $\alpha = 30°$, dan $g = 10\text{ m/s}^2$

Percepatan benda yang terletak pada bidang miring adalah

$a = g\,(\sin\alpha - \mu_k \cos\alpha)$

Apabila bidang miring licin, $\mu_k = 0$ maka $a = g \sin\alpha$

Sehingga

$a = 10 \sin 30°$

$= 10 \times \frac{1}{2} = 5\text{ m/s}^2$

Jawab: b

UAN 2003

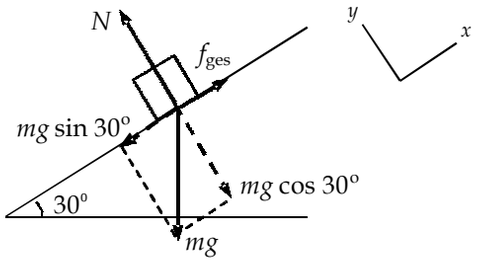
Contoh 5.9

Sebuah benda bergerak menuruni bidang yang kemiringannya 30° terhadap bidang horizontal. Jika besar koefisien gesekan kinetik 0,10, tentukanlah:

a. percepatannya, dan
b. laju yang dicapainya setelah 4,0 sekon.

Jawab

a. Gaya-gaya yang bekerja pada balok adalah seperti pada gambar berikut.



Pada sumbu-y tidak ada gerak maka

$$\sum F_y = N - mg \cos 30° = 0 \longrightarrow N = mg \cos 30°$$

$$f_{ges} = \mu_k N = \mu_k\ mg \cos 30°$$

Pada sumbu x,

$$\sum F_x = mg \sin 30° - f_{ges} = ma$$

atau

$$mg \sin 30° - \mu_k\ mg \sin 30° = ma$$

sehingga diperoleh

$a = g \sin 30° - \mu_k\, g \cos 30° = (10\text{ m/s}^2)(0{,}5) - (0{,}1)(10\text{ m/s}^2)(0{,}866) = 4{,}144\text{ m/s}^2$.

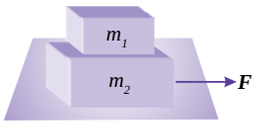
b. Kecepatan pada $t = 4{,}0$ s

$v = v_0 + at = 0 + (4{,}144\text{ m/s}^2)(4\text{ s}) = 16{,}576\text{ m/s}$.

Soal Penguasaan *Materi* 5.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah balok bermassa m_1 berada di atas balok yang massanya m_2, serta berada di atas meja horizontal yang licin, seperti ditunjukkan pada gambar.



   Sebuah gaya ***F*** dikerjakan pada balok 2. Koefisien gesekan statik dan kinetik antara balok-balok adalah μ_s dan μ_k.
   a. Tentukanlah nilai maksimum ***F*** supaya balok tidak bergerak satu sama lainnya.
   b. Tentukanlah percepatan setiap balok jika ***F*** lebih besar daripada nilai tersebut.

2. Sebuah benda dengan massa 10 kg berada di bidang mendatar kasar (μ_s = 0,4; μ_k = 0,35), g = 10 m/s^2. Jika benda diberi gaya dalam arah horizontal yang tetap sebesar 30 N, tentukanlah besarnya gaya gesekan yang bekerja pada benda tersebut.
3. Penghapus papan tulis yang beratnya 2 N dipakai untuk menghapus papan tulis yang letaknya vertikal. Siswa yang menggunakan penghapus tadi menekannya tegak lurus ke papan tulis dengan gaya 10 N. Jika koefisien gesekan kinetik antara penghapus dan papan tulis adalah 0,4, tentukanlah gaya yang harus ditarik siswa dengan kecepatan tetap.
4. Koefisien gesek statis antara lemari kayu dan lantai dasar suatu bak truk sebesar 0,75. Berapakah percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki truk supaya lemari tetap tidak bergerak terhadap bak truk?

D Dinamika Gerak Melingkar

Pada Bab 4, Anda telah mempelajari kinematika gerak melingkar. Anda telah tahu bahwa pada benda yang bergerak melingkar selalu ada percepatan yang arahnya menuju ke pusat lingkaran yang disebut percepatan sentripetal. Besar percepatan tersebut dituliskan sebagai

$$a_s = \frac{v^2}{R} \text{ atau } a_s = \omega^2 R.$$

dengan: v = laju linear benda (m/s),
ω = laju sudut benda (rad/s), dan
R = jari-jari lintasan benda (m).

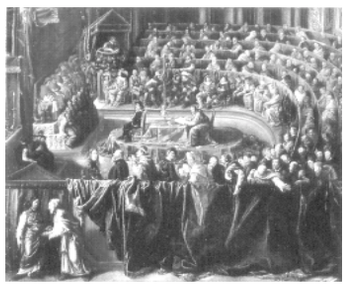
Pada dinamika gerak melingkar Anda akan mempelajari gerak melingkar dengan memperhatikan penyebabnya. Sesuai dengan hukum Newton, penyebab benda dapat bergerak dengan suatu percepatan adalah gaya. Nah, dalam hal ini, gaya yang menyebabkan adanya percepatan sentripetal disebut gaya sentripetal dan besarnya ditulis sebagai berikut.

$$F_s = ma_s = m\frac{v^2}{R} \qquad (5\text{–}5)$$

Gaya sentripetal bukanlah gaya yang berdiri sendiri. Gaya ini pada dasarnya merupakan resultan gaya yang bekerja pada benda dengan arah radial. Untuk memahami gaya sentripetal, perhatikan contoh-contoh berikut.

Jelajah Fisika

Galileo



Pada 1630, Galileo menulis buku yang mendukung teori ahli bintang Polandia, Nicolaus Copernicus, yang mengatakan bahwa planet-planet, termasuk Bumi, berevolusi mengelilingi Matahari. Galileo dihadapkan pada pengadilan agama untuk menjelaskan mengapa ia mempertanyakan kepercayaan-kepercayaan tradisional. Ia dipaksa untuk menyatakan bahwa Bumi adalah pusat alam semesta dan bahwa Bumi tidak dapat berpindah tempat.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

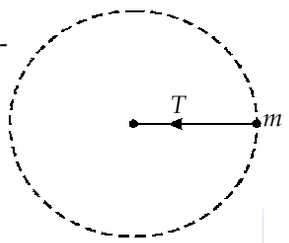
Contoh 5.10

Sebuah bola 2 kg diikatkan di ujung seutas tali dan kemudian diputar dalam bidang horizontal dengan kelajuan tetap 5 m/s seperti diperlihatkan pada gambar berikut. Jari-jari lingkaran 1 m. Tentukan besar gaya tegangan tali.

Jawab

Diketahui: m = 2 kg, v = 5 m/s, dan R = 1 m.

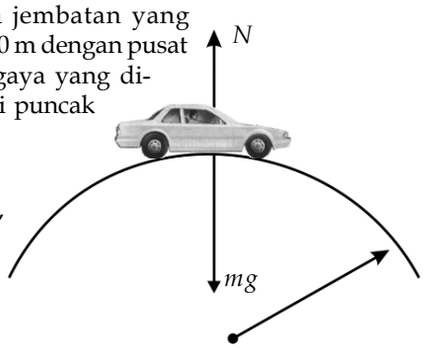
Gaya tegangan tali pada benda merupakan gaya yang arahnya menuju ke pusat lingkaran (bertindak sebagai gaya sentripetal) seperti diperlihatkan pada gambar maka



$$T = m\frac{v^2}{R} = (2\text{ kg})\frac{(5\text{ m/s})^2}{1\text{ m}} = 50\text{ N}$$

Contoh 5.11

Mobil bermassa 1.000 kg melintasi sebuah jembatan yang melengkung. Jari-jari kelengkungan jembatan 20 m dengan pusat berada di bawah jembatan. Tentukan besar gaya yang diberikan mobil pada jembatan saat ia berada di puncak jembatan jika kelajuannya 36 km/jam.



Jawab

Diketahui: m = 1.000 kg, v = 36 km/jam = 10 m/s, dan R = 10 m.

Gaya yang diberikan mobil pada jembatan sama dengan gaya yang diberikan jembatan pada mobil, yakni gaya normal, seperti diperlihatkan pada gambar. Selain gaya normal, pada mobil bekerja gaya berat. Kedua gaya ini merupakan gaya radial (berimpit dengan diameter lingkaran) yang saling berlawanan. Resultan kedua gaya ini, yakni $mg - N$, bertindak sebagai gaya sentripetal maka

$$mg - N = m\frac{v^2}{R}$$

sehingga diperoleh

$$N = mg - m\frac{v^2}{R} = (1.000\text{ kg})(10\text{ m/s}^2) - (1.000\text{ kg})\frac{(10\text{ m/s})^2}{20\text{ m}} = 5.000\text{ N}$$

Catatan: Penentuan resultan gaya radial mengikuti perjanjian sebagai berikut. Gaya yang berarah ke pusat lingkaran diberi tanda positif dan gaya yang berarah ke luar lingkaran diberi tanda negatif. Pada contoh di atas, mg berarah ke pusat lingkaran, sedangkan N berarah keluar lingkaran.

Contoh 5.12

Sebuah mobil melintasi tikungan datar berjari-jari 50 m dengan kelajuan 54 km/jam. Apakah mobil akan belok atau tergelincir jika

a. jalannya kering dengan koefisien gesekan statis μ_s = 0,6?

b. jalannya sedikit licin dengan koefisien gesekan statis μ_s = 0,2?

Jelajah Fisika

Isaac Newton

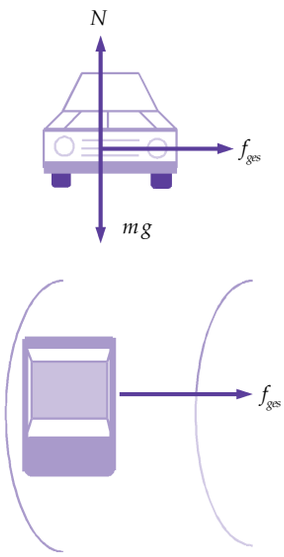
Siapa tak kenal Newton? Ahli fisika dan matematika dari Inggris ini adalah tokoh yang dianggap paling berjasa dalam meletakan dasar-dasar kalkulus, pemahaman tentang warna dan cahaya, dan mekanika. Ilmuwan yang hampir seluruh masa hidupnya diabadikan untuk belajar sendiri ini, pada usia yang relatif muda (25 tahun) berhasil merumuskan mekanika gerak planet yang kemudian terangkum dalam Hukum Gravitasi Newton yang sangat terkenal, yang membawanya ke puncak ketenaran sebagai ilmuwan terbesar sepanjang sejarah manusia. Selain pernah menjabat sebagai Lucassian Professor of mathematics di trinity collage yang prestisius itu, Newton juga dikenal sebagai ahli mistik dan ahli kimia.

Sumber: *Newton for Beginners*

Jawab

Diagram gaya-gaya yang bekerja pada mobil seperti diperlihatkan pada gambar. Pada sumbu vertikal berlaku

$$\sum F = N - mg = 0 \rightarrow N = mg$$



Pada sumbu horizontal, hanya ada gaya gesekan statis. Gaya gesekan inilah yang bertindak sebagai gaya sentripetal. Oleh karena gaya gesekan ini memiliki nilai maksimum $\mu_s N$, kelajuan mobil tidak boleh menghasilkan gaya sentripetal yang lebih besar daripada nilai gaya gesekan maksimum. Dengan kata lain, gaya gesekan maksimum membatasi kelajuan maksimum mobil. Kelajuan maksimum mobil diperoleh sebagai berikut.

$$\mu_s N = m\frac{v_{maks}^2}{R}$$

Karena $N = mg$, maka

$$\mu_s mg = m\frac{v_{maks}^2}{R}$$

sehingga diperoleh

$$v_{maks} = \sqrt{\mu_s gR}$$

Dalam kasus ini diketahui R = 50 m, v = 54 km/jam = 15 m/s, maka

(a) untuk μ_s = 0,6

$$v_{maks} = \sqrt{\mu_s gR} = \sqrt{(0{,}6)(10\ \text{m/s}^2)(50\ \text{m})} \cong 17\ \text{m/s}$$

Karena kelajuan mobil, v = 54 km/jam = 15 m/s, lebih kecil daripada kelajuan maksimum, mobil akan berbelok dengan aman (tidak tergelincir).

(b) untuk μ_s = 0,2

$$v_{maks} = \sqrt{\mu_s gR} = \sqrt{(0{,}2)(10\ \text{m/s}^2)(50\ \text{m})} = 10\ \text{m/s}^2$$

Karena kelajuan mobil, v = 54 km/jam = 15 m/s, lebih besar daripada kelajuan maksimum, mobil akan tergelincir.

Soal Penguasaan *Materi* 5.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

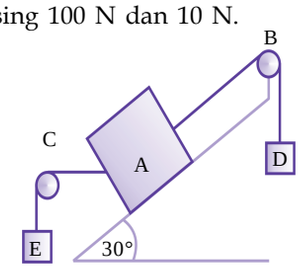
1. Sebuah benda yang massanya 100 g diikat dengan seutas tali yang panjangnya 0,5 m. Kemudian, benda ini diputar pada sebuah meja yang licin sehingga dapat berputar beraturan dengan kelajuan 20 m/s. Tentukanlah tegangan tali yang mengikat benda tersebut.
2. Sebuah benda bergerak melingkar beraturan pada sebuah piringan CD. Benda tersebut memiliki massa 0,1 kg dan kecepatan linear 10 m/s. Gaya yang dialami benda tersebut sehingga benda tetap berada pada lintasannya adalah 5 newton. Tentukanlah jari-jari lintasan tersebut.

Kerjakanlah

Buatlah sebuah portofolio mengenai manfaat dan kerugian aplikasi gaya menurut Hukum Newton. Laporkan hasilnya kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

Pembahasan Soal *SPMB*

Pada gambar sistem katrol berikut, berat benda A dan E masing-masing 100 N dan 10 N.



Apabila tali AC horizontal dan tali AB sejajar bidang, serta bidang miring dan katrol licin maka sistem setimbang untuk berat D sebesar ....

a. 50,5 N
b. 58,5 N
c. 62,5 N
d. 72,5 N
e. 81,5 N

Penyelesaian

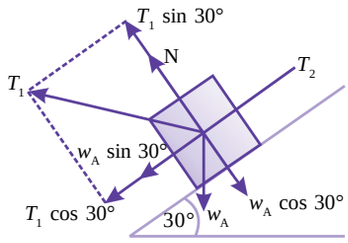
Diketahui: $w_A = 100$ N, dan
$w_E = 10$ N.

Dalam keadaan setimbang (diam). Percepatan sistem = 0.

Perhatikan komponen gaya yang bekerja pada benda E.

$$\sum F_E = 0$$
$$T_1 - w_E = 0$$
$$T_1 = w_E$$
$$T_1 = 10 \text{ N}$$

Perhatikan komponen gaya pada benda A.



$$\sum F_A = 0$$
$$T_2 - T_1 \cos 30° - w_A \sin 30° = 0$$
$$T_2 = T_1 \cos 30° + w_A \sin 30°$$
$$T_2 = 10 \cos 30° + 100 \sin 30°$$
$$T_2 = 10 \times \frac{1}{2}\sqrt{3} + 100 \times \frac{1}{2}$$
$$T_2 = 5\sqrt{3} + 50$$
$$T_2 = 58{,}5 \text{ N}$$

Perhatikan komponen gaya pada benda D.

$$\sum F_D = 0$$
$$w_D - T_2 = 0$$
$$w_D = T_2$$
$$w_D = 58{,}5 \text{ N}$$

Jadi, berat D supaya sistem berada dalam keadaan setimbang, yakni sebesar 58,5 N.

Jawab: d

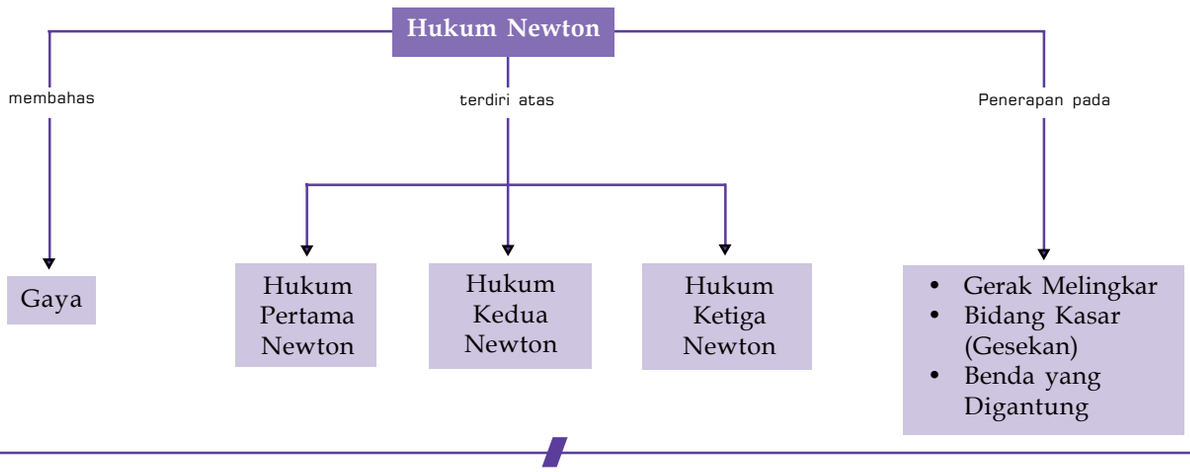
SPMB 2003

Rangkuman

1. **Hukum Pertama Newton** mengatakan bahwa *setiap benda akan tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali benda tersebut dipaksa untuk mengubah keadaannya oleh gaya-gaya yang berpengaruh padanya.*
$$\sum F = 0$$
2. **Hukum Kedua Newton** mengatakan bahwa *percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja pada benda dengan arah yang sama dengan arah gaya total, dan berbanding terbalik dengan massa benda.*
$$\sum F = ma$$
3. **Hukum Ketiga Newton** mengatakan bahwa *setiap benda pertama memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua itu akan memberikan gaya yang sama besar dan arahnya berlawanan pada benda pertama.*
4. Gaya yang dijelaskan oleh Newton dapat dibagi berdasarkan jenis-jenisnya, antara lain:
   a. gaya berat,
   b. gaya normal,
   c. gaya gesekan, dan
   d. gaya sentripetal.

5. Penerapan Hukum Newton dalam bidang.
   a. gaya tegangan tali pada sebuah benda yang digantung.
   b. gerak benda pada bidang datar yang kasar dan gayanya membentuk sudut.
   c. gerak benda pada bidang miring.
   d. gerak benda pada katrol.
   e. gaya tekan kaki pada lift.
   f. gaya kontak antara dua buah benda.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Dinamika Gerak, Anda dapat menerapkan Hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan. Jika Anda belum mampu menerapkan Hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan, Anda belum menguasai materi bab Dinamika Gerak dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 5

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

1. Berat benda menyatakan ....
   a. jumlah zat yang dikandung
   b. kelembamannya
   c. besaran yang sama dengan massa hanya dalam satuan berbeda
   d. gaya akibat gravitasi bumi
   e. massanya

2. Jika gaya total yang bekerja pada benda yang diam pada bidang datar tanpa gesekan tidak sama dengan nol atau konstan, benda akan ....
   a. kadang-kadang mengalami percepatan
   b. selalu bergerak dengan kecepatan konstan
   c. selalu mengalami percepatan konstan
   d. tetap diam
   e. selalu bergerak dengan kecepatan berubah

3. Gaya aksi dan reaksi menurut Hukum Ketiga Newton tentang gerak adalah ....
   a. bekerja pada benda yang sama
   b. bekerja pada benda yang berbeda
   c. besarnya sama, arah gaya aksinya tidak sama
   d. besar dan lintasan aksi tidak sama
   e. semua jawaban salah

4. Suatu gaya bekerja pada benda yang bermassa 5 kg dan mengalami percepatan 2 m/s^2. Gaya yang sama akan menyebabkan benda bermassa 20 kg mengalami percepatan ....
   a. 0,5 m/s^2
   b. 2,0 m/s^2
   c. 3,0 m/s^2
   d. 4,9 m/s^2
   e. 8,0 m/s^2

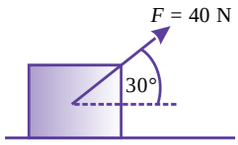
5. Gaya 10 N bekerja pada benda hingga mengalami percepatan 5 m/s^2. Gaya yang diperlukan untuk memperoleh percepatan 1 m/s^2 adalah ....
   a. 1 N
   b. 2 N
   c. 3 N
   d. 5 N
   e. 50 N

6. Sebuah gaya sebesar 40 N memperlambat gerobak dari 6 m/s menjadi 2 m/s dalam waktu 10 s. Berat gerobak tersebut adalah (jika g = 10 m/s^2) ....
   a. 100N
   b. 200N
   c. 490 N
   d. 980 N
   e. 1.000 N

7. Gaya sebesar 1 N bekerja pada benda bermassa 2 kg yang mula-mula diam selama 2 s. Jarak tempuh benda dalam interval waktu tersebut adalah ....
   a. 0,5 m
   b. 1,0 m
   c. 2,0 m
   d. 3,0 m
   e. 4,0 m

8. Sebuah balok yang beratnya w ditarik sepanjang permukaan datar dengan kelajuan konstan v oleh gaya F yang bekerja pada sudut θ terhadap bidang horizontal. Besarnya gaya normal yang bekerja pada balok oleh permukaan adalah ....
   a. $w + F\cos\theta$
   b. $w - F\sin\theta$
   c. $w - F\cos\theta$
   d. $w + F\sin\theta$
   e. w

9. Sebuah balok beratnya 100 N. Pada balok tersebut bekerja sebuah gaya seperti pada gambar berikut.



   Besarnya gaya normal yang bekerja pada balok adalah ....
   a. 20 N
   b. $20\sqrt{3}$ N
   c. 40 N
   d. 60 N
   e. 80 N

10. Bola yang massanya 500 g berada di tanah, kemudian ditendang dengan gaya 250 N. Jika sentuhan kaki dan bola terjadi selama 0,02 s, bola akan bergerak dengan kelajuan ....
    a. 0,01 m/s
    b. 0,1 m/s
    c. 2,5 m/s
    d. 10 m/s
    e. 20 m/s

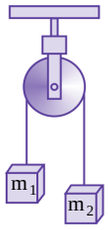
11. Sebuah mobil yang massanya 800 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s dan tiba-tiba direm dengan gaya 200 N. Waktu yang diperlukan untuk berhenti adalah ....
    a. 8 s
    b. 20 s
    c. 30 s
    d. 40 s
    e. 80 s

12. Sebuah balok 4 kg yang mula-mula diam ditarik dengan sebuah gaya horizontal F. Jika pada saat t = 3 s balok telah berpindah sejauh 2,25 m, besar gaya F adalah ....
    a. 2 N
    b. 4 N
    c. 6 N
    d. 8 N
    e. 10 N

13. Sebuah gaya tunggal 10 N bekerja pada benda yang memiliki massa m. Benda bergerak dari keadaan diam dalam garis lurus sejauh 18 m dalam waktu 6 s. Massa benda adalah ....
    a. 10 kg
    b. 12 kg
    c. 14 kg
    d. 16 kg
    e. 18kg

14. Sebuah tas bermassa 10 kg digantung dengan seutas tali, kemudian tas tersebut digerakkan vertikal ke bawah dengan percepatan 5 m/s^2. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, besarnya tegangan tali adalah ....
    a. T = 25 N
    b. T = 50 N
    c. T = 100 N
    d. T = 150 N
    e. T = 200 N

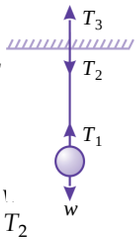
15. Perhatikan gambar di samping. Massa benda $m_1 = 2$ kg, $m_2 = 3$ kg, jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 dan gesekan tali dengan katrol diabaikan, percepatan sistem adalah ....



a. 2 m/s^2
b. 2,5 m/s^2
c. 4 m/s^2
d. 5 m/s^2
e. 8 m/s^2

16. Ketika gaya sebesar 1 N bekerja pada benda bermassa 1 kg yang mampu bergerak bebas, benda tersebut menerima ....
a. kelajuan 1 m/s
b. percepatan 0,102 m/s^2
c. percepatan 1 m/s^2
d. percepatan 9,8 m/s^2
e. percepatan 10 m/s^2

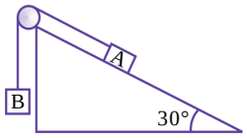
17. Sebuah bola besi digantungkan pada langit-langit dengan seutas tali seperti pada gambar di samping. Jika T tegangan tali dan w berat beban, berikut ini yang merupakan pasangan gaya aksi reaksi adalah ....



a. T_1 dan w
b. T_2 dan w
c. T_1 dan T_2
d. T_3 dan T_1
e. T_3 dan T_2

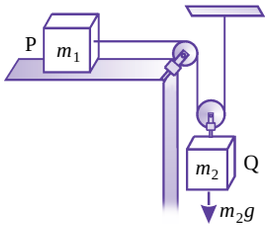
18. Seseorang yang massanya 48 kg berada di dalam sebuah lift. Jika gaya reaksi lantai lift terhadap orang itu 576 N dan $g = 10$ m/s^2 maka ....
a. lift bergerak ke bawah dengan percepatan 2 m/s^2
b. lift bergerak ke atas dengan percepatan 2 m/s^2
c. lift bergerak ke atas dengan kecepatan 2 m/s
d. lift bergerak ke atas dengan percepatan 4 m/s^2
e. lift bergerak ke bawah dengan percepatan 4 m/s^2

19. Perhatikan gambar berikut ini.



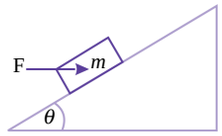
Diketahui $m_A = m_B = 2$ kg dan tidak ada gesekan antara benda A dan alasnya. Jika $g = 10$ m/s^2, percepatan yang dialami oleh sistem adalah ....
a. 0
b. 2,5 m/s^2
c. 4 m/s^2
d. 5 m/s^2
e. 10 m/s^2

20. Perhatikan gambar berikut ini.



Jika P dan Q pada sistem tersebut dalam keadaan bergerak maka ....
a. kecepatan P = kecepatan Q
b. percepatan P = percepatan Q
c. percepatan P = 2 kali percepatan Q
d. percepatan P = 3 kali percepatan Q
e. kecepatan P = 4 kali kecepatan Q

21. Sebuah gaya F bekerja pada benda yang berada pada bidang miring licin dengan sudut kemiringan θ.

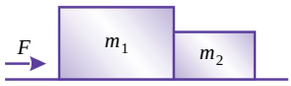


Jika massa benda m dan percepatan gravitasi bumi g, resultan gaya yang bekerja pada benda dalam arah bidang miring adalah ....
a. $F \cos \theta - mg \sin \theta$
b. $F \sin \theta - mg \cos \theta$
c. $F \sin \theta + mg \cos \theta$
d. $F \cos \theta + mg \sin \theta$
e. $F + \tan \theta$

22. Mobil 700 kg mogok di jalan yang mendatar. Kabel horizontal mobil derek yang dipakai untuk menyeretnya akan putus jika tegangan di dalamnya melebihi 1.400 N. Percepatan maksimum yang dapat diterima mobil mogok itu dari mobil derek adalah ($g = 10$ m/s^2) ....
a. 2 m/s^2
b. 8 m/s^2
c. 10 m/s^2
d. 7 m/s^2
e. 0 m/s^2

23. Seseorang dengan massa 60 kg berada dalam lift yang sedang bergerak ke bawah dengan percepatan 3 m/s^2. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, desakan kaki orang dalam lift adalah ....
a. 420 N
b. 570 N
c. 600 N
d. 630 N
e. 780 N

24. Perhatikan gambar berikut ini.



Dua buah balok, masing-masing bermassa m_1 dan m_2 berada di atas meja yang licin tanpa gesekan. Jika $m_1 = 2$ kg dan $m_2 = 1$ kg serta kedua benda didorong dengan sebuah gaya $F = 3$ N, seperti pada gambar, besarnya gaya kontak antara m_1 dan m_2 adalah ....
a. 1 N
b. 2 N
c. 3 N
d. 4 N
e. 5 N

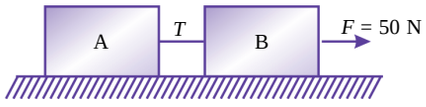
25. Sebuah benda yang massanya 0,1 kg, diikat dengan seutas tali yang panjangnya 1 m, lalu diputar horizontal dengan kecepatan tetap 2 m/s. Besar tegangan minimum yang dialami tali adalah ....
a. 0,4 N
b. 0,5 N
c. 0,6 N
d. 0,8 N
e. 1,0 N

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Sebuah benda bermassa 25 kg terletak diam di atas bidang datar yang kasar, seperti pada gambar berikut.

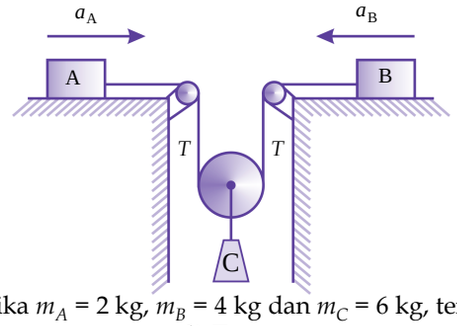
Kemudian, benda tersebut didorong dengan gaya F horizontal sebesar 100 N. Ternyata, setelah 5 sekon, kecepatan benda menjadi 10 m/s. Tentukanlah besar koefisien gesekan kinetik μ_k antara benda dengan lantai.

2. Dua buah balok disusun seperti pada gambar dan terletak pada bidang datar licin.



Jika massa A = 6 kg dan massa B = 4 kg, tentukanlah tegangan tali antara benda A dan B.

3. Perhatikan gambar berikut.

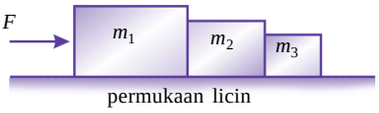


Jika m_A = 2 kg, m_B = 4 kg dan m_C = 6 kg, tentukanlah besar tegangan tali T.

4. Seseorang menaiki sebuah lift pada gedung bertingkat. Jika massa orang tersebut 60 kg, berapakah tekanan yang dilakukan oleh kaki orang tersebut jika lift bergerak dengan:
   a. kecepatan tetap 3 m/s,
   b. percepatan tetap 3 m/s^2 ke bawah, dan
   c. percepatan tetap 3 m/s^2 ke atas.

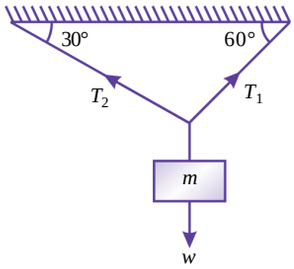
5. Sebuah balok kayu yang beratnya 8 N meluncur pada bidang datar kasar dengan percepatan tetap. Jika koefisien gesekan kinetik antara bidang dan balok adalah 0,2, tentukanlah gaya gesek kinetiknya.

6. Perhatikan gambar berikut.



Jika m_1 = 6 kg, m_2 = 4 kg, m_3 = 2 kg, dan F = 60 N, tentukanlah gaya kontak pada benda kedua.

7. Sebuah benda digantung seperti pada gambar berikut.



Jika sistem dalam keadaan seimbang, tentukanlah persamaan gaya pada sumbu-y.

8. Sebutkan dan jelaskan Hukum Newton tentang gaya.

9. Pesawat mainan dengan massa 500 gram dihubungkan dengan tali yang panjangnya 10 m dan bergerak melingkar. Jika kecepatan sudut pesawat 10 rad/s, tentukanlah tegangan tali di titik tertinggi.

10. Dari macam-macam gaya yang Anda ketahui, sebutkan dan berikan contoh gaya yang bermanfaat dan merugikan di dalam kehidupan sehari-hari.

Evaluasi Materi Semester 1

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

1. Di antara kelompok besaran berikut ini yang hanya terdiri atas besaran pokok saja adalah ....
   a. kuat arus, massa, gaya
   b. massa jenis, waktu, gaya
   c. panjang, intensitas cahaya, massa
   d. usaha, momentum, berat jenis
   e. kecepatan, volume, percepatan

2. Jika M dimensi massa, L dimensi panjang, dan T dimensi waktu, dimensi tekanan adalah ....
   a. $ML^{-1}T^{-1}$
   b. $ML^{-1}T^{-2}$
   c. MLT^{-1}
   d. MLT^{-2}
   e. $ML^{2}T^{-3}$

3. Perhatikan tabel berikut.

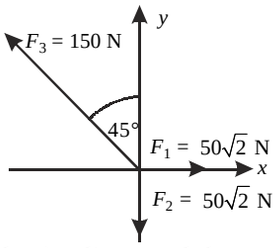
No.	Besaran	Satuan	Dimensi
1	Momentum	kg m/s	$[MLT^{-1}]$
2	Gaya	kg m/s^2	$[MLT^{-2}]$
3	Daya	kg m^2/s^3	$[ML^{2}T^{-3}]$

   Dari tabel tersebut, yang memiliki satuan dan dimensi yang benar adalah besaran nomor ....
   a. 1 saja
   b. 1 dan 2 saja
   c. 1, 2, dan 3
   d. 1 dan 3 saja
   e. 2 dan 3 saja

4. Jika akan mengukur diameter dalam sebuah cincin, alat ukur yang harus digunakan adalah ....
   a. termometer
   b. jangka sorong
   c. mikrometer sekrup
   d. *stopwatch*
   e. neraca ohaus

5. Momentum memiliki dimensi yang sama dengan dimensi besaran ....
   a. impuls
   b. energi
   c. gaya
   d. tekanan
   e. percepatan

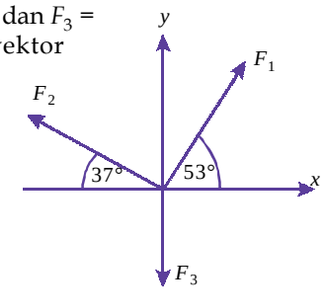
6. Resultan ketiga gaya pada gambar berikut adalah ....



   a. 125 N
   b. 50 N
   c. 100 N
   d. 25 N
   e. 75 N

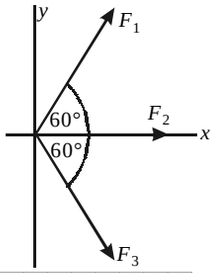
7. Dua buah gaya (setitik tangkap) saling tegak lurus, besarnya masing-masing 12 N dan 5 N. Besar resultan kedua gaya tersebut adalah ....
   a. 17 N
   b. 15 N
   c. 13 N
   d. 9 N
   e. 7 N

8. Jika F_1 = 10 N, F_2 = 5 N, dan F_3 = 9 N, resultan ketiga vektor tersebut adalah ....



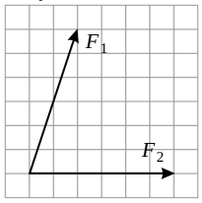
   a. 0
   b. $2\sqrt{5}$
   c. $3\sqrt{3}$
   d. $\sqrt{5}$
   e. $2\sqrt{2}$

9. Tiga buah vektor gaya masing-masing F_1 = 30 N, F_2 = 70 N, dan F_3 = 30 N disusun. Besar resultan ketiga vektor tersebut adalah ....



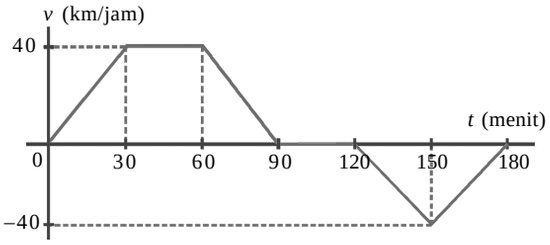
   a. 0
   b. 70 N
   c. 85 N
   d. $85\sqrt{3}$ N
   e. 100 N

10. Perhatikan vektor-vektor yang besar dan arahnya terlukis pada kertas berpetak, seperti pada gambar berikut. Jika panjang satu petak adalah 1 N maka besar resultan kedua vektor adalah ....



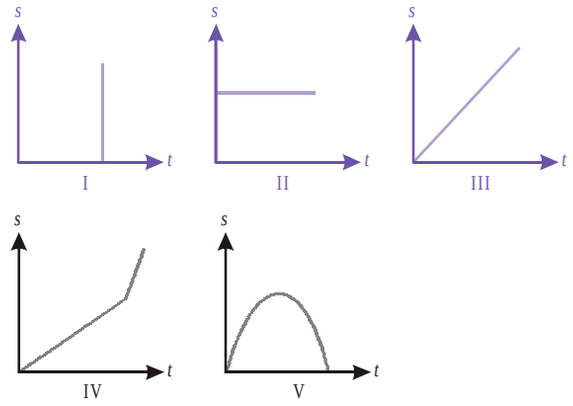
   a. 8 N
   b. 9 N
   c. 10 N
   d. 11 N
   e. 12 N

11. Seseorang mengadakan perjalanan menggunakan mobil dari kota A ke kota B, seperti diperlihatkan pada grafik berikut ini.



   Sumbu-y sebagai komponen kecepatan dan sumbu-x sebagai komponen waktu. Jarak yang ditempuh kendaraan tersebut selama selang waktu dari menit ke-30 sampai menit ke-120 adalah ....
   a. 10 km
   b. 15 km
   c. 20 km
   d. 30 km
   e. 40 km

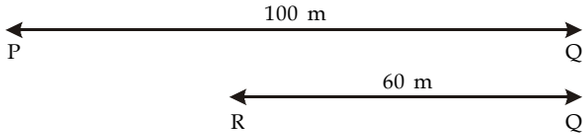
12. Perhatikan kelima grafik hubungan antara jarak (s) terhadap waktu (t) berikut.



Gerak lurus beraturan dinyatakan oleh grafik ....

a. I
b. II
c. III
d. IV
e. V

13. Olahragawan berlari pada lintasan PQ → QR (perhatikan gambar berikut).



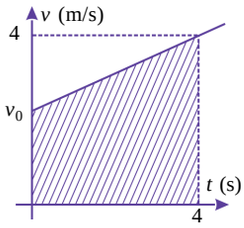
Dari P ke Q, ditempuh dalam waktu 20 sekon, sedangkan Q ke R ditempuh dalam waktu 20 sekon. Kecepatan rata-rata pelari tersebut adalah ....

a. 1 m/s
b. 2 m/s
c. 4 m/s
d. 6 m/s
e. 12 m/s

14. Sebuah benda dilepaskan tanpa kecepatan awal dari sebuah menara yang tingginya 100 m (gesekan udara diabaikan). Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2, ketinggian benda diukur dari tanah pada saat 2 sekon adalah ....

a. 20 m
b. 25 m
c. 50 m
d. 70 m
e. 80 m

15. Gerak mobil menghasilkan grafik hubungan kecepatan (v) terhadap waktu (t), seperti pada gambar berikut. Jika jarak yang ditempuh mobil selama 4 sekon adalah 48 m maka kecepatan awal mobil (v_0) adalah ....



a. 16 m/s
b. 12 m/s
c. 10 m/s
d. 15 m/s
e. 4 m/s

16. Rani memutar bola yang diikat dengan tali secara horizontal. Jika laju linearnya diubah menjadi 5 kali semula, percepatan sentripetalnya menjadi ....

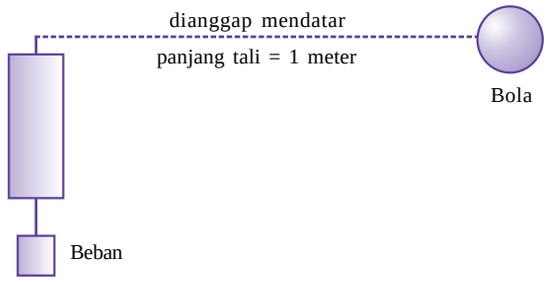
a. 25 kali semula
b. 20 kali semula
c. 15 kali semula
d. 10 kali semula
e. 5 kali semula

17. Perhatikan pernyataan berikut.
(1) Berbanding lurus dengan percepatan sudut.
(2) Berbanding terbalik dengan jari-jari.
(3) Berbanding lurus dengan jari-jari.
(4) Berbanding lurus dengan pangkat-pangkat kecepatan linear.

Pernyataan yang berlaku untuk percepatan tangensial pada gerak melingkar adalah ....

a. 1 dan 2
b. 1 dan 3
c. 2 dan 4
d. 3 dan 4
e. 4 saja

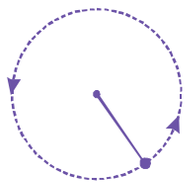
18. Seorang siswa melakukan percobaan dengan mengikat sebuah bola dengan tali, kemudian bola tersebut diputar melingkar horizontal yang keadaannya terlihat seperti pada gambar.



Jika bola berputar tetap dengan kecepatan sudut sebesar 5π rad/s dan g = 10 m/s^2, benda akan berhenti setelah 2 sekon, maka jumlah putarannya adalah ....

a. 2,5 kali
b. 5 kali
c. 10 kali
d. 15 kali
e. 25 kali

19. Sebuah benda yang bermassa 200 g diikat dengan tali ringan, kemudian diputar secara horizontal dengan kecepatan sudut tetap sebesar 5 rad/s, seperti pada gambar berikut. Jika panjang tali ℓ = 60 cm, besarnya gaya sentripetal yang bekerja pada benda adalah ....

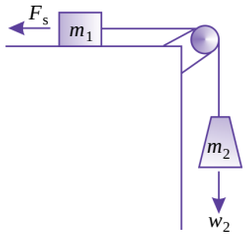


a. 0,3 N
b. 0,6 N
c. 3 N
d. 6 N
e. 30 N

20. Sebuah jalan melengkung dengan jari-jari kelengkungan R. Titik pusat kelengkungannya ada di atas jalan tersebut. Sebuah mobil yang beratnya w bergerak dengan kecepatan v dan berada di titik terendah jalan. Jika pecepatan gravitasi g, gaya yang diakibatkan pada jalan tersebut oleh mobil adalah ....

a. $\frac{w}{g}\left(1+\frac{v^2}{R}\right)$
b. $w\left(1+\frac{v^2}{gR}\right)$
c. $wv^2\ (w + gR)$
d. $\frac{w}{g}\left(1-\frac{v^2}{R}\right)$
e. $w\left(1-\frac{v^2}{gR}\right)$

21. Perhatikan gambar peralatan berikut ini.

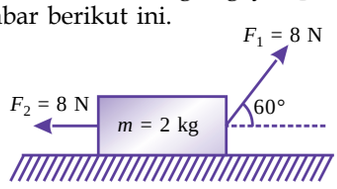


Jika beban m_2 ditambah sedikit demi sedikit, pada saat balok m_1 akan mulai bergerak, hal tersebut berarti

(1) $m_1 = m_2$ (3) $w_2 > F_s$
(2) $w_1 = w_2$ (4) $w_2 = F_s$

Pernyataan di atas yang benar adalah ....
a. 1, 2, dan 3
b. 1 dan 3
c. 2 dan 4
d. 4 saja
e. semua benar

22. Sebuah balok bermassa 2 kg terletak pada bidang datar licin dan ditarik dengan gaya F_1 dan F_2, seperti pada gambar berikut ini.



Besar dan arah percepatan yang bekerja pada benda adalah ....
a. 1 m/s^2 ke kiri
b. 1 m/s^2 ke kanan
c. 2 m/s^2 ke kiri
d. 2 m/s^2 ke kanan
e. $2\sqrt{2}$ m/s^2 ke kanan

23. Sebuah benda meluncur dengan kecepatan 4 m/s pada permukan bidang datar kasar yang memiliki koefisien gesekan kinetik 0,4. Jika massa benda 2 kg dan percepatan gravitasi 10 m/s^2, benda akan berhenti setelah menempuh jarak ....
a. 1 m
b. 1,5 m
c. 2 m
d. 2,5 m
e. 3 m

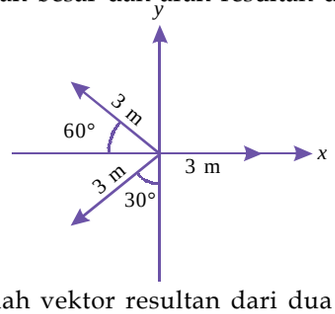
24. Seorang anak berada di dalam lift yang bergerak ke atas dengan percepatan 4 m/s^2. Jika massa anak 40 kg dan percepatan gravitasinya 10 m/s^2, gaya normal (N) yang bekerja pada anak tersebut adalah ....
a. 40 N
b. 160 N
c. 240 N
d. 400 N
e. 560 N

25. Gesekan bermanfaat bagi manusia, contohnya
(1) Anda dapat berjalan tanpa terpeleset,
(2) kendaraan beroda dapat bergerak,
(3) hancurnya benda langit saat jatuh ke bumi,
(4) gesekan air saat berenang.

Pernyataan yang benar tentang manfaat gesekan adalah ....
a. (1), (2), dan (3)
b. (1) dan (3)
c. (2) dan (4)
d. (4) saja
e. (1), (2), (3), dan (4)

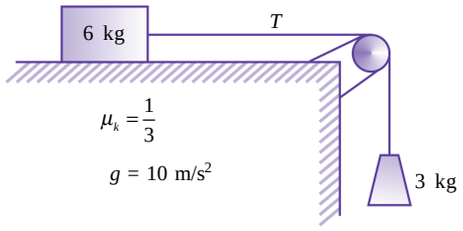
B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Seorang siswa melakukan percobaan di laboratorium dan melakukan pengukuran pelat tipis dengan menggunakan jangka sorong. Dari hasil pengukuran, diperoleh panjang 2,23 cm dan lebar 1,6 cm. Tentukanlah luas pelat tersebut menurut aturan penulisan angka penting.
2. Tentukanlah dimensi dari besaran turunan berikut ini.
   a. Usaha (gaya dikali perpindahan).
   b. Massa jenis (massa dibagi volume).
   c. Energi (massa dikali percepatan gravitasi dikali ketinggian).
   d. Daya (usaha dibagi waktu).
   e. Percepatan gravitasi.
3. Tentukanlah besar dan arah resultan dari gambar berikut.



4. Tentukanlah vektor resultan dari dua buah gaya F_1 = 6 N dan F_2 = 8 N yang membentuk sudut
   a. 0°
   b. 60°
   c. 90°

5. Sebuah helikopter terbang ke arah timur dengan kecepatan 72 km/jam. Selama penerbangan itu, angin berembus dari utara dengan kecepatan 54 km/jam. Berapa perpindahan helikopter setelah 2 jam meninggalkan landasan?
6. Sebuah bola tenis dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan 30 m/s. Berapa tinggi maksimum yang dicapai bola tenis tersebut dan tentukanlah waktu yang diperlukan bola ketika tiba di tanah.
7. Sebuah benda bermassa 8 kg, bergerak secara beraturan dalam lintasan melingkar dengan laju 5 m/s. Jika jari-jari lingkaran tersebut 1 m, tentukanlah:
   a. gaya sentripetal, dan
   b. waktu putarnya.
8. Sebuah bola bermassa 0,2 kg diikat dengan tali sepanjang 0,5 m, kemudian diputar sehingga melakukan gerak melingkar beraturan dalam bidang vertikal. Jika pada saat mencapai titik terendah laju bola adalah 5 m/s, tentukanlah tegangan talinya.
9. Perhatikan gambar berikut.



   Jika massa katrol diabaikan, tentukanlah tegangan tali T.
10. Koefisien gesekan statis antara sebuah lemari kayu dengan lantai kasar suatu bak truk sebesar 0,75. Tentukanlah percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki truk agar lemari tetap tidak bergerak terhadap bak truk tersebut.

Sumber: *voyager.jpl.nasa.gov*

Bab 6

Alat-Alat Optik

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep dan prinsip kerja alat-alat optik dengan cara menganalisis alat-alat optik secara kuantitatif serta menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.

A. Mata dan Kacamata
B. Kamera
C. Lup
D. Mikroskop
E. Teropong

Anda memiliki kamera? Meskipun Anda tidak memiliki kamera, tetapi setidaknya Anda pasti pernah berhadapan dengan kamera, yakni ketika Anda difoto. Pernahkah Anda bertanya, bagaimana kamera itu bekerja?

Kamera merupakan salah satu alat optik. Dewasa ini, seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, kualitas gambar yang dihasilkan kamera semakin baik. Hasil foto pun dapat diolah lagi. Ketika Anda difoto dengan latar belakang rumah Anda, hal tersebut dapat disulap menjadi berlatar belakang menara Pissa atau Istana Negara. Hal ini tidak terlepas dari berkembangnya kamera digital yang hasilnya dapat dibaca dan diolah dengan bantuan komputer.

Bukan hanya kamera yang termasuk alat optik, tetapi masih terdapat banyak benda yang termasuk alat optik, seperti lup, mikroskop, dan teropong. Bahkan, mata kita juga termasuk ke dalam alat optik. Bahkan, mata merupakan alat optik ciptaan Tuhan yang tiada ternilai harganya. Anda dapat menikmati keindahan dunia berkat mata. Anda juga dapat membaca tulisan ini karena mata. Oleh karena itu, bersyukurlah kepada Tuhan. Apakah Anda tahu bagaimana alat optik bekerja? Jika Anda menggunakan kacamata, bagaimanakah cara kerja kacamata sehingga Anda dapat melihat seperti mata normal? Supaya Anda memahami materi mengenai alat-alat optik, pelajarilah bahasan-bahasan berikut ini dengan saksama.

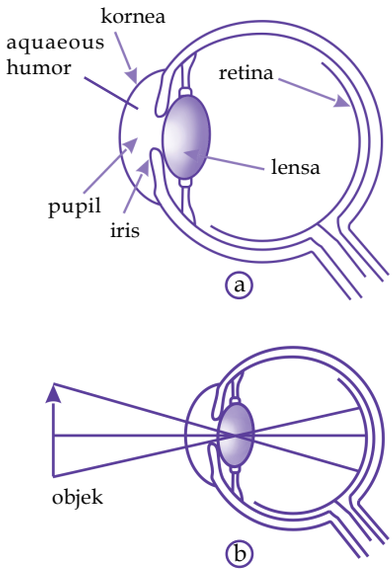
Soal *Pramateri*

1. Jelaskan yang Anda ketahui mengenai alat optik.
2. Sebutkan alat-alat optik yang Anda ketahui beserta kegunaannya.
3. Jelaskan yang Anda ketahui cara kerja dari mata sampai terbentuk bayangan.

A Mata dan Kacamata

1. Mata

Mata merupakan alat optik alamiah, ciptaan Tuhan yang sangat berharga. Diagram sederhana mata manusia adalah seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 6.1(a)**. Bagian depan mata yang memiliki lengkung lebih tajam dan dilapisi selaput cahaya disebut kornea. Tepat di belakang kornea terdapat cairan (*aquaeous humor*). Cairan ini berfungsi untuk membiaskan cahaya yang masuk ke mata. Intensitas cahaya yang masuk ke mata diatur oleh pupil, yakni celah lingkaran yang dibentuk oleh iris. Iris sendiri merupakan selaput yang selain berfungsi membentuk pupil, juga berfungsi sebagai pemberi warna pada mata (hitam, biru, atau coklat). Setelah melewati pupil, cahaya masuk ke lensa mata. Lensa mata ini berfungsi untuk membentuk bayangan nyata sedemikian sehingga jatuh tepat di retina. Bayangan yang ditangkap retina bersifat nyata dan terbalik. Bayangan ini kemudian disampaikan ke otak melalui syaraf optik dan diatur sehingga manusia mendapatkan kesan melihat benda dalam kondisi tegak. Proses pembentukan bayangan pada mata diilustrasikan pada **Gambar 6.1(b)**.

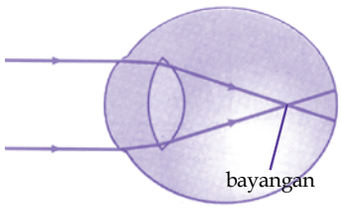


Gambar 6.1
(a) Diagram sederhana mata manusia.
(b) Lensa mata membentuk bayangan nyata dan terbalik di retina.

Mata memiliki daya akomodasi, yakni kemampuan untuk mengubah-ubah jarak fokus lensa mata sehingga bayangan benda yang dilihat selalu jatuh tepat di retina. Jarak fokus lensa mata diubah dengan cara mengatur ketebalannya (menipis atau menebal) yang dilakukan oleh otot siliar. Daya akomodasi ini memungkinkan mata dapat melihat dengan jelas setiap benda yang dilihatnya, meskipun jaraknya berbeda-beda di depan mata.

Akan tetapi, meskipun memiliki daya akomodasi, mata memiliki keterbatasan jangkauan pandang. Mata tidak dapat melihat benda yang terlalu dekat atau terlalu jauh. Sebagai contoh, mampukah Anda melihat partikel debu yang masuk/menempel pada kornea mata Anda? Atau sebaliknya, mampukah Anda melihat dengan jelas benda yang sangat jauh sekali? Tentu tidak, bukan? Jarak titik terdekat dari mata yang masih dapat dilihat dengan jelas disebut titik dekat, sedangkan jarak titik terjauh dari mata yang masih dapat dilihat dengan jelas disebut titik jauh. Ketika mata melihat pada titik dekatnya, mata dalam keadaan berakomodasi maksimum dan ketika mata melihat pada titik jauhnya, mata dalam keadaan tanpa akomodasi.

Berdasarkan jangkauan pandang ini, mata dibedakan menjadi mata normal (emetropi) dan mata cacat. Mata normal memiliki jangkauan pandang dari 25 cm sampai takhingga. Dengan kata lain, titik dekat mata normal adalah 25 cm, sedangkan titik jauhnya takhingga (jauh sekali). Mata yang jangkauan pandangnya tidak sama dengan jangkauan pandang mata normal disebut mata cacat, yang terdiri dari miopi, hipermetropi, dan presbiopi.



Gambar 6.2
Pada mata miopi, bayangan benda jauh jatuh di depan retina.

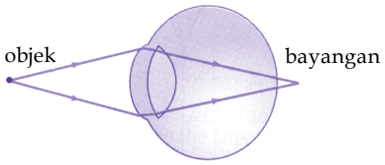
Miopi atau rabun jauh adalah mata yang hanya dapat melihat dengan jelas benda-benda dekat. Mata miopi memiliki titik dekat lebih dekat dari 25 cm dan titik jauh terbatas pada jarak tertentu. Miopi biasanya disebabkan oleh bola mata yang terlalu lonjong, bahkan kadang-kadang lengkungan korneanya terlalu besar. Pada mata miopi, bayangan benda jauh jatuh di depan retina, seperti diilustrasikan pada **Gambar 6.2**. Akibatnya, bayangan benda jauh akan tampak kabur.

Hipermetropi atau rabun dekat adalah mata yang tidak dapat melihat benda-benda dekat dengan jelas. Mata hipermetropi memiliki titik dekat lebih jauh dari 25 cm dan titik jauhnya takhingga. Meskipun dapat melihat dengan jelas benda-benda jauh, titik dekat yang lebih besar dari 25 cm membuat mata hipermetropi mengalami kesulitan untuk membaca pada jarak

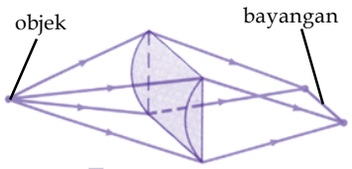
baca normal. Cacat mata ini disebabkan oleh bola mata yang terlalu memipih atau lengkungan korneanya kurang. Ketika mata hipermetropi digunakan untuk melihat benda-benda dekat, bayangan benda-benda ini akan jatuh di belakang retina, seperti diilustrasikan pada **Gambar 6.3**. Akibatnya, bayangan benda dekat menjadi terlihat kabur.

Presbiopi memiliki titik dekat lebih jauh dari 25 cm dan titik jauh terbatas. Dengan demikian, penderita presbiopi tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda jauh dan juga tidak dapat membaca dengan jelas pada jarak baca normal. Umumnya, presbiopi terjadi karena faktor usia (tua) sehingga otot siliarnya tidak mampu membuat lensa mata berakomodasi normal seperti ketika ia masih muda.

Selain ketiga jenis cacat mata tersebut, ada lagi yang disebut astigmatisma. Pada penderita astigmatisma, benda titik akan terlihat sebagai sebuah garis dan kabur, seperti diilustrasikan pada **Gambar 6.4**. Hal ini terjadi karena lensa matanya tidak berbentuk bola, melainkan berbentuk silinder.



Gambar 6.3
Pada mata hipermetropi, bayangan benda dekat jatuh di belakang retina..



Gambar 6.4
Pada mata astigmatisma, benda titik akan terlihat sebagai sebuah garis dan kabur.

2. Kacamata

Kacamata merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengatasi cacat mata. Kacamata terdiri dari lensa cekung atau lensa cembung, dan frame atau kerangka tempat lensa berada, seperti yang dapat Anda lihat pada **Gambar 6.5**. Fungsi dari kacamata adalah mengatur supaya bayangan benda yang tidak dapat dilihat dengan jelas oleh mata menjadi jatuh di titik dekat atau di titik jauh mata, bergantung pada jenis cacat matanya.

Di SMP, Anda telah mempelajari bahwa jika sebuah benda berada di depan sebuah lensa, bayangan akan dibentuk oleh lensa tersebut. Jauh dekatnya bayangan terhadap lensa, bergantung pada letak benda dan jarak fokus lensa. Hubungan tersebut secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f} \qquad (6\text{–}1)$$

dengan: S = jarak benda ke lensa (m),
S' = jarak bayangan ke lensa (m), dan
f = jarak fokus lensa (m).

Selain itu, Anda juga pernah mempelajari kekuatan atau daya lensa. Kekuatan atau daya lensa adalah kemampuan lensa untuk memfokuskan sinar yang datang sejajar dengan lensa. Hubungan antara daya lensa dan kekuatan lensa memenuhi persamaan

$$P=\frac{1}{f} \qquad (6\text{–}2)$$

dengan: P = kekuatan atau daya lensa (dioptri), dan
f = jarak fokus lensa (m).

Sumber: *Dokumentasi Penerbit*

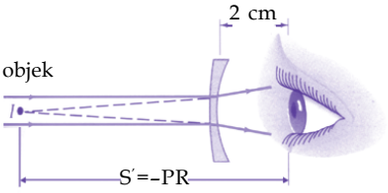
Gambar 6.5
Kacamata dapat membantu orang yang cacat mata.

a. Kacamata Berlensa Cekung untuk Miopi

Seperti telah dibahas sebelumnya, mata miopi tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang jauh atau titik jauhnya terbatas pada jarak tertentu. Lensa kacamata yang digunakan penderita miopi harus membentuk bayangan benda-benda jauh ($S\sim$) tepat di titik jauh mata atau $S' = -PR$, dengan PR singkatan dari *punctum remotum*, yang artinya titik jauh. Tanda negatif pada S' diberikan karena bayangan yang dibentuk lensa kacamata berada di depan lensa tersebut atau bersifat maya. Jika nilai S dan S' tersebut Anda masukkan ke dalam **Persamaan (6–1)**, diperoleh

Kata Kunci

- Astigmatisme
- Aquaeous humor
- Daya lensa
- Emetropi
- Hipermetropi
- Kacamata
- Mata
- Miopi
- Presbiopi
- Retina
- Titik dekat
- Titik jauh



Gambar 6.6
Bayangan benda jauh yang dibentuk lensa untuk miopi harus jatuh di titik jauh mata.

$$\frac{1}{\sim}+\frac{1}{-PR}=\frac{1}{f}$$

sehingga diperoleh jarak fokus lensa kacamata untuk mata miopi memenuhi persamaan

$$\boxed{f=-PR} \qquad (6\text{–}3)$$

Persamaan (6–3) menunjukkan bahwa jarak fokus lensa kacamata adalah negatif dari titik jauh mata miopi. Tanda negatif menunjukkan bahwa keterbatasan pandang mata miopi perlu diatasi oleh kacamata berlensa negatif (cekung atau divergen).

Jika **Persamaan (6–3)** dimasukkan ke dalam **Persamaan (6–2)**, diperoleh

$$\boxed{P=-\frac{1}{PR}} \qquad (6\text{–}4)$$

dengan PR dinyatakan dalam satuan m (meter) dan P dalam dioptri.

Contoh 6.1

Seseorang hanya mampu melihat benda dengan jelas paling jauh pada jarak 2 m dari matanya. Berapakah kekuatan lensa kacamata yang diperlukannya?

Jawab
Diketahui: titik jauh PR = 2 m.
maka sesuai dengan **Persamaan (6–4)**, kekuatan lensa kacamatanya adalah

$$P=-\frac{1}{PR}=-\frac{1}{2}\text{ dioptri}$$

Jelajah Fisika

Kacamata

Kacamata telah digunakan selama hampir 700 tahun. Kacamata yang paling dini memiliki sepasang lensa cembung dan dipakai oleh orang-orang yang menderita presbiopi atau rabun mata yang menyebabkan penderitanya tidak dapat melihat benda dengan jelas. Pada tahun 1784, Benjamin Franklin menciptakan kacamata bifokal yang lensa-lensanya terdiri atas dua bagian dan masing-masing memiliki jarak fokal yang berbeda.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

b. Kacamata Berlensa Cembung untuk Hipermetropi

Karena hipermetropi tidak dapat melihat benda-benda dekat dengan jelas, lensa kacamata yang digunakannya haruslah lensa yang dapat membentuk bayangan benda-benda dekat tepat di titik dekat matanya. Benda-benda dekat yang dimaksud yang memiliki jarak 25 cm di depan mata. Oleh karena itu, lensa kacamata harus membentuk bayangan benda pada jarak S = 25 cm tepat di titik dekat (PP, *punctum proximum*) atau S' = $-PP$. Kembali tanda negatif diberikan pada S' karena bayangannya bersifat maya atau di depan lensa. Jika nilai S dan S' ini dimasukkan ke dalam **Persamaan (6–1)** dan **(6–2)**, diperoleh

$$\boxed{P=\frac{1}{f}=4-\frac{1}{PP}} \qquad (6\text{–}5)$$

dengan PP dinyatakan dalam satuan meter (m) dan P dalam dioptri. Karena $PP > 0{,}25$ m, kekuatan lensa P akan selalu positif. Hal ini menunjukkan bahwa seseorang yang bermata hipermetropi perlu ditolong oleh kacamata berlensa positif (cembung atau konvergen).

Contoh 6.2

Seseorang menggunakan kacamata berkekuatan +2 dioptri agar dapat membaca seperti orang bermata normal. Berapa jauhkah letak benda terdekat ke matanya yang masih dapat dilihatnya dengan jelas?

Jawab
Letak benda terdekat ke mata yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata tidak lain adalah titik dekat atau *punctum proximum* (PP). Ambil jarak baca orang bermata normal 25 cm. Oleh karena orang tersebut menggunakan lensa positif atau lensa cembung maka sesuai dengan **Persamaan (6–5)**, diperoleh

$$P=4-\frac{1}{PP}\rightarrow 2=4-\frac{1}{PP}\rightarrow\frac{1}{PP}=2\text{ dioptri}$$

sehingga diperoleh titik dekat mata orang tersebut adalah PP = $\frac{1}{2}$ m = 50 cm.

c. Kacamata untuk Presbiopi dan Astigmatisma

Penderita presbiopi merupakan gabungan dari miopi dan hipermetropi. Oleh karena itu, kaca mata yang digunakannya haruslah berlensa rangkap atau bifokal, yakni lensa cekung pada bagian atas untuk melihat benda jauh dan lensa cembung pada bagian bawah untuk melihat benda-benda dekat. Sementara itu, astigmatisma dapat diatasi dengan menggunakan lensa silindris.

d. Lensa Kontak

Lensa kontak atau *contact lens* juga dapat digunakan untuk mengatasi cacat mata. Pada dasarnya lensa kontak adalah kacamata juga, hanya tidak menggunakan rangka, melainkan ditempelkan langsung ke kornea mata.

Sumber: *The Human Body Close Up*, 2000

Gambar 6.7
Lensa kontak pengganti kacamata

Soal Penguasaan *Materi* 6.1

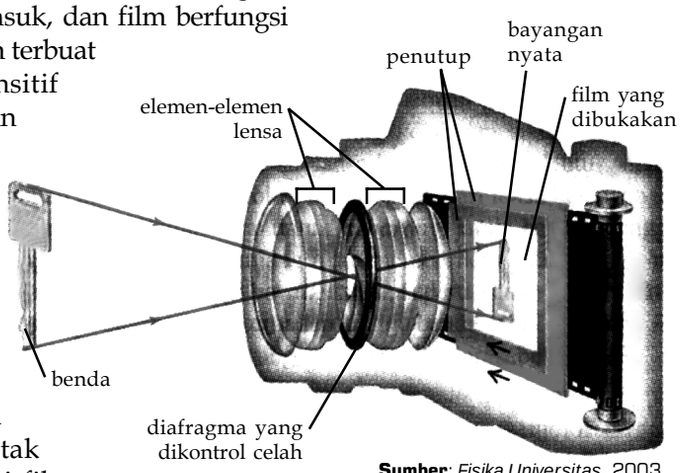
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tuliskan bagian-bagian mata dan fungsinya.
2. Apa yang dimaksud dengan:
   a. daya akomodasi,
   b. titik dekat, dan
   c. titik jauh?
3. Kapan mata dikatakan tanpa akomodasi atau akomodasi maksimum?
4. Seseorang tidak dapat melihat dengan jelas benda yang lebih jauh dari 50 cm. Tentukanlah:
   a. jarak fokus, dan
   b. kekuatan lensa kacamata yang diperlukannya.
5. Seorang pria membaca koran pada jarak 25 cm dari matanya sambil menggunakan kacamata 3 dioptri. Jika kacamatanya dilepas, pada jarak berapa koran itu paling dekat ke matanya agar ia dapat membacanya dengan jelas?

B Kamera

Kamera merupakan alat optik yang menyerupai mata. Elemen-elemen dasar lensa adalah sebuah lensa cembung, celah diafragma, dan film (pelat sensitif). Lensa cembung berfungsi untuk membentuk bayangan benda, celah diafragma berfungsi untuk mengatur intensitas cahaya yang masuk, dan film berfungsi untuk menangkap bayangan yang dibentuk lensa. Film terbuat dari bahan yang mengandung zat kimia yang sensitif terhadap cahaya (berubah ketika cahaya mengenai bahan tersebut). Pada mata, ketiga elemen dasar ini menyerupai lensa mata (lensa cembung), iris (celah diafragma), dan retina (film).

Prinsip kerja kamera secara umum sebagai berikut. Objek yang hendak difoto harus berada di depan lensa. Ketika diafragma dibuka, cahaya yang melewati objek masuk melalui celah diafragma menuju lensa mata. Lensa mata akan membentuk bayangan benda. Supaya bayangan benda tepat jatuh pada film dengan jelas maka letak lensa harus digeser-geser mendekati atau menjauhi film. Mengeser-geser lensa pada kamera, seperti mengatur jarak fokus lensa pada mata (akomodasi). Diagram pembentukan bayangan pada kamera ditunjukkan pada **Gambar 6.8**.



Sumber: *Fisika Universitas*, 2003

Gambar 6.8
Diagram pembentukan bayangan pada kamera.

Contoh 6.3

Jarak fokus lensa sebuah kamera adalah 50 mm. Kamera tersebut diatur untuk memfokuskan bayangan benda pada jauh tak terhingga. Berapa jauh lensa kamera harus digeser agar dapat memfokuskan bayangan benda yang terletak pada jarak 2,5 m?

Jawab

Ketika digunakan untuk memfokuskan benda yang letaknya jauh di tak terhingga, bayangan benda tersebut akan tepat berada di titik fokus lensa. Dengan kata lain, $s' = f = 50$ mm. Ketika jarak benda ke lensa, $s = 2{,}5$ m $= 2.500$ mm, bayangannya

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{2.500\text{ mm}}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{50\text{ mm}}$$

$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{50\text{ mm}}-\frac{1}{2.500\text{ mm}}$$

$$=\frac{49}{2.500\text{ mm}}$$

sehingga diperoleh

$$S'=\frac{2.500\text{ mm}}{49}=51{,}02\text{ mm}$$

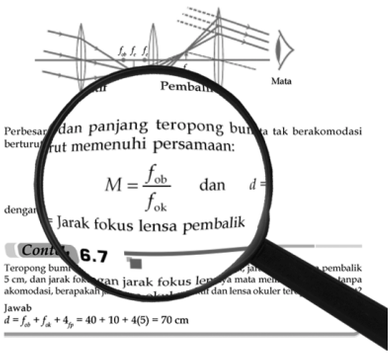
Dengan demikian, lensa harus digeser sejauh 51,02 mm – 50 mm = 1,02 mm.

Soal Penguasaan *Materi* 6.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tuliskan elemen-elemen dasar lensa dan fungsinya.
2. Apa perbedaan antara lensa kamera dan lensa mata dalam hal memfokuskan bayangan?
3. Sebuah lensa kamera dengan jarak fokus 200 mm dapat diatur berada pada jarak 200 mm sampai dengan 206 mm dari film. Tentukan jangkauan jarak objek di depan kamera sehingga bayangannya tertangkap jelas oleh film?

C Lup



Sumber: *Dokumentasi Penerbit*

Gambar 6.9
Lup digunakan untuk melihat objek-objek kecil agar tampak besar dan jelas.

Lup atau kaca pembesar (atau sebagian orang menyebutnya suryakanta) adalah lensa cembung yang difungsikan untuk melihat benda-benda kecil sehingga tampak lebih jelas dan besar, seperti tampak pada **Gambar 6.9**. Penggunaan lup sebagai kaca pembesar bermula dari kenyataan bahwa objek yang ukurannya sama akan terlihat berbeda oleh mata ketika jaraknya ke mata berbeda. Semakin dekat ke mata, semakin besar objek tersebut dapat dilihat. Sebaliknya, semakin jauh ke mata, semakin kecil objek tersebut dapat dilihat. Sebagai contoh, sebuah pensil ketika dilihat pada jarak 25 cm akan tampak dua kali lebih besar daripada ketika dilihat pada jarak 50 cm. Hal ini terjadi karena sudut pandang mata terhadap objek yang berada pada jarak 25 cm dua kali dari objek yang berjarak 50 cm.

Meskipun jarak terdekat objek yang masih dapat dilihat dengan jelas adalah 25 cm (untuk mata normal), lup memungkinkan Anda untuk menempatkan objek lebih dekat dari 25 cm, bahkan harus lebih kecil daripada jarak fokus lup. Hal ini karena ketika Anda mengamati objek dengan menggunakan lup, yang Anda lihat adalah bayangan objek, bukan objek tersebut. Ketika objek lebih dekat ke mata, sudut pandangan mata akan

menjadi lebih besar sehingga objek terlihat lebih besar. Perbandingan sudut pandangan mata ketika menggunakan lup dan sudut pandangan mata ketika tidak menggunakan lup disebut *perbesaran sudut lup*.

Untuk menentukan perbesaran sudut lup, perhatikan **Gambar 6.10**. Sudut pandangan mata ketika objek yang dilihat berada pada jarak S_n, yakni titik dekat mata, diperlihatkan pada **Gambar 6.10(a)**, sedangkan sudut pandangan mata ketika menggunakan lup diperlihatkan pada **Gambar 6.10(b)**. Perbesaran sudut lup secara matematis didefinisikan sebagai

$$M = \frac{\beta}{\alpha} \qquad (6\text{–}6)$$

Dari **Gambar 6.10** diperoleh bahwa

$$\tan\alpha = \frac{h}{S_n} \quad \text{dan} \quad \tan\beta = \frac{h}{S}$$

Untuk sudut-sudut yang sangat kecil berlaku

$$\alpha \cong \tan\alpha = \frac{h}{S_n} \quad \text{dan} \quad \beta \cong \tan\beta = \frac{h}{S}$$

Jika persamaan terakhir dimasukkan ke **Persamaan (6–6)**, perbesaran sudut lup dapat ditulis menjadi

$$M = \frac{S_n}{S} \qquad (6\text{–}7)$$

dengan: S_n = titik dekat mata (25 cm untuk mata normal), dan
S = letak objek di depan lup.

Perlu dicatat bahwa objek yang akan dilihat menggunakan lup harus diletakkan di depan lup pada jarak yang lebih kecil daripada jarak fokus lup atau $S \leq f$ (f = jarak fokus lup). Ketika objek diletakkan di titik fokus lup, $S = f$, bayangan yang dibentuk lup berada di tak terhingga, $S' = -\infty$. Ketika bayangan atau objek berada di tak terhingga, mata dalam keadaan tanpa akomodasi. Jika $S = f$ dimasukkan ke **Persamaan (6–7)**, diperoleh perbesaran sudut lup untuk mata tanpa akomodasi, yaitu

$$M = \frac{S_n}{f} \qquad (6\text{–}8)$$

Persamaan (6–8) menunjukkan bahwa semakin kecil jarak fokus lup, semakin besar perbesaran sudut lup tersebut. Apabila mata berakomodasi maksimum mengamati bayangan dengan menggunakan lup, bayangan tersebut akan berada di titik dekat mata atau $S' = -S_n$ (tanda negatif karena bayangannya maya). Sesuai dengan **Persamaan (6–1)** diperoleh

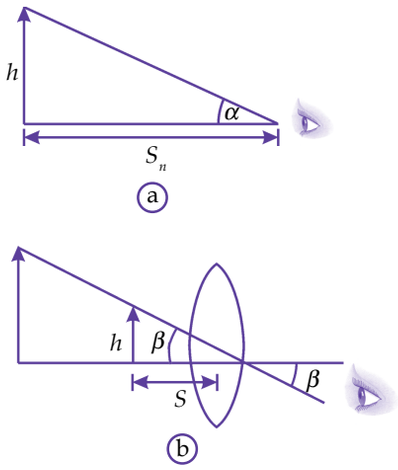
$$\frac{1}{S} + \frac{1}{-S_n} = \frac{1}{f} \qquad \text{atau} \qquad \frac{1}{S} = \frac{1}{f} + \frac{1}{S_n}$$

Berdasarkan hasil tersebut, **Persamaan (6–7)** menjadi

$$M = \frac{S_n}{S} = S_n\left(\frac{1}{S}\right) = S_n\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{S_n}\right)$$

sehingga diperoleh perbesaran sudut ketika mata berakomodasi maksimum, yaitu

$$M = \frac{S_n}{f} + 1 \qquad (8\text{–}9)$$



Gambar 6.10
Menentukan perbesaran lup
(a) sudut pandang mata tanpa menggunakan lup.
(b) saat menggunakan lup.

Kata Kunci

- Akomodasi maksimum
- Celah diafragma
- Kamera
- Lup
- Tanpa akomodasi

Contoh 6.4

Sebuah benda diletakkan di depan lup pada jarak 5 cm. Jika jarak titik fokus lup 5 cm, tentukanlah perbesaran sudut lup.

Jawab

Karena $S = f = 5$ cm, mata akan melihat bayangan dengan menggunakan lup tanpa akomodasi. Dengan demikian, perbesaran sudut lup adalah

$$M = \frac{S_n}{f} = \frac{25}{5} = 5 \text{ kali}$$

Soal Penguasaan *Materi* 6.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. (a) Apa syaratnya agar bayangan yang dihasilkan lup dapat diamati oleh mata?
   (b) Di manakah benda harus diletakkan di depan lup?
2. Andi menggunakan lup yang jarak fokusnya 10 cm. Agar mendapatkan perbesaran maksimum, (a) pada jarak berapa benda ditempatkan di depan lup, dan (b) berapa perbesaran sudutnya? Anggap titik dekat mata Andi 25 cm.
3. Sebuah lup memiliki perbesaran sudut 3 kali untuk mata normal tak berakomodasi. Berapa perbesaran sudut lup tersebut ketika digunakan oleh seseorang yang titik dekatnya (a) 50 cm dan (b) 15 cm dengan mata tak berakomodasi?

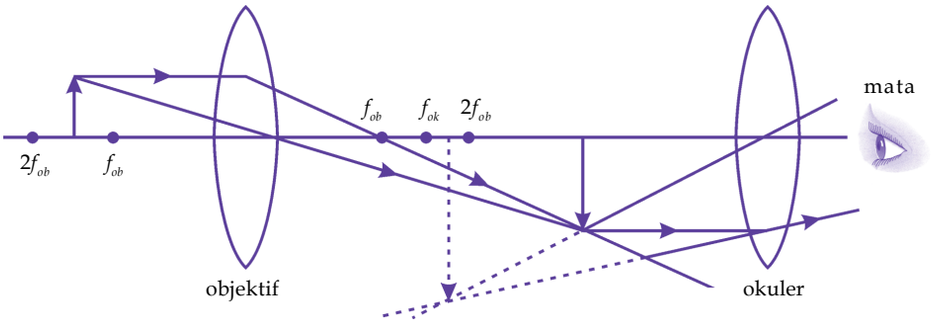
D Mikroskop

Sumber: *www.az-microscope.on.ca*

Gambar 6.11
Mikroskop digunakan dalam melihat benda-benda kecil yang sulit dilihat oleh mata.

Sebuah mikroskop terdiri atas susunan dua buah lensa positif. Lensa yang berhadapan langsung dengan objek yang diamati disebut lensa objektif. Sementara itu, lensa tempat mata mengamati bayangan disebut lensa okuler. Fungsi lensa okuler ini sama dengan lup. Salah satu bentuk sebuah mikroskop diperlihatkan pada **Gambar 6.11.**

Fungsi mikroskop mirip dengan lup, yakni untuk melihat objek-objek kecil. Akan tetapi, mikroskop dapat digunakan untuk melihat objek yang jauh lebih kecil lagi karena perbesaran yang dihasilkannya lebih berlipat ganda dibandingkan dengan lup. Pada mikroskop, objek yang akan diamati harus diletakkan di depan lensa objektif pada jarak antara f_{ob} dan $2f_{ob}$ sehingga bayangannya akan terbentuk pada jarak lebih besar dari $2f_{ob}$ di belakang lensa objektif dengan sifat nyata dan terbalik. Bayangan pada lensa objektif dipandang sebagai objek oleh lensa okuler dan terbentuklah bayangan pada lensa okuler. Agar bayangan pada lensa okuler dapat dilihat atau diamati oleh mata, bayangan ini harus berada di depan lensa okuler dan bersifat maya. Hal ini dapat terjadi jika bayangan pada lensa objektif jatuh pada jarak kurang dari f_{ok} dari lensa okuler. Proses terbentuknya bayangan pada mikroskop, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 6.12**. Pada **Gambar 6.12** terlihat bahwa bayangan akhir yang dibentuk oleh mikroskop bersifat maya, terbalik, dan diperbesar.



Gambar 6.12
Diagram pembentukan bayangan pada mikroskop.

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler menentukan panjang pendeknya sebuah mikroskop. Seperti dapat Anda lihat pada **Gambar 6.12**, panjang mikroskop atau jarak antara lensa objektif dan lensa okuler sama dengan jarak bayangan objektif ke lensa objektif ditambah jarak bayangan objektif tadi ke lensa okuler atau secara matematis dituliskan

$$d = S'_{ob} + S_{ok} \qquad (6\text{–}10)$$

dengan: d = panjang mikroskop,
S'_{ob} = jarak bayangan lensa objektif ke lensa objektif, dan
S_{ok} = jarak bayangan objektif ke lensa okuler.

Perbesaran total yang dihasilkan mikroskop merupakan perkalian antara perbesaran yang dihasilkan oleh lensa objektif dan perbesaran sudut yang dihasilkan oleh lensa okuler. Secara matematis, perbesaran total yang dihasilkan mikroskop ditulis sebagai berikut.

$$M = M_{ob} \times M_{ok} \qquad (6\text{–}11)$$

dengan: M = perbesaran total yang dihasilkan mikroskop,
M_{ob} = perbesaran yang dihasilkan lensa objektif, dan
M_{ok} = perbesaran sudut yang dihasilkan lensa okuler.

Perbesaran yang dihasilkan oleh lensa objektif memenuhi

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} \qquad (6\text{–}12)$$

sedangkan perbesaran sudut yang dihasilkan lensa okuler mirip dengan perbesaran sudut lup, yakni, untuk pengamatan tanpa akomodasi

$$M_{ob} = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \qquad (6\text{–}13)$$

dan untuk pengamatan dengan berakomodasi maksimum

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \qquad (6\text{–}14)$$

dengan f_{ok} = panjang fokus lensa okuler.

Solusi Cerdas

Sebuah mikroskop memiliki panjang tabung 21,4 cm, fokus objektif 4 mm, fokus okuler 5 mm. Untuk mendapatkan bayangan yang jelas dengan mata tanpa akomodasi maka terhadap objektif benda harus berada pada jarak ... cm.

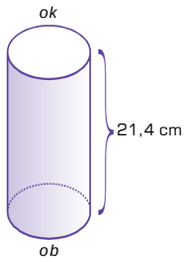
a. 40
b. 41,4
c. 42,4
d. 44,4
e. 46,4

Penyelesaian

Diketahui: F_{ok} = 5 mm,
F_{ob} = 4 mm, dan
ℓ = 21,4 cm.

Perbesaran bayangan bagi lensa okuler untuk mata berakomodasi adalah

$$M_{ok} = \frac{PP}{F_{ok}},$$



dengan PP = *punctum proximum*, yakni titik dekat mata = 25 cm. Benda harus berjarak 25 cm dari okuler dan (25+21,4) cm = 46,4 cm.

Jawab: e

Sipemaru 1994

Contoh 6.5

Sebuah mikroskop memiliki jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler masing-masing 10 mm dan 5 cm. Sebuah benda ditempatkan 11 mm di depan lensa objektif. Tentukan perbesaran mikroskop pada pengamatan: (a) tanpa akomodasi, (b) berakomodasi maksimum, dan (c) berakomodasi pada jarak 50 cm.

Jawab

Diketahui: f_{ob} = 10 mm, f_{ok} = 5 cm, S_{ob} = 11 mm, dan S_n = 25 cm
Jarak bayangan oleh lensa objektif

$$\frac{1}{S'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{S_{ob}} \rightarrow = \frac{1}{10\text{ mm}} - \frac{1}{11\text{ mm}} = \frac{1}{110\text{ mm}}$$

sehingga diperoleh S'_{ob} = 110 mm. Dengan demikian, perbesaran yang dihasilkan oleh lensa objektif adalah

$$M_{ob} = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} = \frac{110\text{ mm}}{11\text{ mm}} = 10 \text{ kali}$$

Selanjutnya, perbesaran sudut yang dihasilkan oleh lensa okuler

- pada pengamatan tanpa akomodasi

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} = \frac{25\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 5 \text{ kali}$$

Kata Kunci

- Mikroskop
- Lensa objektif
- Lensa okuler
- Panjang mikroskop

- pada pengamatan dengan berakomodasi maksimum

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 = \frac{25\text{ cm}}{5\text{ cm}} + 1 = 6 \text{ kali}$$

- pada pengamatan dengan berakomodasi pada jarak 50 cm, yakni S'_{ok} = 50 cm,

$$\frac{1}{S_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} - \frac{1}{S'_{ok}} = \frac{1}{5\text{ cm}} - \frac{1}{-50\text{ cm}} = \frac{11}{50\text{ cm}}$$

sehingga [lihat kembali **Persamaan (6–7)**]

$$M_{ok} = \frac{S_n}{S_{ok}} = S_n\left(\frac{1}{S_{ok}}\right) = 25\text{ cm} \times \frac{11}{50\text{ cm}} = 5{,}5 \text{ kali}$$

Dengan demikian, perbesaran total mikroskop

(a) pada pengamatan tanpa akomodasi,

$$M = M_{ob} \times M_{ok} = 10 \times 5 = 50 \text{ kali}$$

(b) pada pengamatan dengan mata berakomodasi maksimum,

$$M = M_{ob} \times M_{ok} = 10 \times 6 = 60 \text{ kali}$$

(c) pada pengamatan dengan berakomodasi pada jarak 50 cm,

$$M = M_{ob} \times M_{ok} = 10 \times 5{,}5 = 55 \text{ kali}$$

Soal Penguasaan *Materi* 6.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Mana yang sebaiknya lebih besar, jarak fokus objektif atau jarak fokus okuler? Mengapa demikian? Tuliskan alasan Anda.
2. Sebuah benda diletakkan pada jarak 4,1 mm di depan lensa ojektif yang jarak fokusnya 4,0 mm. Jika perbesaran okuler 10 kali, berapakah perbesaran yang dihasilkan mikroskop?
3. Seseorang mengamati objek yang berjarak 5 cm di depan lensa objektif dengan mata tanpa akomodasi. Jarak fokus lensa objektif = 4 cm dan jarak fokus lensa okuler = 10 cm. Agar orang tersebut dapat melihat objek dengan perbesaran maksimum, berapakah jauh lensa okuler harus digeser? Ke mana arah pergeserannya?
4. Jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler sebuah mikroskop adalah 2 cm dan 10 cm. Sebuah benda diletakkan pada jarak 2,1 cm di depan lensa objektif. Tentukanlah: (a) perbesaran tanpa akomodasi dan berakomodasi maksimum (b) panjang mikroskop untuk pengamatan tanpa akomodasi dan berakomodasi maksimum.

E Teropong

Sumber: *www.eurocosm.com*

Gambar 6.13
Contoh teropong

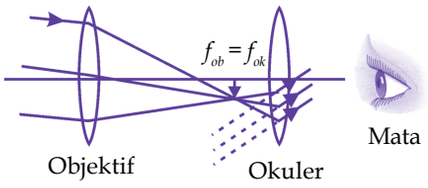
Anda tentu pernah melihat bintang. Pada malam hari, terutama ketika sinar bulan tidak terlalu terang, bintang-bintang di langit akan terlihat sangat banyak. Akan tetapi bintang-bintang tersebut terlihat sangat kecil, meskipun aslinya sangat besar, bahkan mungkin lebih besar dari bulan yang Anda lihat. Lalu, apa yang digunakan untuk mengamati benda-benda tersebut agar tampak jelas dan dekat?

Teropong atau teleskop merupakan alat optik yang digunakan untuk mjelihat objek-objek yang sangat jauh agar tampak lebih dekat dan jelas. Benda-benda langit, seperti bulan, planet, dan bintang dapat diamati dengan bantuan teropong. Dengan adanya teropong, banyak hal-hal yang berkaitan dengan luar angkasa telah ditemukan. Bagaimana proses terlihatnya bintang menggunakan teropong? Dan tahukah Anda jenis-jenis teropong yang digunakan untuk melihat benda jauh?

Secara umum ada dua jenis teropong, yaitu teropong bias dan teropong pantul. Perbedaan antara keduanya terletak pada objektifnya. Pada teropong bias, objektifnya menggunakan lensa, yakni lensa objektif, sedangkan pada teropong pantul objektifnya menggunakan cermin.

1. Teropong Bintang

Teropong bintang menggunakan dua lensa cembung, masing-masing sebagai lensa objektif dan lensa okuler dengan jarak fokus objektif lebih besar daripada jarak fokus okuler ($f_{ob} > f_{ok}$). Diagram sinar pembentukan bayangan pada teropong untuk mata tak terakomodasi sebagai berikut:



Gambar 6.14
Pembentukan bayangan menggunakan teropong bintang.

Perbesaran sudut dan panjang teropong bintang memenuhi persamaan-persamaan sebagai berikut:

(1) Untuk mata tak terakomodasi

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad \text{dan} \quad d = f_{ob} + f_{ok} \qquad (6\text{–}15)$$

(2) Untuk mata berakomodasi maksimum ($S'_{ok} = -S_n$)

$$M = \frac{f_{ob}}{s_{ok}} \quad \text{dan} \quad d = f_{ob} + S_{ok} \qquad (6\text{–}16)$$

Contoh 6.6

Sebuah teropong bintang memiliki lensa objektif dengan jarak fokus 150 cm dan lensa okuler dengan jarak fokus 30 cm. Teropong bintang tersebut dipakai untuk melihat benda-benda langit dengan mata tak berakomodasi. Tentukanlah (a) perbesaran teropong dan (b) panjang teropong.

Jawab

Diketahui: jarak fokus objektif f_{ob} = 150 cm dan jarak fokus okuler f_{ok} = 30 cm.

a. Perbesaran teropong untuk mata tak berakomodasi

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{150}{30} = 5 \text{ kali}$$

b. Panjang teropong untuk mata tak berakomodasi

$d = f_{ob} + f_{ok}$ = 150 + 30 = 180 cm

Solusi Cerdas

Teropong bintang memiliki perbesaran anguler 10 kali. Jika jarak titik api objektifnya 50 cm, panjang teropong adalah ....

a. 5 cm
b. 32 cm
c. 45 cm
d. 50 cm
e. 55 cm

Penyelesaian

Diketahui: M = 10 kali, dan F_{ob} = 50 cm

$$M = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}$$

$$10 = \frac{50 \text{ cm}}{F_{ok}}$$

F_{ok} = 5 cm

Panjang teropong

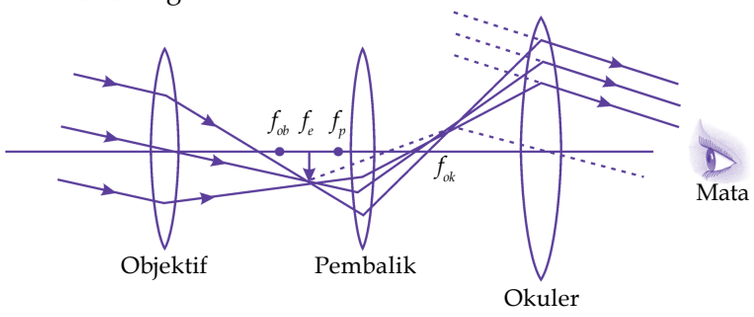
$f_{ok} + f_{ob}$ = (50 cm + 5 cm) = 55 cm

Jawab: e

Ebtanas 1989

2. Teropong Bumi

Teropong bumi menggunakan tiga jenis lensa cembung. Lensa yang berada di antara lensa objektif dan lensa okuler berfungsi sebagai lensa pembalik, yakni untuk pembalik bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif. Diagram sinar pembentukan bayangan pada teropong bumi mata tak berakomodasi sebagai berikut:



Gambar 6.15
Pembentukan bayangan menggunakan teropong Bumi.

Perbesaran dan panjang teropong bumi untuk mata tak berakomodasi berturut-turut memenuhi persamaan:

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad \text{dan} \quad d = f_{ob} + f_{ok} + 4f_p \qquad (6\text{–}17)$$

dengan f_p = jarak fokus lensa pembalik.

Contoh 6.7

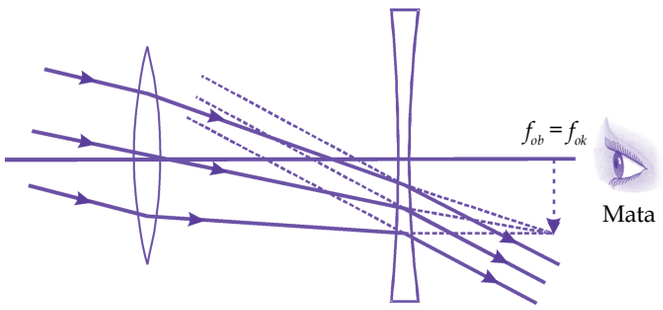
Teropong bumi dengan jarak fokus lensa objektif 40 cm, jarak fokus lensa pembalik 5 cm, dan jarak fokus lensa okulernya 10 cm. Supaya mata melihat bayangan tanpa akomodasi, berapakah jarak antara lensa objektif dan lensa okuler teropong tersebut?

Jawab

$d = f_{ob} + f_{ok} + 4f_p$ = 40 cm + 10 cm + 4(5 cm) = 70 cm

3. Teropong Panggung

Teropong panggung atau teropong Galileo menggunakan sebuah lensa cembung sebagai objektif dan sebuah lensa cekung sebagai okuler. Diagram sinar pembentukan bayangan pada teropong panggung sebagai berikut:



Gambar 6.16
Pembentukan bayangan pada teropong panggung.

Perbesaran dan panjang teropong panggung untuk mata tak berakomodasi berturut-turut memenuhi persamaan:

$$M = \left|\frac{f_{ob}}{f_{ok}}\right| \quad \text{dan} \quad d = f_{ob} + f_{ok} \qquad (6\text{–}18)$$

Oleh karena lensa okulernya adalah lensa cekung maka f_{ok} bertanda negatif.

Contoh 6.8

Sebuah teropong panggung dipakai untuk melihat bintang yang menghasilkan perbesaran 6 kali. Jarak lensa objektif dan okulernya 30 cm. Teropong tersebut digunakan dengan mata tak berakomodasi. Tentukanlah jarak fokus lensa okulernya.

Kata Kunci

- Teropong Bintang
- Teropong Bumi
- Teropong panggung
- Teropong pantul

Jawab

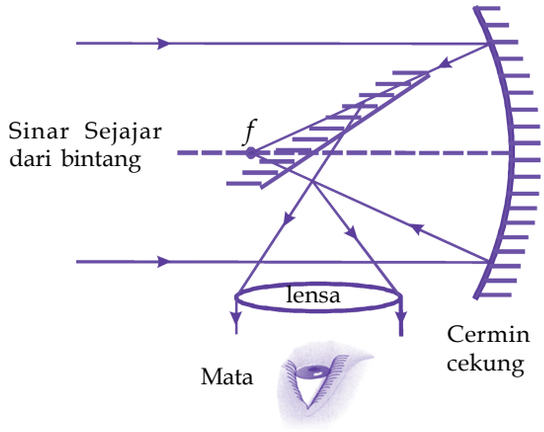
M = 6 kali dan d = 30 cm. Misalkan, $f_{ok} = -a$ (lensa cekungnya)

- $M = \left|\frac{f_{ob}}{f_{ok}}\right| = 6 \rightarrow f_{ob} = 6\left|f_{ok}\right| = 6a$
- $d = f_{ob} + f_{ok} \rightarrow 30 = 6a - a = 5a \rightarrow a = 6 \text{ cm} \rightarrow f_{ok} = -6 \text{ cm}$

Dengan demikian, jarak fokus lensa okulernya adalah 6 cm.

4. Teropong Pantul

Teropong pantul tersusun atas beberapa cermin dan lensa. Teropong jenis ini menggunakan cermin cekung besar sebagai objektif untuk memantulkan cahaya, cermin datar kecil yang diletakkan sedikit di depan titik fokus cermin cekung F, dan sebuah lensa cembung yang berfungsi sebagai okuler.



Gambar 6.17
Pembentukan bayangan pada teropong pantul.

Kerjakanlah

Carilah alat-alat optik lainnya yang Anda ketahui dan tidak dibahas dalam buku ini. Buatlah penjelasan mengenai pembentukan bayangannya. Laporkan hasilnya kepada guru Anda dan persentasikan di depan kelas.

Rangkuman

1. **Bagian-bagian mata** iris, pupil, lensa, kornea, aqueous humor, dan retina.
2. **Cacat mata** di antaranya emetropi (mata normal), miopi (rabun jauh), hipermetropi (rabun dekat), presbiopi (rabun tua), dan astigmatisme.
3. **Kacamata** merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengatasi cacat mata.
4. Rumus **kacamata berlensa cekung untuk miopi**

$$f = -PR$$

$$P = -\frac{1}{PR}$$

5. Rumus **kacamata berlensa cembung untuk hipermetropi**

$$P = \frac{1}{f} = 4 - \frac{1}{PP}$$

6. **Kamera** merupakan alat optik yang menyerupai mata. Elemen-elemen dasar lensa adalah sebuah lensa cembung, celah diafragma, dan film (pelat sensitif).
7. **Lup** atau kaca pembesar (atau sebagian orang menyebutnya suryakanta) adalah lensa cembung yang difungsikan untuk melihat benda-benda kecil sehingga tampak lebih jelas dan besar.
8. Rumus **perbesaran sudut lup untuk mata tanpa akomodasi**

$$M = \frac{S_n}{f}$$

9. Rumus **perbesaran sudut ketika mata berakomodasi maksimum**

$$M = \frac{S_n}{f} + 1$$

10. **Mikroskop** memiliki dua buah lensa, yaitu lensa objektif dan lensa okuler.
11. Rumus **panjang mikroskop**

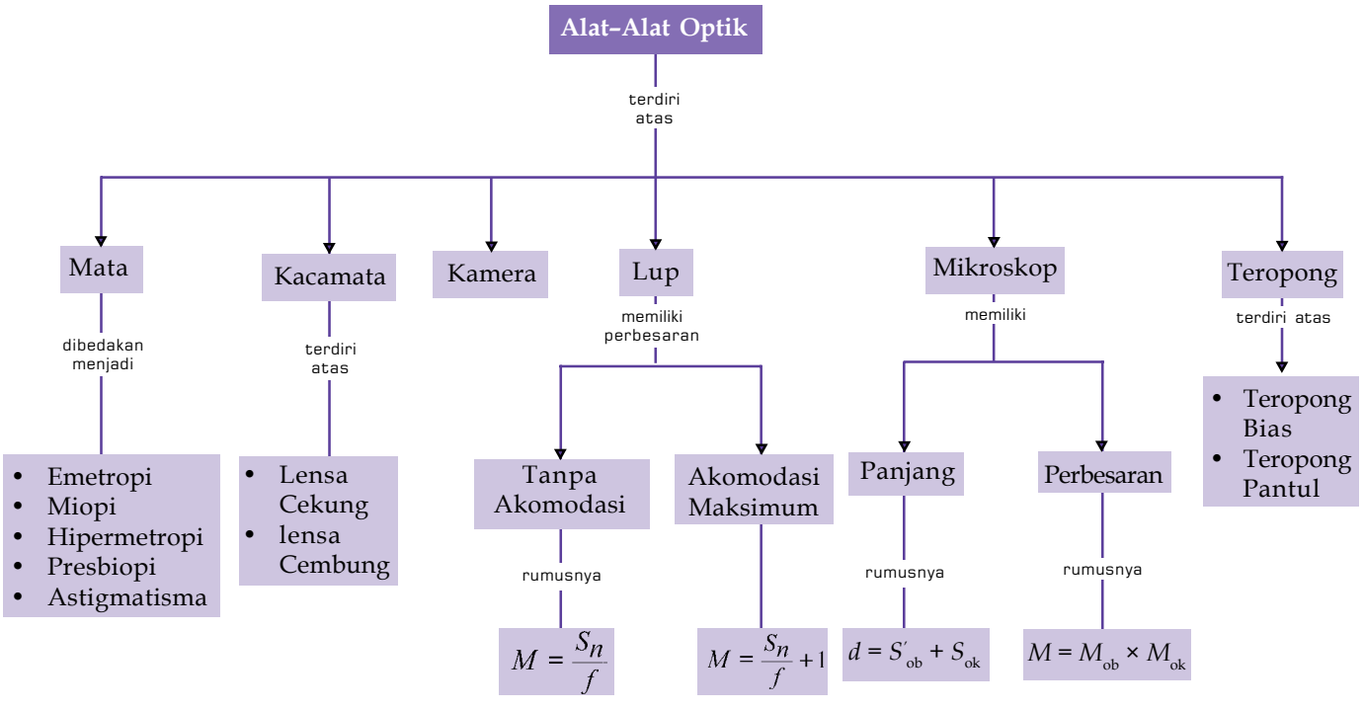
$$d = S'_{ob} + S_{ok}$$

12. Rumus **perbesaran mikroskop**

$$M = M_{ob} \times M_{ok}$$

13. **Teropong atau teleskop** merupakan alat optik yang digunakan untuk melihat objek-objek yang sangat jauh agar tampak lebih dekat dan lebih jelas.
14. Secara umum ada dua jenis teropong, yaitu **teropong bias** dan **teropong pantul**. Perbedaan antara keduanya terletak pada objektifnya. Pada teropong bias, objektifnya menggunakan lensa, yakni lensa objektif, sedangkan pada teropong pantul objektifnya menggunakan cermin.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Alat-Alat Optik, Anda dapat menganalisis alat-alat optik secara kuantitatif serta menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari. Jika Anda belum mampu menganalisis alat-alat optik secara kuantitatif serta menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari, Anda belum menguasai materi bab Alat-Alat Optik dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 6

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

1. Bagian mata yang tepat berada di belakang kornea dan berfungsi untuk membiaskan cahaya yang masuk ke mata adalah ....
   a. aquaeous humor
   b. lensa mata
   c. iris
   d. pupil
   e. retina
2. Mata dapat melihat sebuah benda apabila terbentuk bayangan ....
   a. sejati, tegak di retina
   b. sejati, terbalik di retina
   c. maya, tegak di retina
   d. maya, terbalik di retina
   e. maya, tegak di lensa mata
3. Ketika mata melihat benda dengan berakomodasi sekuat-kuatnya, berarti letak benda di depan mata ....
   a. lebih besar dari titik dekat mata
   b. tepat pada titik dekat mata
   c. antara titik dekat mata dan titik jauh mata
   d. tepat pada titik jauh mata
   e. pada sembarang jarak
4. Seseorang yang cacat mata miopi tidak mampu melihat dengan jelas benda yang terletak lebih dari 50 cm dari matanya. Kacamata yang dibutuhkannya untuk melihat benda jauh harus memiliki kekuatan lensa sebesar ....
   a. –5 dioptri
   b. +4 dioptri
   c. –4 dioptri
   d. +2 dioptri
   e. –2 dioptri
5. Seorang anak rabun jauh mula-mula menggunakan kacamata berkekuatan $-16\frac{2}{3}$ dioptri. Ketika diperiksa lagi ke dokter, ternyata dokter menyarankan agar anak tersebut mengganti kacamatanya dengan kacamata berkekuatan –1 dioptri. Hal ini berarti ....
   a. titik jauh anak tersebut bergeser sejauh 150 cm
   b. titik dekat anak tersebut bergeser sejauh 150 cm
   c. titik jauh anak tersebut bergeser sejauh 100 cm
   d. titik dekat anak tersebut bergeser sejauh 50 cm
   e. titik jauh anak tersebut bergeser sejauh 50 cm
6. Titik dekat mata seorang siswa terletak pada jarak 120 cm di depan mata. Untuk melihat dengan jelas suatu benda yang berjarak 30 cm di depan mata, kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai adalah ....
   a. –5 dioptri
   b. –4,16 dioptri
   c. –2,5 dioptri
   d. 2,5 dioptri
   e. 4,16 dioptri
7. Seorang pria yang menggunakan lensa dengan kekuatan 3 dioptri harus memegang surat kabar paling dekat 25 cm di depan matanya supaya dapat membaca dengan jelas. Jika pria tersebut melepas kacamatanya dan tetap ingin membaca surat kabar dengan jelas, jarak terdekat surat kabar ke matanya adalah ....
   a. 50 cm
   b. 75 cm
   c. 100 cm
   d. 150 cm
   e. 200 cm
8. Seorang penderita presbiopi dengan titik dekat 40 cm, ingin membaca pada jarak normal (25 cm). Kacamata yang dipakai harus memiliki ukuran ....
   a. 0,15 dioptri
   b. 0,65 dioptri
   c. 1,5 dioptri
   d. 6,6 dioptri
   e. 15 dioptri
9. Seseorang yang menderita rabun dekat meletakkan sebuah cermin cembung di depan matanya. Jarak terdekatnya terhadap cermin adalah 20 cm sehingga masih dapat melihat bayangannya dengan jelas. Jika jarak titik fokus cermin tersebut 15 cm, titik dekat orang tersebut adalah ....
   a. 20 cm
   b. 23,6 cm
   c. 28,6 cm
   d. 33,6 cm
   e. 60 cm
10. Pengaturan awal sebuah kamera adalah benda berada pada jarak sangat jauh (tak terhingga). Berapa jauh sebuah lensa kamera yang jarak fokusnya 50 mm harus digeser dari pengaturan awalnya supaya dapat memfokuskan secara tajam suatu benda yang berjarak 3,0 m di depan lensa?
    a. 0,85 mm
    b. 0,98 mm
    c. 1,05 mm
    d. 8,5 mm
    e. 50,8 mm
11. Sebuah lup memiliki jarak fokus 5 cm, dipakai melihat sebuah benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Perbesaran anguler lup tersebut adalah ....
    a. 2 kali
    b. 4 kali
    c. $4\frac{1}{6}$ kali
    d. 5 kali
    e. $6\frac{1}{4}$ kali
12. Seorang siswa berpenglihatan normal (jarak baca minimumnya 25 cm) mengamati benda kecil melalui

lup dengan berakomodasi maksimum. Jika benda tersebut berada 10 cm di depan lup maka

(1) jarak fokus lensa lup adalah $16\frac{2}{3}$ cm

(2) kekuatan lensa lup adalah 6 dioptri

(3) perbesaran bayangan yang terjadi 2,5 kali

(4) perbesaran bayangan jadi dua kali dibandingkan dengan pengamatan tanpa berakomodasi

Pernyataan tersebut yang benar adalah ....

a. 1, 2, dan 3
b. 1 dan 3
c. 2 dan 4
d. 4 saja
e. semua benar

13. Titik dekat mata seseorang adalah 25 cm. Orang tersebut menggunakan lup 20 dioptri untuk mengamati objek kecil dengan cara berakomodasi pada jarak 50 cm. Perbesaran lup sama dengan ....

a. 4 kali
b. 5 kali
c. 5,5 kali
d. 6 kali
e. 6,5 kali

14. Seseorang yang memiliki jarak titik dekat 20 cm, menggunakan lup 20 dioptri dengan berakomodasi maksimum. Jika diukur dari lup maka objek yang diamati harus berjarak ....

a. 3,33 cm
b. 3,67 cm
c. 4 cm
d. 5 cm
e. 6,67 cm

15. Seseorang bermata normal yang memiliki titik dekat 25 cm mengamati benda dengan lup. Jarak antara mata dan lup 5 cm. Ternyata, mata berakomodasi maksimum sehingga lup menghasilkan perbesaran sudut 5 kali maka jarak benda di depan lup adalah ....

a. 4 cm
b. 4,16 cm
c. 4,5 cm
d. 5 cm
e. 5,25 cm

16. Pernyataan-pernyataan berikut tentang miskroskop yang tidak benar adalah ....

a. jarak fokus lensa objektifnya lebih kecil daripada jarak fokus lensa okuler
b. Benda yang diamati ditempatkan di ruang II lensa objektif
c. bayangan yang dibentuk lensa objektif bersifat nyata, diperbesar, terbalik dari bendanya
d. jarak antara lensa objektif dan lensa okuler sama atau lebih kecil dari jumlah jarak fokus objektif dan okuler
e. bayangan akhir yang terjadi adalah maya, tegak, dan diperbesar

17. Perbesaran lensa okuler dari sebuah mikroskop adalah 20 kali. Jarak fokus objektif dan okulernya masing-masing 4 mm dan 2 cm. Jika sebuah benda berada pada jarak 4,2 mm di depan lensa objektif, perbesaran total mikroskop adalah ....

a. 80 kali
b. 400 kali
c. 160 kali
d. 320 kali
e. 400 kali

18. Jarak lensa objektif dan lensa okuler dari sebuah mikroskop untuk mata tak berakomodasi adalah 12 cm. Jika jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler masing-masing 1,6 cm dan 4 cm, objek ditempatkan didepan lensa objektif sejauh ....

a. 1,2 cm
b. 1,8 cm
c. 20 cm
d. 2,4 cm
e. 4 cm

19. Objektif sebuah mikroskop berupa lensa cembung dengan jarak fokus *f*. Benda yang diteliti dengan mikroskop itu harus ditempatkan di bawah objektif pada jarak yang ....

a. lebih kecil daripada *f*
b. semua dengan *f*
c. terletak antara *f* dan 2*f*
d. sama dengan 2*f*
e. lebih besar dari 2*f*

20. Sebuah mokroskop mempunyai jarak fokus objektif 2 mm dan jarak fokus okuler 5 cm. Sebuah benda ditempatkan 2,2 mm di depan lensa objektif. Untuk mendapatkan perbesaran yang maksimum, maka jarak lensa objektif ke lensa okuler haruslah ....

a. 4,6 cm
b. 5,2 cm
c. 6.4 cm
d. 7,2 cm
e. 8,4 cm

21. Sebuah mikroskop jarak fokus okulernya 2,5 cm dan jarak fokus objektifnya 0,9 cm, digunakan oleh mata normal (S_n = 5 cm) tanpa berakomodasi dan ternyata perbesaranya 90 kali. Berarti jarak objek terhadap lensa adalah ....

a. 1 cm
b. 1,2 cm
c. 1,5 cm
d. 2 cm
e. 2,5 cm

22. Seseorang melihat preparat yang berjarak 6 cm di muka objektif yang berfokus 4 cm dari suatu mikroskop tanpa akomodasi. Jika jarak fokus okulernya 10 cm, maka agar orang tersebut dapat melihat preparat dengan perbesaran maksimum, lensa okuler harus digeser ....

a. $2\frac{6}{7}$ cm menjauhi objektif
b. $2\frac{6}{7}$ cm mendekati objektif
c. $2\frac{3}{7}$ cm menjauhi objektif
d. $2\frac{1}{7}$ cm mendekati objektif
e. $2\frac{1}{7}$ cm menjauhi objektif

23. Teropong bintang memiliki jarak fokus objektif 4 m dan jarak fokus okulernya 4 cm. Perbesaran sudut yang dihasilkan untuk mata yang tak berakomodasi adalah ....
a. 10 kali
b. 40 kali
c. 50 kali
d. 100 kali
e. 400 kali

24. Seseorang mengamati gerhana matahari dengan teropong bintang yang jarak fokus objektif dan okulernya masing-masing 60 cm dan 4 cm. Jika sudut diameter matahari dilihat dengan mata telanjang, sudut diameter matahari dilihat dengan teropong adalah ....
a. 7,5°
b. 10°
c. 1,5°
d. 15°
e. 20°

25. Jarak titik api lensa objektif dan okuler dari teropong bintang berturut-turut 150 cm dan 10 cm. Jika teropong dipakai oleh mata normal dengan berakomodasi maksimum, panjang teropong adalah ....
a. 140 cm
b. 158 cm
c. 160 cm
d. 166 cm
e. 180 cm

26. Sebuah teropong bintang dipakai untuk melihat benda langit yang menghasilkan perbesaran 6 kali. Jarak lensa objektif terhadap okuler 35 cm. Teropong ini digunakan dengan mata tak berakomodasi. Jarak fokus okulernya adalah ....
a. 3,5 cm
b. 5 cm
c. 7 cm
d. 10 cm
e. 30 cm

27. Alat optik yang mempergunakan tiga buah lensa cembung adalah ....
a. mikroskop
b. teropong Bintang
c. teropong Bumi
d. teropong panggung
e. teropong pantul

28. Jika jarak fokus lensa objektif, lensa pembalik, dan lensa okulernya dari sebuah teropong bumi berturut-turut 15 cm, 5 cm, dan 5 cm, panjang tabung dari teropong bumi tersebut untuk mata tak berakomodasi adalah ....
a. 25 cm
b. 30 cm
c. 35 cm
d. 40 cm
e. 60 cm

29. Perhatikan tabel berikut ini.

No	Alat Optik	Lensa Objektif	Lensa Okuler	Keterangan
1.	Mikroskop	+	+	$f_{ok} < f_{ob}$
2.	Teropong Bintang	+	+	$f_{ok} < f_{ob}$
3.	Teropong panggung	+	–	
4.	Teropong Bumi	+	+	Lensa pembalik (+)

Dari tabel tersebut, pernyataan yang benar adalah ....
a. 1, 2, dan 3
b. 1 dan 3
c. 2 dan 4
d. 4 saja
e. semua benar

30. Sebuah teropong panggung memiliki lensa objektif dengan jarak fokus 120 cm. Jika perbesaran teropong untuk mata tak berakomodasi adalah 15 kali, panjang teropong adalah ....
a. 112 cm
b. 120 cm
c. 128 cm
d. 135 cm
e. 160 cm

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Dua buah lensa yang jaraknya mempunyai jarak titik fokusnya masing-masing 1 cm dan 5 cm disusun membentuk mikroskop majemuk jika sebuah benda diletakkan 1,1 cm di depan lensa pertama dan mata berakomodasi maksimum, berapakah jarak kedua lensa tersebut?
2. Titik dekat mata seseorang 200 cm di depan mata. Agar orang tersebut dapat melihat pada jarak 25 cm, tentukanlah kekuatan lensa yang harus digunakannya.
3. Sebuah mikroskop mempunyai jarak fokus objektif 9 mm dan jarak fokus okulernya 5 cm. Sebuah benda ditempatkan pada 10 mm didepan objektifnya dan jarak antara lensa objektif ke lensa okulernya 12 cm.

a. Tentukan perbesaran mikroskop.
b. Agar mata tak berakomodasi, berapa jauh lensa okulernya harus digeser? Mendekati atau menjauhi objektif?

4. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis cacat pada mata.
5. Teropong bintang mempunyai kekuatan lensa objektif dan okuler masing-masing 0,5 dioptri. Tentukan perbesaran yang dihasilkan jika
   a. mata tak berakomodasi, dan
   b. mata berakomodasi maksimum.
6. Jarak titik fokus objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 1,8 cm dan 6 cm. Diketahui jarak antara lensa objektif dan lensa okuler mikroskop tersebut adalah 24 cm dan digunakan dalam pengamatan mikroorganisme. Tentukan jarak mikroorganisme dari lensa objektif mikroskop.
7. Sebuah teropong bintang digunakan untuk melihat sebuah benda angkasa. Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler 130 cm. Jika si peninjau adalah seorang emetrop dengan *punctum proximum* 25 cm yang berakomodasi maksimum, tentukanlah daya perbesarannya jika mata tidak berakomodasi.
8. Panjang fokus lensa objektif dan lensa okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 10 cm dan 5 cm. Jika jarak antara lensa objektif dan lensa okuler mata tidak berakomodasi adalah 35 cm, tentukanlah perbesaran total mikroskop tersebut.
9. Apa perbedaan mikroskop, teropong bintang, dan teropong Bumi tentang
   a. kekuatan lensa yang dipergunakan,
   b. sifat bayangan akhir yang dibentuk?
10. Tentukan sifat-sifat bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif.

Sumber: *mayhem-chaos.net*

Bab 7

Kalor

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep kalor dan prinsip konservasi energi pada berbagai perubahan energi dengan cara menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat, cara perpindahan kalor, serta dapat menerapkan Asas Black dalam pemecahan masalah.

Anda akan merasakan panas jika berada dekat dengan api yang menyala. Begitu pula jika Anda memanaskan sebuah logam pada api yang menyala, Anda akan merasakan logam tersebut menjadi panas dan mungkin Anda tidak sanggup memegangnya. Mengapa dapat terjadi perpindahan panas, sedangkan Anda tidak menyentuh sumber panasnya tersebut? Kejadian ini dapat juga disebut sebagai perpindahan kalor yang memiliki arti dapat menghantarkan dan menyerap energi.

Perubahan wujud zat sering terjadi pada kehidupan sehari-hari dan mungkin sering Anda jumpai. Ketika sebuah es dipanaskan, es tersebut akan berubah wujudnya menjadi air. Begitu pula jika air didinginkan pada sebuah lemari es, air tersebut akan berubah wujudnya menjadi es. Tahukah Anda, mengapa dapat terjadi perubahan wujud seperti itu? Untuk lebih memahami materi mengenai zat dan kalor serta perpindahannya, pelajari bahasan-bahasan berikut ini dengan baik.

A. Pengertian Temperatur
B. Pemuaian Zat
C. Pengertian Kalor
D. Perpindahan Kalor

Soal *Prameteri*

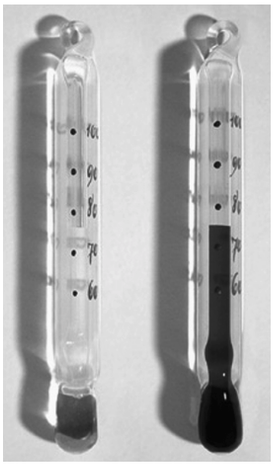
1. Apa yang Anda ketahui tentang kalor?
2. Bagaimanakah caranya mengukur temperatur?
3. Sebutkan dan jelaskan perubahan wujud zat yang Anda ketahui.

A Pengertian Temperatur

Sangatlah sulit untuk memberikan definisi temperatur berdasarkan konsep yang umum digunakan, seperti pada besaran lain. Namun demikian, Anda dapat menggunakan adanya *kesepadanan (equality)* perubahan temperatur terhadap perubahan sifat lain dari suatu benda. Temperatur dapat didefinisikan sebagai *sifat fisik suatu benda untuk menentukan apakah keduanya berada dalam kesetimbangan termal*. Dua buah benda akan berada dalam kesetimbangan termal jika keduanya memiliki temperatur yang sama.

1. Pengukuran Temperatur

Apabila dua benda berada dalam kesetimbangan termal dengan benda ketiga maka keduanya berada dalam kesetimbangan termal. Pernyataan seperti ini dikenal sebagai hukum ke nol termodinamika, yang sering mendasari pengukuran temperatur. Materi mengenai termodinamika akan Anda pelajari lebih mendalam di Kelas XI. Berdasarkan prinsip ini, jika Anda ingin mengetahui apakah dua benda memiliki temperatur yang sama maka kedua benda tersebut tidak perlu disentuh dan diamati perubahan sifatnya terhadap waktu, yang perlu dilakukan adalah mengamati apakah kedua benda tersebut, masing-masing berada dalam kesetimbangan termal dengan benda ketiga? Benda ketiga tersebut adalah *termometer*.



Sumber: *CD image*

Gambar 7.1
Alat ukur termometer ruangan.

Benda apapun yang memiliki sedikitnya satu sifat yang berubah terhadap perubahan temperatur dapat digunakan sebagai termometer. Sifat semacam ini disebut sebagai *sifat termometrik (thermometric property)*. Senyawa yang memiliki sifat termometrik disebut *senyawa termometrik*.

Temperatur zat yang diukur sama besarnya dengan skala yang ditunjukkan oleh termometer saat terjadi kesetimbangan termal antara zat dengan termometer. Jadi, temperatur yang ditunjukkan oleh termometer sama dengan temperatur zat yang diukur.

Zat cair yang umum digunakan dalam termometer adalah air raksa. Hal ini dikarenakan air raksa memiliki keunggulan dibandingkan zat cair lainnya. Keunggulan air raksa dari zat cair lainnya, yaitu

1. dapat menyerap panas suatu benda yang akan diukur sehingga temperatur air raksa sama dengan temperatur benda yang diukur,
2. dapat digunakan untuk mengukur temperatur yang rendah hingga temperatur yang lebih tinggi karena air raksa memiliki titik beku pada temperatur –39°C dan titik didihnya pada temperatur 357°C,
3. tidak membasahi dinding tabung sehingga pengukurannya menjadi lebih teliti,
4. pemuaian air raksa teratur atau linear terhadap kenaikan temperatur, kecuali pada temperatur yang sangat tinggi, dan
5. mudah dilihat karena air raksa dapat memantulkan cahaya.

Selain air raksa, dapat juga digunakan alkohol untuk mengisi tabung termometer. Akan tetapi, alkohol tidak dapat mengukur temperatur yang tinggi karena titik didihnya 78°C, namun alkohol dapat mengukur temperatur yang lebih rendah karena titik bekunya pada temperatur –144°C. Jadi, termometer yang berisi alkohol baik untuk mengukur temperatur yang rendah, tetapi tidak dapat mengukur temperatur yang lebih tinggi.

Kata Kunci

- Kesetimbangan termal
- Senyawa termometrik
- Sifat termometrik
- Skala *Celsius*
- Skala *Fahrenheit*
- Skala *Kelvin*
- Skala *Reamur*
- Temperatur
- Termometer

2. Skala pada Beberapa Termometer

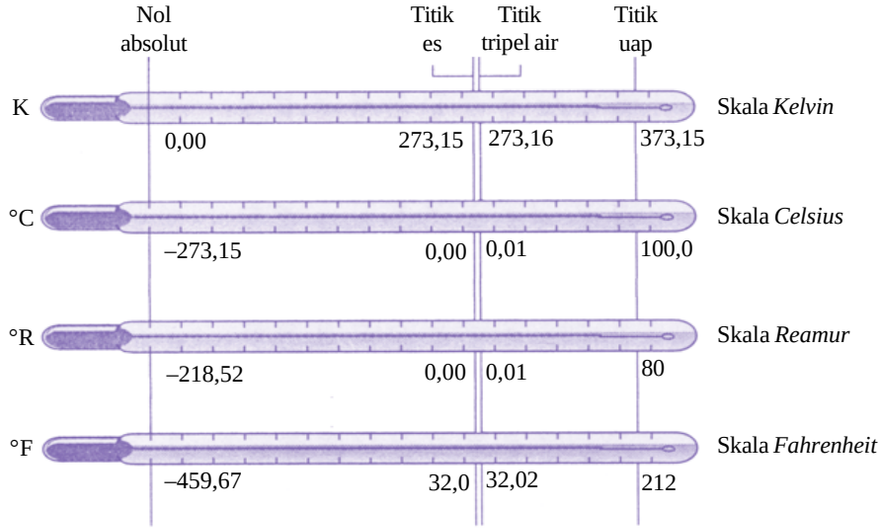
Ketika mengukur temperatur dengan menggunakan termometer, terdapat beberapa skala yang digunakan, di antaranya skala *Celsius*, skala *Reamur*, skala *Fahrenheit*, dan skala *Kelvin*. Keempat skala tersebut memiliki

perbedaan dalam pengukuran suhunya. Berikut rentang temperatur yang dimiliki setiap skala.

a. Termometer skala *Celsius*
   Memiliki titik didih air 100°C dan titik bekunya 0°C. Rentang temperaturnya berada pada temperatur 0°C – 100°C dan dibagi dalam 100 skala.
b. Temometer skala *Reamur*
   Memiliki titik didih air 80°R dan titik bekunya 0°R. Rentang temperaturnya berada pada temperatur 0°R – 80°R dan dibagi dalam 80 skala.
c. Termometer skala *Fahrenheit*
   Memiliki titik didih air 212°F dan titik bekunya 32°F. Rentang temperaturnya berada pada temperatur 32°F – 212°F dan dibagi dalam 180 skala.
d. Termometer skala *Kelvin*
   Memiliki titik didih air 373,15 K dan titik bekunya 273,15 K. Rentang temperaturnya berada pada temperatur 273,15 K – 373,15 K dan dibagi dalam 100 skala.

Jadi, jika diperhatikan pembagian skala tersebut, satu skala dalam derajat *Celsius* sama dengan satu skala dalam derajat *Kelvin*, sementara satu skala *Celsius* kurang dari satu skala *Reamur* dan satu skala *Celsius* lebih dari satu skala *Fahrenheit*. Secara matematis perbandingan keempat skala tersebut, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{C-0}{100}=\frac{R-0}{80}=\frac{F-32}{180}=\frac{K-273{,}15}{373{,}15}$$



Gambar 7.2
Perbandingan empat skala termometer.

Contoh 7.1

Misalkan Ucok membuat sebuah termometer yang disebut dengan termometer X. Pada termometer ini air membeku pada 0°X dan air mendidih pada 150°X. Bagaimanakah hubungan termometer ini dengan termometer dalam skala *Celsius*?

Jawab

Pada termometer X, rentang temperatur yang dimilikinya, yakni dari 0°X – 150°X sehingga skala pada termometer ini dibagi dalam 150 skala. Perbandingan antara termometer X dan termometer *Celsius*, yakni

$$\frac{C-0}{100}=\frac{X-0}{150}$$

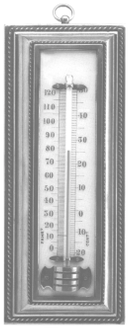
$$T°C=\frac{100}{150}T°X \rightarrow =\frac{2}{3}T°X$$

Jadi, hubungan antara termometer ini dengan termometer Celsius adalah $t°C=\frac{2}{3}t°X$.

Jelajah Fisika

Mengukur Temperatur

Temperatur zat apapun langsung berkaitan dengan rata-rata energi gerak atom atau molekul pembentuknya. Walaupun temperatur terendah pada termometer ini (0 – 2)°C atau (0 – 4)°F, temperatur yang terendah yang dapat dicapai lebih kurang (0 – 273)°C atau –459°F yang disebut temperatur nol mutlak. Temperatur ini hanya dapat dijumpai apabila atom dan molekul tidak lagi mengandung energi gerak sama sekali. Celsius (C) dan Fahrenheit (F) adalah dua skala temperatur yang paling lazim digunakan.



Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Soal Penguasaan *Materi* 7.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Berapakah temperatur suatu benda sehingga angka yang ditunjukkan oleh skala *Celsius* sama dengan skala *Fahrenheit*?
2. Diketahui sebuah termometer memiliki titik beku pada temperatur –10°X dan titik didih 80°X. Bagaimanakah hubungan termometer ini terhadap skala *Celsius*?
3. Temperatur yang terbaca pada skala *Celsius* menunjukkan nilai 30°C. Berapakah nilai yang terbaca pada skala *Kelvin*?
4. Berapakah nilai yang terbaca pada temperatur skala *Celsius* jika Anda menemukan sebuah data yang menyatakan bahwa temperatur di ruangan Anda menunjukkan nilai 20°R?

B Pemuaian Zat

Anda mungkin pernah melihat sambungan rel kereta api dibuat renggang atau bingkai kaca lebih besar daripada kacanya. Hal ini dibuat untuk menghindari akibat dari terjadinya pemuaian. Pemuaian terjadi jika benda yang dapat memuai diberi panas. Ada 3 jenis pemuaian jenis zat, yaitu pemuaian zat padat, pemuaian zat cair, dan pemuaian zat gas. Pada bab ini hanya akan dibahas pemuaian zat padat.

1. Pemuaian Panjang

Jika temperatur dari sebuah benda naik, kemungkinan besar benda tersebut akan mengalami pemuaian. Misalnya, sebuah benda yang memiliki panjang L_0 pada temperatur T akan mengalami pemuaian panjang sebesar ΔL jika temperatur dinaikan sebesar ΔT. Secara matematis, perumusan pemuaian panjang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta L = \alpha\, L_0 \Delta T \qquad (7\text{–}1)$$

dengan α adalah koefisien muai panjang.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \qquad (7\text{–}2)$$

Satuan dari α adalah kebalikan dari satuan temperatur skala *Celsius* $\left(\frac{1}{°C}\right)$ atau kelvin $\frac{1}{K}$. Tabel berikut ini menunjukkan nilai dari koefisien muai panjang untuk berbagai zat.

Tabel 7.1 Nilai Pendekatan Koefisien Muai Panjang untuk Berbagai Zat

Bahan	$\alpha\left(\frac{1}{K}\right)$
Aluminium	24×10^{-6}
Kuningan	19×10^{-6}
Karbon	
Intan	$1{,}2 \times 10^{-6}$
Grafit	$7{,}9 \times 10^{-6}$
Tembaga	17×10^{-6}
Gelas	
Biasa	9×10^{-6}
Pyrex	$3{,}2 \times 10^{-6}$
Es	51×10^{-6}
Invar	1×10^{-6}
Baja	11×10^{-6}

Sumber: *Physics*, 1995

Contoh 7.2

Sebuah kuningan memiliki panjang 1 m. Tentukanlah pertambahan panjang kuningan tersebut jika temperaturnya naik dari 10°C sampai 40°C.

Jawab

Diketahui: $L_0 = 1$ m,

$\Delta T = 40°C - 10°C = 30°C = 303{,}15K$, dan

$\alpha_{kuningan} = 19 \times 10^{-6}/K$.

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$
$$= (19 \times 10^{-6}/K)(1\ m)(303{,}15\ K)$$
$$= 5{,}76 \times 10^{-3} = 5{,}76\ mm$$

Jadi, pertambahan panjang kuningan setelah temperaturnya naik menjadi 40° adalah 5,76 mm.

2. Pemuaian Luas

Sebuah benda yang padat, baik bentuk persegi maupun silinder, pasti memiliki luas dan volume. Seperti halnya pada pemuaian panjang, ketika benda dipanaskan, selain terjadi pemuaian panjang juga akan mengalami pemuaian luas. Perumusan pada pemuaian luas hampir sama seperti pada pemuaian panjang, yaitu sebagai berikut

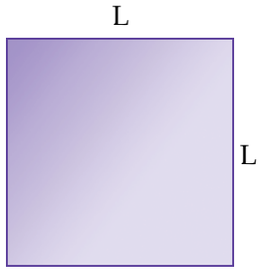
$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T \qquad (7\text{–}3)$$

dengan β adalah koefisien muai luas.

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T} \qquad (7\text{–}4)$$

satuan dari β adalah /K sama seperti koefisien muai panjang (α).

Coba Anda perhatikan sebuah tembaga berbentuk persegi sama sisi. Misalkan, panjang sisi tembaga adalah L_0 maka luas tembaga adalah L_0^2. Jika tembaga tersebut dipanasi sampai terjadi perubahan temperatur sebesar ΔT maka sisi-sisi tembaga akan memuai dan panjang sisi tembaga menjadi $L_0 + \Delta T$. Luas tembaga setelah memuai akan berubah menjadi $(L_0 + \Delta T)^2$ dan perubahan luas setelah pemuaian adalah



Gambar 7.3
Logam berbentuk persegi jika dipanaskan akan memuai.

$$\Delta A = (L_0 + \Delta L)^2 - L_0^2$$
$$\Delta A = L_0^2 + 2L_0\Delta L + \Delta L^2 - L_0^2$$
$$\Delta A = 2L_0\Delta L + \Delta L^2$$

dari perumusan koefisien muai luas, yaitu

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T}$$
$$\beta = \frac{2L_0\Delta L + \Delta L^2}{L_0^2 \Delta T}$$

Oleh karena perubahan panjang ΔL tembaga sangatlah kecil maka nilai ΔL^2 dapat diabaikan. Jika ditulis ulang, persamaan tersebut menjadi

$$\beta = \frac{2L_0\Delta L}{L_0^2 \Delta T} = \frac{2\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

seperti yang telah Anda ketahui bahwa

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

maka

$$\boxed{\beta = 2\alpha} \qquad (7\text{–}5)$$

Contoh 7.3

Sebuah batang aluminium memiliki luas 100 cm^2. Jika batang aluminium tersebut dipanaskan mulai dari 0°C sampai 30°C, berapakah perubahan luasnya setelah terjadi pemuaian? (Diketahui: α = 24 × 10^{-6}/K).

Jawab

Diketahui: A_0 = 100 cm^2 = 1 m^2,

ΔT = 30°C – 0°C = 30°C = 303,15 K, dan

$\beta = 2\alpha$ = 48 × 10^{-6}/K.

$\Delta A = \beta A_0 \Delta T$

ΔA = 48 × 10^{-6}/K × 1 m^2 × 303,15 K

ΔA = 0,0145 m^2

Jadi, perubahan luas bidang aluminium setelah pemuaian adalah 0,0145 m^2.

3. Pemuaian Volume

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, setiap benda yang padat pasti memiliki volume. Jika panjang sebuah benda dapat memuai ketika dipanaskan maka volume benda tersebut juga ikut memuai. Perumusan untuk pemuaian volume sama dengan perumusan panjang dan luas, yaitu

$$\boxed{\Delta V = \gamma V_0 \Delta T} \qquad (7\text{–}6)$$

dengan γ adalah koefisien muai volume

$$\boxed{\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}} \qquad (7\text{–}7)$$

Kata Kunci

- Koefisien muai luas
- Koefisien muai panjang
- Koefisien muai volume
- Pemuaian luas
- Pemuaian panjang
- Pemuaian volume

Perlu Anda ketahui terdapat hubungan antara α dan β terhadap waktu γ, yaitu

$$\boxed{\gamma = 3\alpha \quad \gamma = \frac{3}{2}\beta} \qquad (7\text{–}8)$$

Contoh 7.4

Sebuah bola yang memiliki volume 50 m^3 jika dipanaskan hingga mencapai temperatur 50°C. Jika pada kondisi awal kondisi tersebut memiliki temperatur 0°C, tentukanlah volume akhir bola tersebut setelah terjadi pemuaian (Diketahui α = 17 × 10^{-6}/K)

Jawab

Diketahui: V_0 = 50 m^3,

ΔT = 50°C – 0°C = 50°C = 323,15 K, dan

$\gamma = 3\alpha$ = 51 × 10^{-6}/K.

$\Delta V = \gamma V_o \Delta T$
$\Delta V = 51 \times 10^{-6}/\text{K} \times 50\ \text{m}^3 \times 323{,}15\ \text{K}$
$\Delta V = 0{,}82\ \text{m}^3$
$\Delta V = V - V_o$
$V = \Delta V + V_o$
$V = 0{,}82\ \text{m}^3 + 50\ \text{m}^3 = 50{,}82\ \text{m}^3$
Jadi, volume akhir bola setelah pemuaian adalah 50,82 m^3

Soal Penguasaan *Materi* 7.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Karena suhunya dinaikkan dari 0°C menjadi 100°C, suatu batang baja yang panjangnya 1 m bertambah panjangnya 1 mm. Diketahui ΔL_2 = 0,27 mm. Berapakah pertambahan panjang suatu batang baja yang panjangnya 60 cm jika dipanaskan dari 0°C sampai 120°C?
2. Sebatang baja ($\alpha = 10^{-5}/°\text{C}$) panjangnya 100 cm pada temperatur 30°C. Jika panjang batang baja tersebut sekarang menjadi 100,1 cm, tentukanlah temperatur batang baja tersebut.
3. Buktikanlah oleh Anda bahwa $\gamma = 2\alpha$ dan $\beta = \frac{2}{3}\gamma$
4. Sebuah bola berongga yang terbuat dari perunggu ($\alpha = 18 \times 10^{-6}$°C) berada pada temperatur 0°C dan memiliki jari-jari 1 m. Jika bola tersebut dipanaskan sampai 80°C, tentukanlah pertambahan luas permukaan bola.

Kerjakanlah 7.1

Sediakanlah sebuah gelas kaca dan sebuah gelas plastik atau gelas keramik (mug). Masukkan air mendidih (100°C) kepada kedua gelas tersebut. Amatilah apa yang terjadi. Mengapa gelas kaca pecah, sedangkan gelas plastik atau gelas keramik tidak pecah? Apakah ada hubungannya dengan konsep pemuaian? Coba Anda jelaskan dengan menggunakan bahasa Anda sendiri. Jika perlu, diskusikan bersama teman atau guru Anda dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

C Pengertian Kalor

Misalkan, dua buah zat yang memiliki temperatur berbeda dicampurkan pada sebuah wadah. Maka temperatur kedua benda tersebut akan menjadi sama. Besarnya temperatur akhir berada di antara temperatur awal kedua zat tersebut. Pada gejala ini, kalor berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah hingga mencapai temperatur setimbangnya.

Pada 1850, untuk pertama kalinya Joule menggunakan sebuah alat yang di dalamnya terdapat beban-beban yang jatuh dan merotasikan sekumpulan pengaduk di dalam sebuah wadah air yang tertutup. Dalam satu siklus, beban-beban yang jatuh tersebut melakukan sejumlah kerja pada air tersebut dengan massa air adalah *m* dan air tersebut mengalami kenaikan temperatur sebesar Δt. Percobaan ini menerangkan tentang adanya energi yang menyebabkan timbulnya kalor dalam siklus tersebut.

Kalor dapat didefinisikan sebagai *proses transfer energi dari suatu zat ke zat lainnya dengan diikuti perubahan temperatur*. Satuan kalor adalah joule (J) yang diambil dari nama seorang ilmuwan yang telah berjasa dalam bidang ilmu Fisika, yaitu **James Joule**. Satuan kalor lainnya adalah kalori. Hubungan satuan joule dan kalori, yakni 1 kalori = 4,184 joule.

Kata Kunci

- Energi
- Kalor
- Kapasitas kalor
- Wujud zat

1. Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

Apabila temperatur dari suatu benda dinaikkan dengan besar kenaikan temperatur yang sama, ternyata setiap benda akan menyerap energi kalor dengan besar yang berbeda. Misalnya, terdapat empat buah bola masing-masing terbuat dari aliminium, besi, kuningan, dan timah. Keempat bola ini memiliki massa sama dan ditempatkan di dalam suatu tempat yang berisi air mendidih. Setelah 30 menit, keempat bola akan mencapai kesetimbangan termal dengan air dan akan memiliki temperatur yang sama dengan temperatur air. Kemudian, keempat bola diangkat dan ditempatkan di atas kepingan parafin. Bola aluminium dapat melelehkan parafin dan jatuh menembus parafin. Beberapa sekon kemudian, bola besi mengalami kejadian yang sama. Bola kuningan hanya dapat melelehkan parafin sebagian, sedangkan bola timah hampir tidak dapat melelehkan parafin.

Bagaimanakah Anda dapat menjelaskan kejadian yang terjadi pada keempat bola tersebut? Keempat bola tersebut menyerap kalor dari air mendidih, kemudian memindahkan kalor tersebut pada parafin sehingga parafin meleleh. Oleh karena setiap benda memiliki kemampuan berbeda untuk melelehkan parafin, setiap bola akan memindahkan kalor dari air ke parafin dengan besar yang berbeda. Kemampuan yang dimiliki setiap benda ini berhubungan dengan kalor jenis benda tersebut. Kalor jenis suatu benda dapat didefinisikan sebagai *jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar 1K*. Kalor jenis menunjukkan kemampuan suatu benda untuk menyerap kalor. Semakin besar kalor jenis suatu benda, semakin besar pula kemampuan benda tersebut untuk menyerap kalor. Secara matematis, kalor jenis suatu zat dapat dituliskan sebagai berikut.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (7\text{–}9)$$

dengan: c = kalor jenis suatu zat (J/kg K),
Q = kalor (J),
m = massa benda (kg), dan
ΔT = perubahan temperatur (K).

Untuk suatu benda, faktor mc dipandang sebagai satu kesatuan dan faktor ini disebut sebagai kapasitas kalor. Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$C = c\,m = \frac{Q}{m} \qquad (7\text{–}10)$$

Satuan kapasitas kalor adalah J/K. Jika **Persamaan (7–9)** dan **Persamaan (7–10)** diuraikan, besarnya kalor suatu zat adalah

$$Q = m\,c\,\Delta T \qquad (7\text{–}11)$$

$$Q = C\,\Delta T \qquad (7\text{–}12)$$

Solusi Cerdas

Energi kalor yang diperlukan untuk memanaskan air dari 30°C sampai dengan 80°C dengan massa air 500 gram (c_{air} = 4.200 J/kgK) adalah ....
a. 350.000 joule
b. 378.000 joule
c. 252.000 joule
d. 152.000 joule
e. 105.000 joule

Penyelesaian
Diketahui:
m = 500 g = 0,5 kg,
c = 4.200 J/kgK, dan
ΔT = (80–30)°C = 50°C.

$Q = m\,c\,\Delta T$
= (0,5 kg) × (4.200 J/kgK) × (50°C)
= 105.000 joule

Jawab: e

Ebtanas 1990

Contoh 7.5

Air sebanyak 100 gram yang memiliki temperatur 25°C dipanaskan dengan energi sebesar 1.000 kalori. Jika kalor jenis air 1 kal/g °C, tentukanlah temperatur air setelah pemanasan tersebut.

Jawab

Diketahui: m = 100 gram,
T_0 = 25 °C,
c_{air} = 1 kal/g°C, dan
Q = 1.000 kal.

Dengan menggunakan **Persamaan (7–11)**, diperoleh

$$Q = mc\,\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{1.000 \text{ kal}}{100 \text{ gram} \times 1 \text{ kal/g°C}}$$

$$\Delta T = 10°C$$

Perubahan temperatur memiliki arti selisih antara temperatur akhir air setelah pemanasan terhadap temperatur awal, atau secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta T = T - T_0$$
$$10°C = T - 25°C$$
$$T = 35°C$$

Jadi, temperatur akhir air setelah pemanasan adalah 35°C.

2. Perubahan Wujud Zat

Setiap zat memiliki kecenderungan untuk berubah jika zat tersebut diberikan temperatur yang tinggi (dipanaskan) ataupun temperatur yang rendah (didinginkan). Kecenderungan untuk berubah wujud ini disebabkan oleh kalor yang dimiliki setiap zat. Suatu zat dapat berubah menjadi tiga wujud zat, di antaranya cair, padat, dan gas. Perubahan wujud zat ini diikuti dengan penyerapan dan pelepasan kalor.

a. Kalor Penguapan dan Pengembunan

Kalor penguapan adalah *kalor yang dibutuhkan oleh suatu zat untuk menguapkan zat tersebut*. Jadi, setiap zat yang akan menguap membutuhkan kalor. Adapun kalor pengembunan adalah *kalor yang dilepaskan oleh uap air yang berubah wujud menjadi air*. Jadi, pada setiap pengembunan akan terjadi pelepasan kalor. Besarnya kalor yang dibutuhkan pada saat penguapan dan kalor yang dilepaskan pada saat pengembunan adalah sama. Secara matematis, kalor penguapan dan pengembunan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Q = m\,L \qquad (7\text{–}13)$$

dengan: Q = kalor yang dibutuhkan saat penguapan atau kalor yang dilepaskan saat pengembunan,
m = massa zat, dan
L = kalor laten penguapan atau pengembunan.

Perlu Anda Ketahui

Simbol L untuk kalor laten adalah sama untuk semua perubahan wujud zat.

b. Kalor Peleburan dan Pembekuan

Pernahkah Anda mendengar atau menerima informasi tentang peristiwa mencairnya gunung-gunung es di kutub utara akibat pemanasan global? Mencair atau meleburnya es di kutub utara disebabkan oleh adanya pemanasan. Jika benda mengalami peleburan, perubahan wujud yang terjadi adalah dari wujud zat padat menjadi zat cair. Dalam hal ini, akan terjadi penyerapan kalor pada benda. Adapun perubahan wujud zat dari cair ke padat disebut sebagai proses pembekuan. Dalam hal ini, akan terjadi proses pelepasan kalor. Besarnya kalor yang dibutuhkan pada saat peleburan dan

besarnya kalor yang dilepaskan dalam proses pembekuan adalah sama. Perumusan untuk kalor peleburan dan pembekuan sama dengan perumusan pada kalor penguapan dan pengembunan, yakni sebagai berikut.

$$Q = m\,L \qquad (7\text{–}14)$$

dengan: Q = kalor yang dibutuhkan saat peleburan atau kalor yang dilepaskan saat pembekuan,
m = massa zat, dan
L = kalor laten peleburan atau pembekuan.

Contoh 7.6

Berapakah besarnya kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan es sebanyak 500 gram pada temperatur 0°C menjadi cair seluruhnya yang memiliki temperatur 10°C ? Diketahui kalor laten peleburan es menjadi air sebesar 80 kal/g.

Jawab

Diketahui: L = 80 kal/g, dan
m = 500 gram.

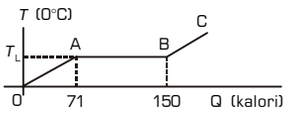
Dengan menggunakan **Persamaan (7–14)**, diperoleh

$Q = m\,L$
Q = 500 gram × 80 kal/g
Q = 40.000 kal
Q = 40 kkal

Jadi, besarnya kalor yang dibutuhkan untuk meleburkan es menjadi cair seluruhnya adalah sebesar 40 kkal.

Solusi Cerdas

Grafik berikut ini menyatakan hubungan antara temperatur (T) dengan kalor (Q) yang diberikan pada 1 gram zat padat.



Besar kalor lebur zat padat tersebut adalah ....
a. 71 kalori/g
b. 79 kalori/g
c. 80 kalori/g
d. 811 kalori/g
e. 150 kalori/g

Penyelesaian

Diketahui: m_{zat} = 1 gram.
Zat padat tersebut mengalami peleburan pada temperatur T_1 (grafik AB). Pada kurva AB.
ΔQ = 150 – 71 = 79 kal.
Dengan demikian, kalor lebur zat padat dapat dihitung sebagai berikut

$\Delta Q = mL$

$L = \frac{\Delta Q}{m} = \frac{79}{1} = 79$ kal/gram

Jawab: b

Ebtanas 1989

3. Hubungan Kalor Laten dan Perubahan Wujud

Sebuah benda dapat berubah wujud ketika diberi kalor. Coba Anda perhatikan perilaku suatu benda ketika dipanaskan. Apabila suatu zat padat, misalnya es dipanaskan, es tersebut akan menyerap kalor dan beberapa lama kemudian berubah wujud menjadi zat cair. Perubahan wujud zat dari padat menjadi cair ini disebut proses *melebur*. Temperatur pada saat zat mengalami peleburan disebut *titik lebur* zat. Adapun proses perubahan wujud zat dari cair menjadi padat disebut sebagai proses *pembekuan* dan temperatur ketika zat mengalami proses pembekuan disebut *titik beku* zat.

Jika zat cair dipanaskan akan menguap dan berubah wujud menjadi gas. Perubahan wujud dari zat cair menjadi uap (gas) disebut *menguap*. Pada peristiwa penguapan dibutuhkan kalor. Proses penguapan dapat terjadi dalam kehidupan sehari-hari, misalnya Anda mencelupkan tangan Anda ke dalam cairan spiritus atau alkohol. Spiritus atau alkohol adalah zat cair yang mudah menguap. Untuk melakukan penguapan ini, spiritus atau alkohol menyerap panas dari tangan Anda sehingga tangan Anda terasa dingin. Peristiwa lain yang memperlihatkan bahwa proses penguapan membutuhkan kalor adalah pada air yang mendidih. Penguapan hanya terjadi pada permukaan zat cair dan dapat terjadi pada sembarang temperatur, sedangkan mendidih hanya terjadi pada seluruh bagian zat cair dan hanya terjadi pada temperatur tertentu yang disebut dengan titik didih. Proses kebalikan dari menguap adalah *mengembun*, yakni perubahan wujud dari uap menjadi cair.

Ketika sedang berubah wujud, baik melebur, membeku, menguap, dan mengembun, temperatur zat akan tetap, walaupun terdapat pelepasan atau penyerapan kalor. Dengan demikian, terdapat sejumlah kalor yang di-

lepaskan atau diserap pada saat perubahan wujud zat, tetapi tidak digunakan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur. Kalor ini disebut sebagai *kalor laten* dan disimbolkan dengan huruf *L*. Besarnya kalor ini bergantung pada jumlah zat yang mengalami perubahan wujud (massa benda). Jadi, kalor laten adalah *kalor yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk mengubah wujudnya per satuan massa.*

Mengapa kalor yang diserap oleh suatu zat padat ketika melebur atau menguap tidak dapat menaikkan temperaturnya? Berdasarkan teori kinetik, pada saat melebur atau menguap, kecepatan getaran molekul bernilai maksimum. Kalor yang diserap tidak menambah kecepatannya, tetapi digunakan untuk melawan gaya ikat antarmolekul zat tersebut. Ketika molekul-molekul ini melepaskan diri dari ikatannya, zat padat berubah menjadi zat cair atau zat cair berubah menjadi gas. Setelah seluruh zat padat melebur atau menguap, temperatur zat akan bertambah kembali. Peristiwa kebalikannya terjadi juga pada saat melebur, membeku, atau mengembun.

Kalor laten pembekuan besarnya sama dengan kalor laten peleburan yang disebut sebagai kalor lebur. Kalor lebur es *L* pada temperatur dan tekanan normal adalah 334 kJ/kg. Kalor laten penguapan besarnya sama dengan kalor laten pengembunan, yang disebut sebagai kalor uap. Kalor uap air *L* pada temperatur dan tekanan normal adalah 2.256 kJ/kg.

Perhatikan **Gambar 7.4** yang menunjukkan proses perubahan temperatur dan wujud zat pada sebuah es. Dari gambar tersebut terdapat proses perubahan temperatur dan wujud zat yang terjadi, yakni sebagai berikut.

a. Proses A – B merupakan proses kenaikan temperatur dari sebongkah es. Pada proses kenaikan temperatur ini, grafik yang terjadi adalah linear. Pada grafik AB, kalor digunakan untuk menaikkan temperatur.

$$Q_{AB} = m_{es}\, c_{es} \Delta T$$
$$Q_{AB} = m_{es}\, c_{es}\, (0^{o}\text{C} - (-T_1))$$
$$Q_{AB} = m_{es}\, c_{es}\, T_1$$

b. Proses B – C merupakan proses perubahan wujud zat dari es menjadi air. Pada grafik BC, kalor tidak digunakan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur benda, tetapi hanya digunakan untuk mengubah wujud zat benda tersebut, yakni dari wujud es menjadi air.

$$Q_{BC} = m_{es} L$$

c. Pada grafik C – D, terjadi proses kenaikan temperatur yang sama dengan proses pada (a). Akan tetapi, pada proses ini yang dinaikkan suhunya adalah air dari 0^{o}C sampai 100^{o}C.

$$Q_{CD} = m_{air} c_{air}\, \Delta T$$
$$Q_{CD} = m_{air} c_{air}\, (100°\text{C} - 0°\text{C})$$
$$Q_{CD} = m_{air} c_{air}\, 100°\text{C}$$

d. Sama halnya pada proses B – C, proses D – E tidak mengalami perubahan temperatur, tetapi yang terjadi hanya perubahan wujud zat dari air menjadi uap.

$$Q_{DE} = m_{air} L$$

Solusi Cerdas

Es yang massanya 125 gram dan memiliki temperatur 0°C, dimasukkan ke dalam 500 gram air yang memiliki temperatur 20°C. Ternyata, es melebur seluruhnya. Jika kalor lebur es = 80 kalori/gram°C, temperatur akhir campuran adalah ....

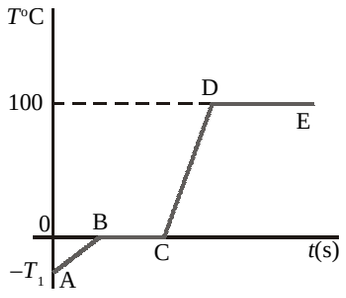
a. 0°C
b. 5°C
c. 10°C
d. 15°C
e. 20°C

Penyelesaian

- $m_{air} c_{air} \Delta T_{air} = m_{campuran} c_{campuran} \Delta T_{campuran} + m_{es} L$
- $500 \times 1 \times (20 - T_{akhir}) = 625 \times 1 \times (t_{akhir} - 0) + 125 \times 80$
- $10.000 - 500 \times T_{akhir} = 625 \times T_{akhir} + 10.000$
- $1.125 \times T_{akhir} = 0$
- $T_{akhir} = 0°\text{C}$

Jawab: a

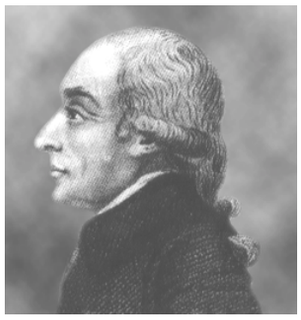
Ebtanas 1993/1994



Gambar 7.4
Grafik perubahan temperatur dan berubahan wujud zat pada sebuah es.

Jelajah Fisika

Joseph Black



Joseph Black mengira bahwa kapasitas panas merupakan jumlah panas yang dapat ditampung oleh suatu benda. Hal ini sebenarnya merupakan ukuran tentang jumlah tenaga yang diperlukan untuk menaikan temperatur suatu benda dalam jumlah tertentu. Misalnya, untuk menaikkan temperatur 1 kg (2,2 lb) air sebesar 1°C (1,8°F) dibutuhkan lebih banyak panas daripada menaikkan temperatur 1 kg besi dengan kenaikan temperatur yang sama.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

4. Asas Black

Kalor adalah energi yang dipindahkan dari benda yang memiliki temperatur tinggi ke benda yang memiliki temperatur lebih rendah sehingga pengukuran kalor selalu berhubungan dengan perpindahan energi. Energi adalah kekal sehingga benda yang memiliki temperatur lebih tinggi akan melepaskan energi sebesar Q_L dan benda yang memiliki temperatur lebih rendah akan menerima energi sebesar Q_T dengan besar yang sama. Secara matematis, pernyataan tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

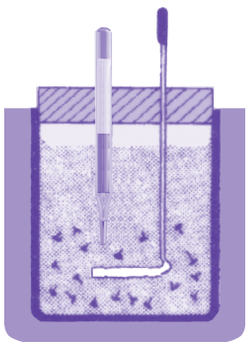
$$Q_{\text{Lepas}} = Q_{\text{Terima}} \qquad (7\text{–}15)$$

Persamaan (7–15) menyatakan hukum kekekalan energi pada pertukaran kalor yang disebut sebagai Asas Black. Nama hukum ini diambil dari nama seorang ilmuwan Inggris sebagai penghargaan atas jasa-jasanya, yakni **Joseph Black** (1728–1799). Pengukuran kalor sering dilakukan untuk menentukan kalor jenis suatu zat. Jika kalor jenis suatu zat diketahui, kalor yang diserap atau dilepaskan dapat ditentukan dengan mengukur perubahan temperatur zat tersebut. Kemudian, dengan menggunakan persamaan

$$Q = m\,c\,\Delta T$$

besarnya kalor dapat dihitung. Ketika menggunakan persamaan ini, perlu diingat bahwa temperatur naik berarti zat menerima kalor, dan temperatur turun berarti zat melepaskan kalor.

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kalor. Salah satu bentuk kalorimeter, tampak pada **Gambar 7.5**. Kalorimeter ini terdiri atas sebuah bejana logam dengan kalor jenisnya telah diketahui. Bejana ini biasanya ditempatkan di dalam bejana lain yang agak lebih besar. Kedua bejana dipisahkan oleh bahan penyekat, misalnya gabus atau wol. Kegunaan bejana luar adalah sebagai pelindung agar pertukaran kalor dengan lingkungan di sekitar kalorimeter dapat dikurangi. Kalorimeter juga dilengkapi dengan batang pengaduk. Pada waktu zat dicampurkan di dalam kalorimeter, air di dalam kalorimeter perlu diaduk agar diperoleh temperatur merata dari percampuran dua zat yang suhunya berbeda. Batang pengaduk ini biasanya terbuat dan bahan yang sama seperti bahan bejana kalorimeter. Zat yang diketahui kalor jenisnya dipanaskan sampai temperatur tertentu. Kemudian, zat tersebut dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air dengan temperatur dan massanya yang telah diketahui. Selanjutnya, kalorimeter diaduk sampai suhunya tetap.



Gambar 7.5
Kalorimeter sebagai alat ukur kalor.

Soal Penguasaan *Materi* 7.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Es sebanyak 100 gram memiliki temperatur –10°C. Kemudian, pada es tersebut diberikan kalor sehingga seluruh es mencair menjadi air dengan temperatur 20°C. Berapa kalori kalor yang diberikan pada es tersebut?
2. Air sebanyak 1.000 gram yang memiliki temperatur 15°C dipanaskan dengan energi sebesar 2.000 kalori. Jika kalor jenis air 1 kal/g°C, tentukanlah temperatur air setelah pemanasan tersebut.
3. Berapakah kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan es sebanyak 200 gram yang bertemperatur 0°C? Diketahui kalor laten peleburan air 80 kal/g.
4. Ke dalam 50 gram air yang bersuhu 40°C, dimasukkan es sebanyak 10 gram. Jika temperatur es mula-mula 0°C, tentukanlah temperatur akhir dari campuran es dan air ini, jika dianggap tidak ada kalor yang hilang.
5. Jelaskan hukum Asas Black yang Anda ketahui dan sebutkan contohnya dalam kehidupan sehari-hari.

D Perpindahan Kalor

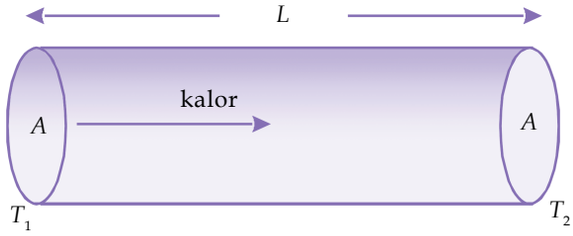
Pada sebuah benda, perpindahan kalor atau perambatan kalor terjadi dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Kalor dapat merambat dengan tiga cara, di antaranya secara konduksi (hantaran), secara konveksi (aliran), dan secara radiasi (pancaran). Berikut pembahasan mengenai setiap jenis perambatan kalor tersebut.

Kata Kunci

- Perpindahan kalor
- Perpindahan kalor secara konduksi
- Perpindahan kalor secara konveksi
- Perpindahan kalor secara radiasi

1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Jika salah satu ujung batang logam dimasukkan ke dalam api atau dipanaskan, ujung batang yang lainnya akan ikut menjadi panas, walaupun tidak ikut dimasukkan ke dalam api. Mengapa demikian? Atom-atom di dalam zat padat yang dipanaskan tersebut akan bergetar dengan sangat kuat. Kemudian, atom-atom tersebut akan memindahkan sebagian energi yang dimilikinya ke atom-atom tetangga terdekat yang ditumbuknya. Atom tetangga ini menumbuk atom tetangga lainnya dan seterusnya sehingga terjadi hantaran energi di dalam zat padat tersebut. Untuk bahan logam, terdapat elektron-elektron yang dapat bergerak bebas yang juga ikut berperan dalam merambatkan energi tersebut. *Perpindahan kalor yang tidak diikuti perpindahan massa* ini disebut konduksi.



Gambar 7.6
Rambatan kalor di dalam konduktor.

Kalor yang mengalir dalam batang per satuan waktu dapat dinyatakan dalam hubungan:

$$H = KA\frac{\Delta T}{L} \qquad (7\text{–}16)$$

$$H = KA\frac{(T_1 - T_2)}{L} \qquad (7\text{–}17)$$

dengan: T_1 = ujung batang logam bersuhu tinggi,
T_2 = ujung batang logam bersuhu rendah,
A = luas penampang hantaran kalor dan batang logam,
L = panjang batang,
K = koefisien konduksi termal, dan
H = jumlah kalor yang merambat pada batang per satuan waktu per satuan luas.

Dalam kehidupan sehari-hari, contoh peristiwa konduksi ini dapat Anda temukan saat Anda memasak makanan. Panci yang digunakan untuk memasak akan mendapatkan panas atau kalor di setiap bagiannya, walaupun bagian panci yang terkena api hanyalah di bagian bawahnya. Perambatan kalor secara konduksi ini juga terjadi pada sendok yang digunakan. Oleh karena itu, tangkai sendok penggorengan dilapisi dengan bahan yang tidak menghantarkan kalor, seperti plastik atau kayu. Berikut tabel yang menyatakan nilai konduktivitas termal beberapa zat.

Tabel 7.2 Konduktivitas Termal Beberapa Zat

Zat/Bahan	$K\left(\frac{kJ}{ms\ K}\right)$
Logam:	
Perak	$4{,}2 \times 10^{-1}$
Tembaga	$3{,}8 \times 10^{-1}$
Aluminium	$2{,}1 \times 10^{-1}$
Kuningan	$1{,}0 \times 10^{-2}$
Besi/Baja	$4{,}6 \times 10^{-3}$
Zat Padat Lainnya:	
Beton	$1{,}7 \times 10^{-3}$
Kaca	$8{,}0 \times 10^{-4}$
Batu bata	$7{,}1 \times 10^{-4}$
Kayu cemara	$1{,}2 \times 10^{-4}$
Zat cair:	
Air	$5{,}7 \times 10^{-4}$
Bahan isolator:	
Serbuk gergaji	$5{,}9 \times 10^{-5}$
Gabus	$4{,}0 \times 10^{-5}$
Wol gelas	$3{,}9 \times 10^{-5}$
Kapuk	$3{,}5 \times 10^{-5}$
Gas:	
Hidrogen	$1{,}7 \times 10^{-4}$
Udara	$2{,}3 \times 10^{-5}$

Sumber: *Physics, 1995*

Solusi Cerdas

Batang aluminium ($K_{Al} = 500 \times 10^{-1}$ kal/m s°C) luas penampang ujungnya 1 cm². Ujung-ujung batang bertemperatur 0°C dan 20°C. Banyaknya kalor yang merambat tiap sekon adalah ....

a. 0,1 kal/s
b. 0,2 kal/s
c. 0,5 kal/s
d. 0,7 kal/s
e. 10 kal/s

Penyelesaian

Diketahui:
$K_{Al} = 500 \times 10^{-1}$ kal/m s°C,
$A_{Al} = 1\ cm^2 = 10^{-4} m^2$, dan
$\Delta T = (20 - 0) = 20°C$.

Banyaknya kalor yang merambat tiap sekon

$$H = \frac{K A \Delta T}{L}$$

(di sini L dianggap 1 m)
$= (500)(10^{-1})(20)(10^{-4})$
$= 0{,}1$ kal/s

Jawab: a

Ebtanas 1985

Contoh 7.7

Batang logam dengan panjang 2 meter, memiliki luas penampang 20 cm² dan perbedaan temperatur kedua ujungnya 50°C. Jika koefisien konduksi termalnya 0,2 kal/ms°C, tentukanlah jumlah kalor yang dirambatkan per satuan luas per satuan waktu.

Jawab

Diketahui: $K = 0{,}2$ kal/ms°C,
$L = 2$ meter,
$\Delta T = 50°C$, dan
$A = 20\ cm^2 = 2 \times 10^{-3}\ m^2$.

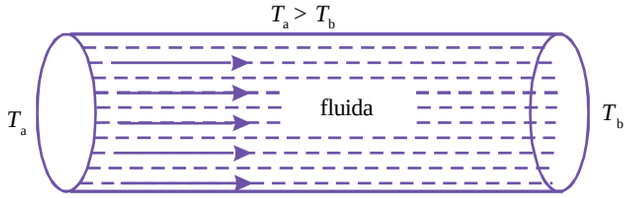
Dengan menggunakan **Persamaan (7–16)**, diperoleh

$$H = KA\frac{\Delta T}{L}$$

$$H = 0{,}2\ \text{kal/ms°C} \times (2 \times 10^{-3}\ m^2) \times \frac{50°C}{2\ m} = 0{,}01\ \text{kal/s}$$

2. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Perambatan kalor yang disertai perpindahan massa atau perpindahan partikel- partikel zat perantaranya disebut perpindahan kalor secara aliran atau konveksi. Rambatan kalor konveksi terjadi pada fluida atau zat alir, seperti pada zat cair, gas, atau udara.



Gambar 7.7
Rambatan kalor di dalam gas.

Apabila dua sisi yang berhadapan dari silinder pada **Gambar 7.7** suhunya berbeda, akan terjadi aliran kalor dari dinding yang bersuhu T_a ke dinding yang bersuhu T_b. Besarnya kalor yang merambat tiap satuan waktu, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$H = hA\,\Delta T \qquad (7\text{–}18)$$

dengan: H = jumlah kalor yang berpindah tiap satuan waktu,
A = luas penampang aliran,
ΔT = perbedaan temperatur antara kedua tempat fluida mengalir, dan
h = koefisien konveksi termal.

Besarnya koefisien konveksi termal dari suatu fluida bergantung pada bentuk dan kedudukan geometrik permukaan-permukaan bidang aliran serta bergantung pula pada sifat fluida perantaranya.

Contoh 7.8

Suatu fluida dengan koefisien konveksi termal 0,01 kal/ms°C memiliki luas penampang aliran 20 cm^2. Jika fluida tersebut mengalir dari dinding yang bersuhu 100°C ke dinding lainnya yang bersuhu 20°C, kedua dinding sejajar. Berapakah besarnya kalor yang dirambatkan?

Jawab

Diketahui: h = 0,01 kal/ms°C,
T_a = 100°C,
T_b = 20°C, dan
A = 20 cm^2 = 2×10^{-3} m^2.

Dengan menggunakan **Persamaan (7–18)**, diperoleh

$H = hA\,\Delta T$

H = 0,01 kal/ms°C × (2×10^{-3} m^2) × (100°C – 20°C) = 16×10^{-4} kal/s

Jadi, besarnya kalor yang merambat dalam fluida per satuan waktu adalah 16×10^{-4} kal/s.

3. Perpindahan Kalor Secara Radiasi

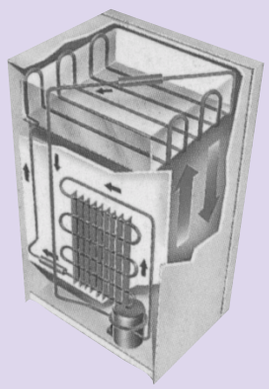
Matahari merupakan sumber energi utama bagi manusia di permukaan bumi ini. Energi yang dipancarkan Matahari sampai di Bumi berupa gelombang elektromagnetik. Cara perambatannya disebut sebagai radiasi, yang tidak memerlukan adanya medium zat perantara. Semua benda setiap saat memancarkan energi radiasi dan jika telah mencapai kesetimbangan termal atau temperatur benda sama dengan temperatur lingkungan, benda tersebut tidak akan memancarkan radiasi lagi. Dalam kesetimbangan ini, jumlah energi yang dipancarkan sama dengan jumlah energi yang diserap oleh benda tersebut.

Dari hasil percobaan yang dilakukan oleh **Josef Stefan** dan **Ludwig Boltzmann**, diperoleh besarnya energi per satuan luas per satuan waktu yang dipancarkan oleh benda yang bersuhu T, yakni

$$W = e\sigma T^4 \qquad (7\text{–}19)$$

dengan: W = energi yang dipancarkan per satuan luas per satuan waktu (watt/m^2),
σ = konstanta Stefan–Boltzmann = $5{,}672 \times 10^{-8}$ watt/m^2 K^4,
T = temperatur mutlak benda (K), dan
e = koefisien emisivitas ($0 < e \leq 1$).

Loncatan Kuantum



Lemari es membantu dingin dengan aliran arus konveksi. Udara dingin terdapat pada bagian atas lemari es, sementara udara hangat yang terdapat pada bagian bawah bergerak naik, kemudian menjadi lebih dingin.

Quantum Leap

Fridges are kept cold by convection currents. Cool air near the top of the fridged sinks, while warmer air rises to be cooled.

Sumber: *Science Encylopedia*, 2000

Soal Penguasaan *Materi* 7.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tembaga sepanjang 2 meter memiliki koefisien konduksi termal 92 kal/ms°C. Kemudian, tembaga ini disambung dengan logam lain yang sama panjang dan memiliki koefisien konduksi termal 0,5 kali dari koefisien konduksi termal tembaga. Jika luas penampang kedua logam tersebut sama, tentukanlah besarnya temperatur pada titik sambungan. Jika diketahui temperatur setiap batang tembaga dan logam pada ujungnya adalah 30°C dan 0°C.
2. Perbedaan temperatur sebuah benda hitam sempurna dengan temperatur lingkungannya adalah 1°C. Tentukanlah besarnya energi yang dipancarkan benda tersebut jika suhunya 28°C dan temperatur lingkungannya lebih rendah satu derajat dari benda.
3. Suatu gas dengan koefisien konveksi termal, yakni 0,01 kal/ms°C memiliki kalor perambatan sebesar 2×10^{-4} kal/s. Jika gas tersebut mengalir dari dinding yang bersuhu 100°C ke dinding lainnya yang bersuhu 30°C, kedua dinding akan sejajar. Berapakah luas penampang yang dilalui gas tersebut?
4. Dua batang P dan Q dengan ukuran yang sama, tetapi jenis logam yang berbeda dilekatkan seperti gambar berikut.

Ujung kiri P bersuhu 90°C dan ujung kanan Q bersuhu 0°C. Jika koefisien konduksi termal P adalah dua kali koefisien konduksi termal Q, berapakah temperatur pada bidang batas P dan Q?

Kerjakanlah 7.2

Catatlah temperatur air panas yang berada di dalam sebuah wadah dengan menggunakan termometer. Kemudian, masukkan air dingin ke dalam wadah tersebut dan catat temperatur akhir campuran. Sebelumnya, catat massa air panas, air dingin, dan temperatur awal air dingin, kemudian tuliskan data hasil pengamatan Anda dalam bentuk tabel. Apa yang dapat Anda simpulkan? Laporkan hasil pengamatan kepada guru Anda dan persentasikan di depan kelas.

Pembahasan Soal *SPMB*

Suatu kalorimeter berisi es (kalor jenis es = 0,5 kal/gK, kalor lebur es = 80 kal/g) sebanyak 36 g pada temperatur –6°C. Kapasitas kalorimeter adalah 27 kal/K. Kemudian, ke dalam kalorimeter tersebut dituangkan alkohol (kalor jenis 0,58 kal/gK) pada temperatur 50° yang menyebabkan temperatur akhir menjadi 8°C. Massa alkohol yang dituangkan (dalam gram) adalah ....

a. 108
b. 150
c. 200
d. 288
e. 300

Penyelesaian

Diketahui: T_{es} = –6°C,
C = 27 kal/K,
m_{es} = 36 g,
c_{es} = 0,5 kal/gK,
L_{es} = 80 kal/g,
c_{air} = 1 kal/gK,
$T_{alkohol}$ = 50°C,
c_{al} = 0,58 kal/gK, dan
temperatur akhir T = 8°C.

Berlaku Asas Black yang menyatakan kalor yang diserap sama dengan kalor yang dilepaskan. Es menyerap kalor, suhunya naik menjadi 0°C, kemudian melebur menjadi air, lalu naik suhunya menjadi 8°C. Kalor yang diserap es adalah

$$\begin{aligned} Q_{es} &= m_{es}\, c_{es}\, \Delta T + m_{es} L_{es} + m_{es}\, c_{es}\, \Delta T \\ &= 36 \times 0{,}5 \times (0 - (-6)) + 36 \times 80 + 36 \times 1 \times 8 \\ &= 3.276 \text{ kalori} \end{aligned}$$

Pada kalorimeter, temperatur naik dari –6°C menjadi 8°C sehingga kalorimeter menyerap panas sebesar

$$\begin{aligned} Q_{kal} &= C\ \Delta T \\ &= 27 \times (8 - (-6)) \\ &= 378 \text{ kalori} \end{aligned}$$

Kalor yang dilepas alkohol diserap oleh es dan kalori meter sehingga

$$Q_{kal} = Q_{es} + Q_{kal}$$

$$\begin{aligned} m_{alkohol}\, c_{alkohol}\, \Delta T &= 3.276 + 378 \\ m_{alkohol} \times 0{,}58 \times 42 &= 3.654 \\ m_{alkohol} &= 150 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jadi, massa alkohol yang harus dituangkan supaya temperatur akhir menjadi 8°C adalah sebesar 150 gram.

Jawab: d

UMPTN 2001

Rangkuman

1. Sifat fisik suatu benda untuk menentukan apakah telah terjadi kesetimbangan termal disebut dengan **temperatur** atau **temperatur** dan dapat diukur dengan alat yang disebut **termometer**.
2. Ketika mengukur temperatur dengan menggunakan termometer, terdapat beberapa skala yang digunakan, di antaranya skala **Celsius**, skala **Reamur**, skala **Fahrenheit**, dan skala **Kelvin**.
3. Jika suatu zat dipanaskan, akan mengalami **pemuaian panjang**, **pemuaian luas**, dan **pemuaian volume**.
4. **Kalor** didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu zat ke zat lainnya dengan diikuti perubahan temperatur.
5. **Kalor jenis** suatu benda didefinisikan sebagai jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar 1 K.
6. Besarnya kalor suatu benda dapat dituliskan ke dalam persamaan

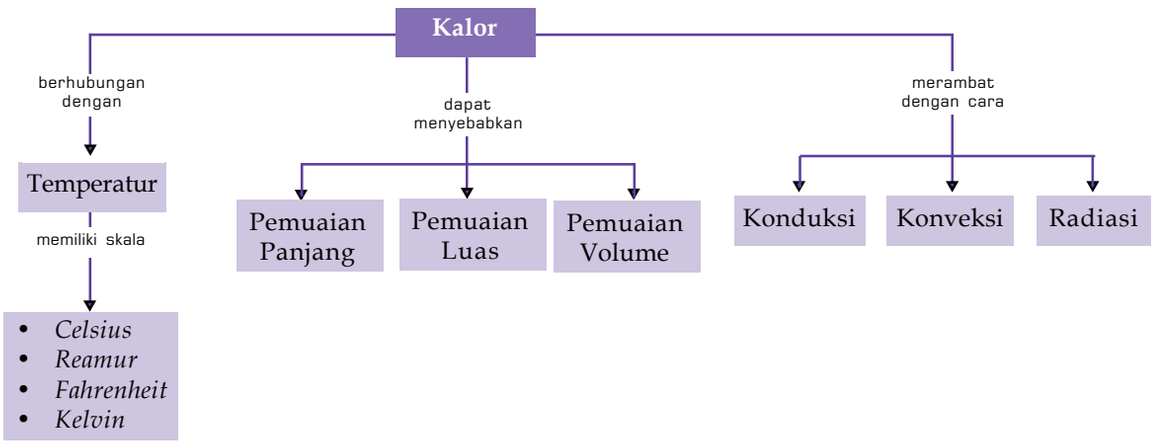
$$Q = mc\ \Delta t$$

7. Suatu zat dapat berubah menjadi tiga wujud zat, di antaranya **cair**, **padat**, dan **gas**. Perubahan wujud zat ini diikuti dengan penyerapan dan pelepasan kalor.
8. **Kalor penguapan** adalah kalor yang dibutuhkan oleh suatu zat untuk menguapkan zat tersebut.
9. Secara matematis, besarnya kalor peleburan, penguapan, pembekuan, dan penyubliman adalah

$$Q = mL$$

10. **Asas Black** mengatakan bahwa energi adalah kekal sehingga benda yang memiliki temperatur lebih tinggi akan melepaskan energi sebesar Q_L dan benda yang memiliki temperatur lebih rendah akan menerima energi sebesar Q_T dengan besar yang sama.
11. Kalor dapat merambat dengan tiga cara, di antaranya secara **konduksi** (hantaran), secara **konveksi** (aliran), dan secara **radiasi** (pancaran).

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Kalor, Anda dapat menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat, cara perpindahan kalor, serta dapat menerapkan Asas Black dalam pemecahan masalah. Jika Anda belum mampu menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat, cara perpindahan kalor, serta dapat menerapkan Asas Black dalam pemecahan masalah, Anda belum menguasai materi bab Kalor dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 7

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

1. Kenaikan temperatur dalam skala derajat *Kelvin* sama dengan kenaikan temperatur dalam skala derajat ....
   a. *Reamur*
   b. *Celsius*
   c. *Fahrenheit*
   d. *Rankine*
   e. semua jawaban benar

2. Jika dalam skala *Kelvin* menunjukan 293 K, angka ini akan sesuai dengan skala *Fahrenheit* sebesar ....
   a. 32°F
   b. 36° F
   c. 54°F
   d. 68°F
   e. 74°F

3. Sebuah benda suhunya 50° C. Jika alat ukur temperatur diganti dengan skala *Fahrenheit*, nilai temperatur menjadi ....
   a. 122°F
   b. 90°F
   c. 72°F
   d. 60°F
   e. 50°F

4. Temperatur 300 K jika dikalibrasi ke *Reamur* akan menjadi ....
   a. 20,0°R
   b. 21,6°R
   c. 30,0°R
   d. 31,6°R
   e. 40,0°R

5. Suatu zat cair suhunya diukur dengan tiga buah termometer sekaligus, yakni *Celsius*, *Reamur*, dan *Fahrenheit*. Jumlah temperatur ketiga termometer adalah 122. Temperatur yang ditunjuk oleh termometer *Reamur* adalah ....
   a. 15°R
   b. 20°R
   c. 25°R
   d. 28°R
   e. 32°R

6. Apabila angka yang ditunjukkan termometer *Farenheit* lima kali angka yang ditunjukkan termometer *Celsius,* temperatur benda tersebut adalah ....
   a. 10°F
   b. 20°C
   c. 50°C
   d. 50°F
   e. 100°F

7. Sebuah termometer X pada es yang sedang melebur menunjukkan –30°X dan titik didih air 120°X. Apabila sebuah benda suhunya 40°C, skala yang ditunjukkan termometer X adalah ....
   a. 30°
   b. 38°
   c. 42°
   d. 45°
   e. 82°

8. Termometer *Fahrenheit* menunjukkan skala empat kali angka yang ditunjukkan oleh termometer *Celsius*. Temperatur benda tersebut menurut skala *Fahrenheit* dan *Celsius* berturut-berturut adalah ....
   a. 200°F dan 50°C
   b. 160°F dan 40°C
   c. 120°F dan 30°C
   d. 100° F dan 25° C
   e. 58° F dan 14,5° C

9. Skala *Celsius* dan skala *Fahrenheit* akan menunjukkan angka yang sama pada temperatur ....
   a. –40°
   b. –20, 38°
   c. 20°
   d. 40°
   e. 60°

10. Kalor jenis suatu zat bergantung pada ....
    a. massa benda
    b. temperatur benda
    c. volume benda
    d. jenis zatnya
    e. banyaknya kalor yang diserap

11. Pada saat air berubah wujud menjadi es maka akan terjadi perubahan ....
    a. massa
    b. temperatur
    c. tekanan
    d. berat
    e. massa jenis

12. Pernyataan berikut ini yang benar, *kecuali* ....
    a. es yang sedang mencair melepaskan kalor
    b. air selalu mendidih pada temperatur 100°C
    c. pada temperatur 0°C air selalu berwujud padat
    d. uap yang sedang mengembun akan menyerap kalor
    e. pada temperatur di bawah nol, air belum membeku

13. Logam yang massanya 200 gram memiliki kalor jenis 500 J/kg°C dan suhunya berubah dari 20°C menjadi 100°C. Jumlah kalor yang diterima logam adalah ....
    a. 6.000 J
    b. 7.000 J
    c. 8.000 J
    d. 9.000 J
    e. 9.500 J

14. Suatu logam yang massanya 100 g dipanaskan hingga suhunya mencapai 100°C, kemudian dimasukkan dalam bejana yang berisi air 200 g dan suhunya 20°C. Apabila temperatur akhir campuran 40°C dan kalor jenis air 4.200 J/kg K, kalor jenis logam tersebut adalah ....
    a. 2.4667 J/kg K
    b. 3.818 J/kg K
    c. 4.012 J/kg K
    d. 4.252 J/kg K
    e. 4.340 J/kg K

15. Diketahui 100 g es dari –5°C dicampur dengan 200 g air dari 30°C. Kalor jenis es 0,5 kal/g°C dan kalor lebur es 80 kal/g. Jika hanya terjadi pertukaran kalor antara air dan es, pada keadaan akhir ....
    a. temperatur seluruhnya di atas 0°C
    b. temperatur seluruhnya di bawah 0°C
    c. temperatur seluruhnya 0°C dan semua es melebur
    d. temperatur seluruhnya 0°C dan semua air membeku
    e. temperatur seluruhnya 0°C dan sebagian es melebur.

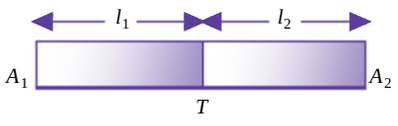
16. Tembaga mula-mula suhunya 200°C, kemudian didinginkan sampai 50°C. Jika jumlah energi kalor yang dilepaskan 1.050 J, kapasitas kalor tembaga adalah ....
    a. 7 J/°C
    b. 20 J/°C
    c. 200 J/°C
    d. 15 J/°C
    e. 105 J/°C

17. Perpindahan kalor secara merambat pada partikel benda yang dipanaskan disebut ....
    a. konveksi
    b. radiasi
    c. kohesi
    d. konduksi
    e. turbulensi

18. Sebuah batang konduktor panjangnya ℓ, luas penampangnya A, dan beda antara kedua ujungnya ΔT. Batang ini dapat merambatkan kalor sebesar Q per satuan waktu. Apabila dua buah batang yang sama diparalelkan (ditumpuk), beda temperatur antara kedua ujungnya tetap, yakni sebesar ΔT. Kalor yang dirambatkan per satuan waktu akan menjadi ....
    a. 0,5 Q
    b. 1,0 Q
    c. 1,5 Q
    d. 2,0 Q
    e. 4,2 Q

19. Sebatang logam pada temperatur T memancarkan kalor per satuan luas per satuan waktu ke lingkungan sebesar W. Apabila temperatur logam itu diduakalikan, kalor radiasi yang dipancarkan akan menjadi ....
    a. 0,5 W
    b. 2 W
    c. 4 W
    d. 8 W
    e. 16 W

20. Dua batang logam digabungkan seperti pada gambar berikut.



    Temperatur ujung kiri dari logam pertama 105°C, sedangkan temperatur ujung kanan dari logam kedua 0°C. Jika diketahui, koefisien termal logam kedua dua kali logam pertama, temperatur pada titik sambungannya adalah ....
    a. 35°C
    b. 50°C
    c. 75°C
    d. 100°C
    e. 125°C

21. Benda hitam memiliki konstanta emisi 1 dan suhunya 400 K. Jika konstanta radiasi $5{,}67 \times 10^{-8}$ watt/m^2 K^4, energi radiasi benda hitam adalah ....
    a. 1.451,5 J
    b. 1.400,0 J
    c. 1.251,5 J
    d. 1.200,0 J
    e. 951,5 J

22. Perbedaan temperatur badan seseorang dengan lingkungannya adalah 10°C. Apabila koefisien emisivitas dari badan orang adalah 0,4 dan luas permukaan seluruh tubuhnya 500 cm^2, energi yang akan dipancarkan oleh seluruh tubuhnya selama 1 menit, jika diketahui konstanta Stefan-Boltzmann $5{,}672 \times 10^{-8}$ watt /m^2 K^4 adalah ....
    a. $6{,}8 \times 10^{-8}$ J
    b. $3{,}4 \times 10^{-8}$ J
    c. $6{,}0 \times 10^{-8}$ J
    d. $3{,}2 \times 10^{-8}$ J
    e. $5{,}8 \times 10^{-8}$ J

23. Saat memanaskan air dengan menggunakan panci yang memiliki luas penampang A, beda temperatur antara air dalam alas panci dengan temperatur di permukaan adalah 10°C. Kecepatan laju aliran kalornya adalah H. Kemudian, panci diganti dengan panci lain yang mempunyai luas penampang 0,5 A. Untuk beda temperatur yang sama, laju aliran kalor akan menjadi ....
    a. 0,25 H
    b. 0,5 H
    c. 1,0 H
    d. 2,0 H
    e. 4,0 H

24. Sebuah batang baja luas permukaannya 125 m^2 dan tebalnya 10 cm. Beda temperatur antara kedua permukaan baja 2°C. Jika koefisien konduksi termal baja 50 W/m K, kalor yang dapat dihantarkan oleh baja tiap sekon sebesar ....
    a. 2,5 J/s
    b. 12,5 J/s
    c. 125 J/s
    d. 1.250 J/s
    e. 12.500 J/s

25. Sebuah pemanas listrik berdaya 15 W digunakan untuk melebur es. Apabila dalam waktu 6 menit air yang dihasilkan dari peleburan es sebanyak 300 g, besarnya kalor lebur es adalah ....
    a. $2{,}1 \times 10^1$ J/kg
    b. $2{,}7 \times 10^2$ J/kg
    c. $1{,}8 \times 10^4$ J/kg
    d. $2{,}7 \times 10^4$ J/kg
    e. $2{,}7 \times 10^6$ J/kg

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Jika 1 kg es pada –20°C dipanaskan pada tekanan 1 atm sampai semua es berubah menjadi uap, berapakah kalor yang dibutuhkan? (kalor lebur es = 334 kJ/kg dan kalor uap air = $2{,}26 \times 10^3$ kJ/kg).
2. Sebutkan dan jelaskan cara-cara perpindahan kalor.
3. Jika 75 gram air yang suhunya 0°C dicampurkan dengan 50 gram air yang suhunya 100°C, tentukanlah temperatur akhir campuran.
4. Dua batang P dan Q dengan ukuran yang sama, tetapi jenis logam berbeda diletakkan, seperti pada gambar berikut.

   Ujung kiri P bersuhu 90° dan ujung kanan Q bersuhu 0°C. Jika koefisien konduksi termal P adalah dua kali koefisien konduksi termal Q, tentukanlah temperatur pada bidang batas P dan Q.
5. Sebutkan beberapa contoh dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan perpindahan kalor.
6. Diketahui temperatur sebuah benda 300 K, tentukan temperatur yang terbaca pada skala:
   a. *Celsius*,
   b. *Fahrenheit*, dan
   c. *Reamur*.
7. Ke dalam sebuah bejana yang berisi *a* gram air 30°C dimasukkan *b* gram es –2°C. Setelah isi bejana di aduk, ternyata semua es melebur. Jika massa bejana diabaikan, kalor jenis es 0,5 kal/g°C dan kalor lebur es 80 kal/g, tentukanlah besarnya perbandingan *a* dan *b*.
8. Apakah yang dimaksud dengan asas Black? Jelaskan oleh Anda peristiwa yang berkaitan dengan konsep asas Black.
9. Dalam gelas berisi 200 cc air 40°C, kemudian dimasukkan 40 gram es 0°C. Jika kapasitas kalor gelas 20 kal/°C dan kalor lebur es 80 kal/gram, tentukanlah temperatur setimbangnya.
10. Peluru timah dengan massa 600 g dipanaskan sampai 100°C dan diletakkan dalam kaleng aluminium yang massanya 200 g dan berisi 500 g air yang mula-mula temperaturnya 17,3°C. Kalor jenis kaleng aluminium adalah 0,9 kJ/kgK. Temperatur kesetimbangan akhir campuran adalah 20°C. Tentukanlah kalor jenis timah.

Kegiatan Semester 2

Setelah Anda mempelajari materi zat dan kalor, Anda diminta untuk lebih memahami materi tersebut khususnya Asas Black melalui kegiatan berikut. Kegiatan ini dilakukan secara berkelompok dan dilakukan dalam waktu yang ditentukan oleh guru Anda. Kegiatan ini bersifat penelitian dan diharapkan Anda dapat mengerjakannya dengan sungguh-sungguh.

Pada materi zat dan kalor, Anda telah mengetahui bahwa alat ukur kalor adalah kalorimeter. Jika dua buah benda yang suhunya berbeda digabungkan maka akan terjadi perpindahan kalor dari benda yang bersuhu lebih tinggi kepada benda yang bersuhu lebih rendah. Menurut Asas Black, jumlah kalor yang dilepaskan oleh benda yang bersuhu lebih tinggi kepada benda yang bersuhu lebih rendah sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh benda yang bersuhu lebih rendah dari benda yang bersuhu lebih tinggi. Secara matematis, diperoleh

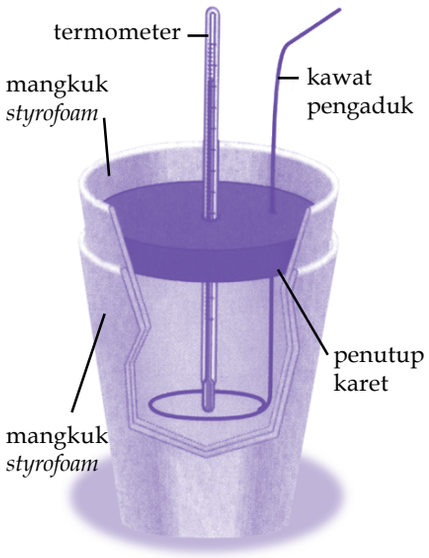
$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

Tujuan

Menentukan kapasitas kalor kalorimeter, kalor jenis zat padat, dan kalor lebur es.

Alat dan Bahan

1. Timbangan
2. *Styrofoam* (tempat mi instan yang berbentuk gelas besar)
3. Termometer
4. Gelas kimia 500 mL
5. Pembakar spiritus
6. Kawat
7. Benang untuk mengikat secukupnya
8. Penutup karet (dapat dibuat dari bahan sandal)
9. Capit buaya dan sendok capit
10. Bahan-bahan (zat padat, air, dan es)



Prosedur

Buatlah kalorimeter sederhana seperti gambar di samping.

Kegiatan 1: Menentukan kapasitas kalor kalorimeter.

1. Ukur dan catat massa kalorimeter dan pengaduknya (m_1). Perhatikan ketika setiap akan melakukan penimbangan, teliti harga skala nol alat ukur yang akan dipergunakan.
2. Isi kalori meter dengan air sekitar $\frac{1}{3}$ volumenya, ukur dan catat massa (m_2) dan temperatur kalorimeter beserta air di dalamnya (T_1).
3. Panaskan air lalu ukur dan catat temperatur air panas tersebut (T_2).
4. Masukkan air panas ke dalam kalorimeter berisi air tadi.
5. Aduk perlahan-lahan dan perhatikan kenaikan temperatur dalam kalorimeter. Jika dalam selang waktu yang cukup lama temperatur air tidak naik lagi, catat suhunya. Dalam keadaan ini temperatur setimbang (T_a).
6. Ukur dan catat massa kalorimeter beserta semua isinya (m_3).

Kegiatan 2: Menentukan kalor jenis zat padat.

1. Ukur dan catat massa kalorimeter dan pengaduknya (m_1), perhatikan skala nol alat ukur yang dipergunakan.
2. Isi kalorimeter dengan air kira-kira $\frac{1}{3}$ volumenya, lalu ukur dan catat massa (m_2) dan suhunya (T_1).
3. Ikat zat padat dengan benang, lalu masukkan zat padat ke dalam wadah yang berisi air, kemudian panaskan, ukur dan catat temperatur zat padat dalam kondisi dipanaskan (T_2).
4. Dengan menggunakan sendok pencapit, masukkan zat padat yang telah dipanasi tersebut ke dalam kalorimeter berisi air, lalu aduk perlahan-lahan dan catat temperatur setimbangnya (T_a).
5. Ukur dan catat massa kalorimeter beserta semua isinya (m_3).

Kegiatan 3: Menentukan kalor lebur es.

1. Ukur dan catat massa kalorimeter dan pengaduknya (m_1), perhatikan skala nol alat ukur yang dipergunakan.
2. Isi kalorimeter dengan air kira-kira $\frac{1}{3}$ volumenya, lalu ukur dan catat massa (m_2) dan suhunya (T_1).
3. Ambil es secukupnya, pecahkan es dan masukkan ke dalam gelas ukur atau gelas kimia, lalu ukur suhunya (T_2).
4. Masukkan pecahan es ke dalam kalorimeter berisi air, aduk perlahan-lahan sampai semua es melebur dan sistem mencapai temperatur setimbangnya (T_a).
5. Ukur dan catat massa kalorimeter beserta semua isinya (m_3).

Pertanyaan

1. Berdasarkan data kegiatan pertama, hitunglah kapasitas kalorimeter yang digunakan.
2. Berdasarkan data kegiatan kedua dan harga kapasitas kalor kalorimeter, hitunglah kalor jenis zat padat yang Anda selidiki.
3. Berdasarkan data kegiatan ketiga dan harga kapasitas panas kalorimeter, hitunglah kalor lebur es.
4. Buatlah kesimpulan dari hasil penelitian Anda.
5. Laporkan hasil penelitiannya kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

Laporan Kegiatan

Setelah Anda selesai melakukan penelitian, buatlah laporan yang berisi judul, latar belakang masalah, tujuan penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, pembahasan, kesimpulan dan saran, serta daftar pustaka. Laporan ditulis atau diketik dalam kertas HVS ukuran A4, kemudian kumpulkan kepada guru Anda.

Sumber: *www.lysator.liu.se*

Bab 8

Elektrodinamika

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menerapkan konsep kelistrikan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi dengan cara memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu loop), mengidentifikasikan penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, dan menggunakan alat ukur listrik.

Pernahkah Anda membayangkan hidup tanpa energi listrik? Hampir semua orang, terutama yang tinggal di perkotaan, energi listrik merupakan kebutuhan pokok. Lampu, pompa air, setrika, televisi, radio, komputer, kulkas, dan kompor listrik, merupakan beberapa contoh peralatan yang memerlukan energi listrik. Demikian pula dengan sepeda motor, mobil, termasuk juga mobil mainan, hingga pesawat terbang yang canggih, juga menggunakan energi listrik.

Lalu, pernahkah Anda bertanya, apakah energi listrik itu? Mengapa lampu, komputer, televisi, dan peralatan lainnya dapat bekerja menggunakan energi listrik? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, Anda perlu mempelajari lebih mendalam tentang elektrodinamika, yakni ilmu yang mempelajari muatan listrik bergerak (arus listrik).

A. Arus Listrik
B. Hukum Ohm dan Hambatan Listrik
C. Rangkaian Listrik Arus Searah
D. Energi dan Daya Listrik
E. Alat Ukur Listrik
F. Pemanfaatan Energi Listrik dalam Kehidupan Sehari-Hari
G. Menghitung Biaya Sewa Energi Listrik

Soal *Pramateri*

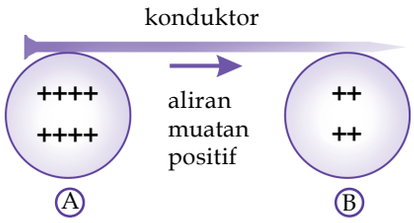
1. Sebutkan besaran-besaran yang berhubungan dengan listrik dinamis.
2. Apa yang Anda ketahui mengenai rangkaian seri dan paralel?
3. Apa perbedaan antara arus searah dan arus bolak-balik?

A Arus Listrik

1. Pengertian Arus Listrik

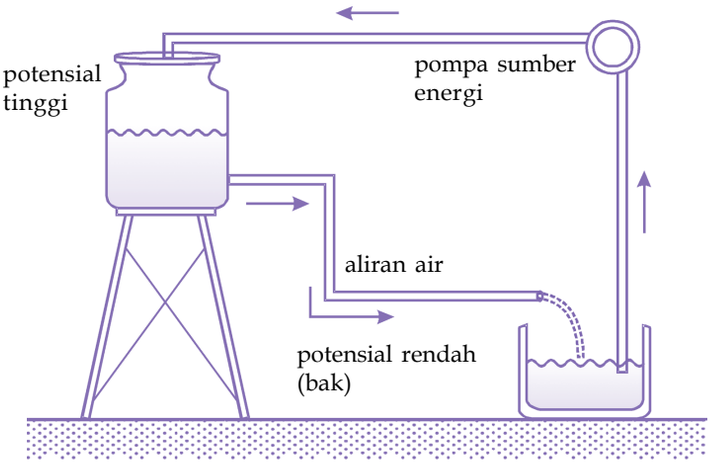
Di SMP, Anda pernah mempelajari konsep muatan listrik. Masih ingatkah mengapa sebuah benda dapat bermuatan listrik? Dalam tinjauan mikroskopik, sebuah benda dikatakan bermuatan listrik jika benda tersebut kelebihan atau kekurangan elektron. Oleh karena elektron bermuatan negatif, benda yang kelebihan elektron akan bermuatan negatif, sedangkan benda yang kekurangan elektron akan bermuatan positif.

Gambar 8.1 memperlihatkan dua buah bola bermuatan listrik. Bola A memiliki jumlah muatan positif lebih banyak daripada bola B. Ketika bola A dan bola B dihubungkan dengan sebuah paku (konduktor), sebagian muatan positif dari bola A akan mengalir melalui paku menuju bola B sehingga dicapai keadaan setimbang, yakni muatan listrik bola A dan B menjadi sama. Bola A dikatakan memiliki potensial listrik lebih tinggi daripada bola B. Perbedaan potensial listrik inilah yang mendorong muatan positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Aliran muatan listrik positif ini disebut arus listrik.



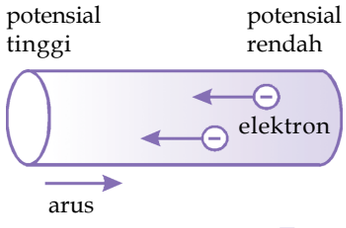
Gambar 8.1
Aliran muatan positif dari bola A (potensial tinggi) ke bola B (potensial rendah).

Arus listrik mengalir secara spontan dari potensial tinggi ke potensial rendah melalui konduktor, tetapi tidak dalam arah sebaliknya. Aliran muatan ini dapat dianalogikan dengan aliran air dari tempat (potensial gravitasi) tinggi ke tempat (potensial gravitasi) rendah. Bagaimanakah agar air mengalir terus-menerus dan membentuk siklus, sementara air tidak dapat mengalir secara spontan dari tempat rendah ke tempat tinggi? Satu-satunya cara adalah menggunakan pompa untuk menyedot dan mengalirkan air dari tempat rendah ke tempat tinggi. Demikian pula dengan arus listrik. Arus listrik dapat mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi menggunakan sumber energi, misalnya pompa pada air. Sumber energi ini, di antaranya adalah baterai. Analogi arus listrik dengan aliran air yang terus-menerus diperlihatkan pada **Gambar 8.2**.



Gambar 8.2
Arus listrik dapat dianalogikan seperti aliran air.

Sejauh ini Anda telah mempelajari bahwa arus listrik adalah aliran muatan positif. Pada kenyataannya, pada konduktor padat, aliran muatan yang terjadi adalah aliran elektron (muatan negatif), sementara muatan positif (inti atom) tidak bergerak. Aliran elektron ini berlawanan dengan aliran muatan positif, yakni dari potensial rendah ke potensial tinggi. Oleh karena arus listrik telah didefinisikan sebagai aliran muatan positif, arah arus listrik pada konduktor padat adalah kebalikan dari aliran elektron, seperti diilustrasikan pada **Gambar 8.3**.



Gambar 8.3
Arah arus listrik pada konduktor padat berlawanan dengan arah aliran elektron.

2. Kuat Arus Listrik

Ketika sebuah bola lampu dihubungkan pada terminal-terminal baterai dengan menggunakan konduktor (kabel), muatan listrik akan mengalir melalui kabel dan lampu sehingga lampu akan menyala. Banyaknya muatan yang mengalir melalui penampang konduktor tiap satuan waktu disebut kuat arus listrik atau disebut dengan arus listrik. Secara matematis, kuat arus listrik ditulis sebagai

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (8\text{–}1)$$

dengan: I = kuat arus listrik (ampere; A),
Q = muatan listrik (coulomb; C), dan
t = waktu (sekon; s).

Kata Kunci
- Arus listrik
- Kuat arus listrik
- Muatan listrik

Satuan kuat arus listrik dinyatakan dalam ampere, disingkat A. Satu ampere didefinisikan sebagai muatan listrik sebesar satu coulomb yang melewati penampang konduktor dalam satu sekon (1 A = 1 C/s).

Oleh karena yang mengalir pada konduktor padat adalah elektron, banyaknya muatan yang mengalir pada konduktor besarnya sama dengan kelipatan besar muatan sebuah elektron, q_e = e = 1,6 × 10^{-19} C. Jika pada konduktor tersebut mengalir n buah elektron, total muatan yang mengalir adalah

$$Q = ne \qquad (8\text{–}2)$$

Contoh 8.1

Muatan listrik sebesar 20 C mengalir pada penampang konduktor selama 5 sekon.
a. Berapakah kuat arus listrik yang melalui konduktor tersebut?
b. Berapakah jumlah elektron yang mengalir pada penampang konduktor tiap sekon, jika diketahui e = 1,6 × 10^{-19} C?

Jawab
Diketahui: Q = 20 C, t = 5 sekon, dan e = 1,6 × 10^{-19} C. Maka
a. kuat arus yang mengalir,

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{20\text{ C}}{5\text{ s}} = 4\text{ A}$$

b. jumlah elektron yang mengalir pada penampang konduktor tiap sekon,

$$I = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e} = \frac{(4\text{ A})(1\text{ s})}{1{,}6\times10^{-19}\text{ C}} = 2{,}5\times10^{19}\text{ A}$$

Soal Penguasaan *Materi* 8.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Kapan suatu benda dikatakan bermuatan listrik?
2. Apa yang dimaksud dengan arus listrik? Apa bedanya dengan kuat arus listrik?
3. Arus listrik mengalir melalui konduktor sebesar 2 A. Tentukanlah (a) muatan listrik dan (b) jumlah elektron yang mengalir selama 4 sekon.

B Hukum Ohm dan Hambatan Listrik

1. Hukum Ohm

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Dengan kata lain, arus listrik mengalir karena adanya beda potensial. Hubungan antara beda potensial dan arus listrik kali pertama diselidiki oleh **George Simon Ohm** (1787–1854). Beda potensial listrik disebut juga tegangan listrik.

Untuk memahami hubungan antara potensial listrik dan arus listrik yang dihasilkan, lakukanlah penelitian berikut.

Mahir Meneliti

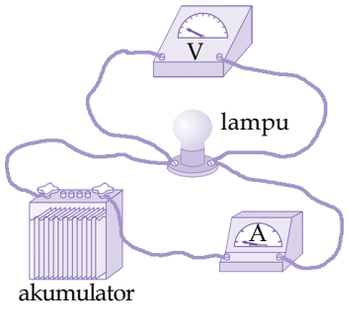
Memahami Hubungan Antara Potensial Listrik dan Arus Listrik

Alat dan Bahan

1. baterai atau akumulator 6 V
2. bola lampu
3. amperemeter
4. voltmeter
5. potensiometer 50K , dan
6. kabel-kabel penghubung

Prosedur

1. Susunlah alat-alat di tersebut menjadi seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 8.4.**
2. Pertama, atur potensiometer pada posisi hambatan terbesar, voltmeter dan amperemeter akan menunjukkan nilai tertentu yang relatif kecil.
3. Selanjutnya, putar potensiometer perlahan-lahan, perhatikan apa yang terjadi pada voltmeter dan amperemeter.
4. Lalu, putar kembali potensiometer ke arah semula, perhatikan pula apa yang terjadi pada voltmeter dan amperemeter.
5. Apa yang dapat Anda simpulkan?
6. Diskusikan hasil penelitian bersama teman Anda.
7. Kumpulkan hasilnya pada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.



Gambar 8.4
Eksperimen untuk menentukan hubungan antara beda potensial listrik dan arus listrik.

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa arus listrik sebanding dengan beda potensial. Semakin besar beda potensial listrik yang diberikan, semakin besar arus listrik yang dihasilkan. Demikian juga sebaliknya, semakin kecil beda potensial yang diberikan, semakin kecil arus listrik yang dihasilkan. Ohm mendefinisikan bahwa hasil perbandingan antara beda potensial/tegangan listrik dan arus listrik disebut hambatan listrik. Secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$R = \frac{V}{I} \qquad (8\text{–}3)$$

dengan: R = hambatan listrik (ohm; Ω),
V = tegangan atau beda potensial listrik (volt; V), dan
I = kuat arus listrik (ampere; A).

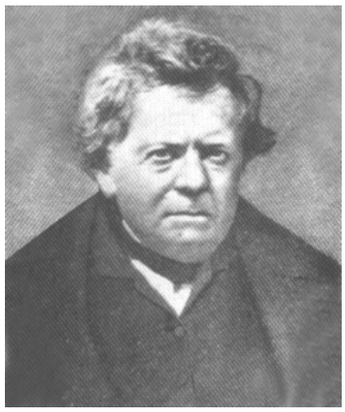
sering juga ditulis dalam bentuk

$$V = IR \qquad (8\text{–}4)$$

dan dikenal sebagi hukum Ohm. Atas jasa-jasanya, nama ohm kemudian dijadikan sebagai satuan hambatan, disimbolkan Ω.

Jelajah Fisika

George Simon Ohm (1787–1854)



Ahli Fisika Jerman, George Simon Ohm menemukan bahwa arus dalam konduktor selalu sama dengan tegangan antara ujung-ujungnya dibagi dengan angka pasti, yakni tahanannya. Satuan tahanan disebut ohm dan simbolnya *R*, yang diambil dari nama ahli Fisika tersebut.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Contoh 8.2

Sebuah bola lampu dengan hambatan dalam 20 Ω diberi tegangan listrik 6 V. (a) Tentukan arus yang mengalir melalui lampu tersebut. (b) Jika tegangannya dijadikan 12 V, berapakah arus yang melalui lampu tersebut sekarang?

Jawab

Diketahui: R = 20 Ω.

a. ketika V = 6 V, arus pada lampu

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6\text{ V}}{20\ \Omega} = 0{,}3\text{ A}$$

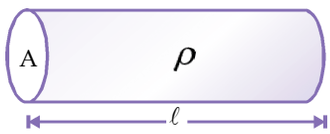
b. ketika V = 12 V, arus pada lampu

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12\ \text{V}}{20\ \Omega} = 0{,}6\ \text{A}$$

Contoh ini menunjukkan bahwa, untuk hambatan tetap, ketika tegangan dijadikan dua kali semula (12 V = 2 kali 6 V), arus listrik yang mengalir menjadi dua kali semula (0,6 A = 2 kali 0,3 A).

2. Hambatan Listrik Konduktor

Pernahkah Anda memperhatikan laju kendaraan di jalan raya? Di jalan seperti apa sebuah mobil dapat melaju dengan cepat? Ada beberapa faktor yang memengaruhinya, di antaranya lebar jalan, jenis permukaan jalan, panjang jalan dan kondisi jalan. Jalan dengan kondisi sempit dan berbatu akan mengakibatkan laju mobil menjadi terhambat. Sebaliknya, jalan yang lebar dan beraspal mulus dapat mengakibatkan laju mobil mudah dipercepat. Demikian pula, panjang jalan akan memengaruhi seberapa cepat mobil dapat melaju. Ketika mobil dapat melaju dengan cepat, dapat dikatakan bahwa hambatan jalannya kecil dan sebaliknya, ketika laju mobil menjadi lambat karena faktor jalan, dapat dikatakan bahwa hambatan jalannya besar.



Gambar 8.5
Konduktor yang memiliki panjang luas dan hambatan jenis

Kuat arus listrik dapat dianalogikan dengan laju mobil di atas. Kuat arus listrik akan kecil ketika melalui konduktor yang luas penampangnya kecil, hambatan jenisnya besar, dan panjang. Sebaliknya, kuat arus listrik akan besar ketika melewati konduktor yang luas penampangnya kecil, hambatan jenisnya besar, dan pendek. Ketika kuat arus listrik kecil, berarti hambatan konduktornya besar dan sebaliknya, ketika kuat arusnya besar, berarti hambatan konduktornya kecil. Bukti percobaan menunjukkan bahwa luas penampang, hambatan jenis, dan panjang konduktor merupakan faktor-faktor yang menentukan besar kecilnya hambatan konduktor itu sendiri. Secara matematis, hambatan listrik sebuah konduktor dapat ditulis sebagai berikut.

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \qquad (8\text{–}5)$$

dengan: R = hambatan listrik konduktor (Ω),
ρ = hambatan jenis konduktor (m),
ℓ = panjang konduktor (m), dan
A = luas penampang konduktor (m^2).

Jika penampang konduktor berupa lingkaran dengan jari-jari r atau diameter d, luas penampangnya memenuhi persamaan

$$A = \pi r^2 = \frac{1}{4}\pi d^2$$

sehingga **Persamaan (8–5)** dapat juga ditulis

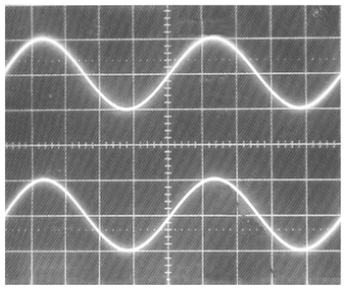
$$R = \rho \frac{\ell}{\pi r^2} \quad \text{atau} \quad R = 4\rho \frac{\ell}{\pi d^2} \qquad (8\text{–}6)$$

Persamaan (8–5) atau **(8–6)** menunjukkan bahwa hambatan listrik konduktor sebanding dengan panjang konduktor dan berbanding terbalik dengan luas penampang atau kuadrat jari-jari (diameter) konduktor. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang konduktornya, semakin besar hambatan listriknya. Di lain pihak, semakin besar luas penampangnya atau semakin besar jari-jari penampangnya, hambatan listrik konduktor semakin kecil.

Kata Kunci
- Beda potensial
- Hambatan jenis
- Hambatan listrik
- Konduktor

Jelajah Fisika

Tetap Sejalan



Resistor yang baik mematuhi Hukum Ohm meskipun tegangan atau arusnya berubah-ubah dengan cepat. Dua garis bergelombang dalam gambar ini, yang ditampilkan oleh osiloskop, menunjukkan arus yang melewati resistor tetap sejalan dengan tegangan saat arus tadi naik atau turun.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Loncatan Kuantum

Hambatan
Hambatan adalah komponen elektronika sebagai pereduksi aliran arus listrik. Hambatan memiliki tiga atau empat garis warna pada "badannya" yang menunjukkan berapa besar hambatan yang diberikan.

Quantum Leap

Resistor
Resistors are electronic components which reduce the flow of current. Resistors have three or four colour-coded stripes on them which show how much resistance they give.

Sumber: *Science Encylopedia*, 2000

Selain itu, **Persamaan (8–5)** atau **(8–6)** juga menunjukkan bahwa hambatan listrik konduktor bergantung pada hambatan jenis konduktor. Semakin besar hambatan jenis konduktor, semakin besar hambatannya. Konduktor yang paling baik adalah konduktor yang hambatan jenisnya paling kecil. Di lain pihak, bahan yang hambatan jenisnya paling besar merupakan isolator paling baik.

Hambatan jenis konduktor bergantung pada suhunya. Semakin tinggi suhunya, semakin tinggi hambatan jenis konduktor dan semakin tinggi pula hambatan konduktor tersebut. Pengaruh suhu terhadap hambatan konduktor dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$R = R_0(1+\alpha\Delta t) \qquad (8\text{–}7)$$

dengan: R = hambatan konduktor pada suhu t°C,
R_0 = hambatan konduktor pada suhu t_0°C,
α = koefisien suhu hambatan jenis (/°C), dan
t = $t - t_0$ = selisih suhu (°C).

Contoh 8.3

Sebuah kawat yang panjangnya 2 m dan luas penampangnya 5 cm² memiliki hambatan 100 Ω. Jika kawat tersebut memiliki panjang 4 m dan luas penampang 1,25 cm², berapakah hambatannya?

Jawab

Diketahui: $\ell_1 = 2$ m, $A_1 = 5$ cm², $R_1 = 100\ \Omega$, $\ell_2 = 4$ m, dan $A_2 = 1{,}25$ cm².
Soal ini lebih mudah diselesaikan dengan menggunakan metoda perbandingan.

Dari persamaan $R = \rho\dfrac{\ell}{A}$ diperoleh

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\ell_2}{\ell_1}\times\frac{A_2}{A_1}$$

$$R_2 = \frac{4\text{ m}}{2\text{ m}}\times\frac{1{,}25\text{ cm}^2}{5\text{ cm}^2}\times 100 = 50\ \Omega$$

Jadi, hambatannya adalah 50 Ω.

Contoh 8.4

Sebuah termometer hambatan terbuat dari platina ($\alpha = 3{,}92 \times 10^{-3}$/C°). Pada suhu 20°C, hambatannya 50 Ω. Sewaktu dicelupkan ke dalam bejana berisi logam indium yang sedang melebur, hambatan termometer naik menjadi 76,8 Ω. Tentukan titik lebur indium tersebut.

Jawab

Diketahui: $\alpha = 3{,}92 \times 10^{-3}$/C°, $t_o = 20$°C, $R_o = 50\ \Omega$, dan $R = 76{,}8\ \Omega$.

$R = R_0(1 + \alpha\Delta t) = R_0 + R_0\alpha\Delta t \rightarrow R - R_0 = R_0\alpha\Delta t$

sehingga diperoleh

$$\Delta t = \frac{R - R_0}{R_0\alpha}$$

$$= \frac{(76{,}8 - 50)\ \Omega}{(50\ \Omega)(3{,}920\times 10^{-3}/°\text{C})} = 136{,}7°\text{C}$$

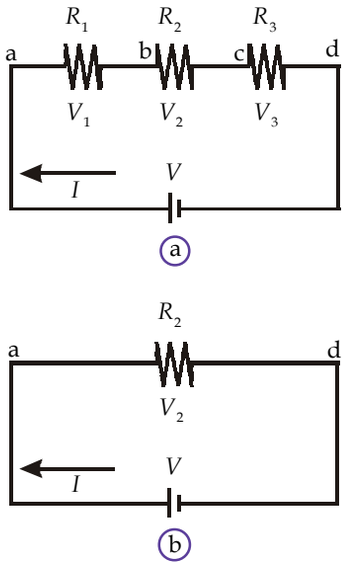
Jadi, karena suhu awalnya 20°C, titik lebur indium adalah 136,7°C + 20°C = 156,7°C.

3. Rangkaian Hambatan Listrik

Dalam rangkaian listrik, hambatan dapat dirangkai secara seri, paralel, atau kombinasi (gabungan) dari keduanya. Setiap susunan rangkaian memiliki fungsi tertentu.

a. Rangkaian Seri Hambatan

Ketika Anda ingin memperkecil kuat arus yang mengalir pada rangkaian atau membagi tegangan listrik, Anda dapat melakukannya dengan menyusun beberapa hambatan secara seri, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 8.6**. Perhatikanlah bahwa hambatan-hambatan dikatakan tersusun seri jika satu sama lain tersambung hanya pada satu terminalnya. Pada **Gambar 8.6(a)**, terminal kanan hambatan R_1 tersambung dengan terminal kiri hambatan R_2 di titik b dan terminal kanan R2 tersambung dengan terminal kiri R_3 di titik c. Rangkaian hambatan seri ini ekivalen dengan sebuah hambatan pengganti seri seperti pada **Gambar 8.6(b)**.



Gambar 8.6
(a) Rangkaian seri hambatan.
(b) Hambatan pengganti seri.

Ekivalensi antara hambatan pengganti seri dan hambatan-hambatan yang dirangkai seri, ditentukan sebagai berikut. Pada **Gambar 8.6(a)**, tegangan total antara titik a dan titik d memenuhi persamaan

$$V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$$

Sesuai dengan Hukum Ohm, $V = IR$ maka persamaan tersebut dapat ditulis

$$V_{ad} = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3$$

Pada rangkaian seri, arus yang mengalir pada tiap hambatan besarnya sama, yakni $I_1 = I_2 = I_3 = I$, maka V_{ad} dapat ditulis lagi sebagai berikut.

$$V_{ad} = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

Adapun dari **Gambar 8.6(b)** diperoleh

$$V_{ad} = IR_s$$

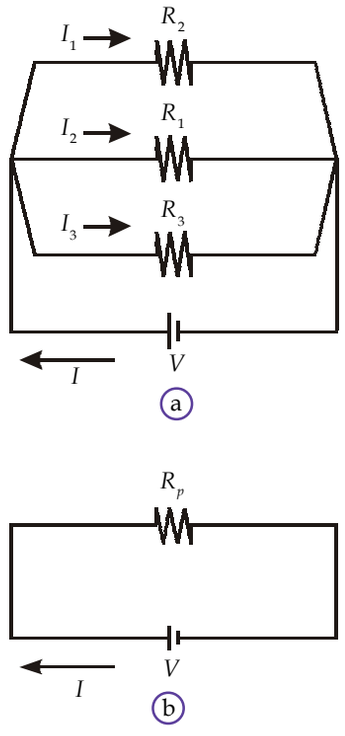
Dengan membandingkan dua persamaan terakhir diperoleh

$$\boxed{R_s = R_1 + R_2 + R_3} \qquad (8\text{–}8)$$

Persamaan (8–8) menunjukkan bahwa hambatan-hambatan yang dirangkai seri akan memberikan hambatan total (pengganti) yang lebih besar daripada nilai setiap hambatannya.

b. Rangkaian Paralel Hambatan

Hambatan yang disusun paralel berfungsi untuk membagi arus atau memperkecil hambatan total. Pada susunan paralel, setiap hambatan saling tersambung pada kedua terminalnya, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 8.7(a)**. Tegangan pada setiap hambatan sama, yakni $V_1 = V_2 = V_3 = V$. Hambatan ekivalen paralel diperlihatkan pada **Gambar 8.7(b)**.



Gambar 8.7
(a) Hambatan tersusun paralel.
(b) hambatan penggantinya.

Pada Gambar 8.7(a), arus I yang keluar dari baterai terbagi menjadi tiga yakni I_1, I_2, dan I_3 yang masing-masing mengalir melalui R_1, R_2, dan R_3. Hubungan antara arus listrik tersebut memenuhi persamaan

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

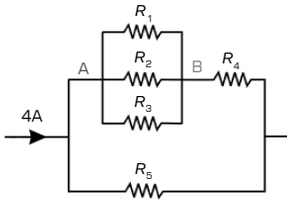
Sesuai dengan Hukum Ohm, $I = \frac{V}{R}$ maka persamaan di atas dapat ditulis

$$I = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Oleh karena $V_1 = V_2 = V_3 = V$ maka persamaan tersebut dapat ditulis lagi sebagai berikut

Solusi Cerdas

Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut ini.



Jika hambatan R_1 = 8 ohm, R_2 = 16 ohm, R_3 = 16 ohm, R_4 = 8 ohm, dan R_5 = 12 ohm. Besarnya tegangan antara A dan B adalah ....

a. 3 volt
b. 5 volt
c. 6 volt
d. 8 volt
e. 10 volt

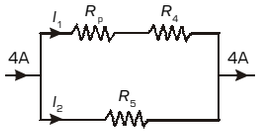
Penyelesaian

Perhatikan rangkaian paralel R_1, R_2, dan R_3.

$$\frac{1}{R_p}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{1}{8}+\frac{1}{16}+\frac{1}{16}$$

R_p = 4 ohm

Perhatikan rangkaian seri R_p dan R_4.



$R_s = R_p + R_4 = 4 + 8 = 12$ ohm

$R_s = R_5$, maka $I_1 = I_2 = \frac{1}{2}\times 4 = 2$ A

$V_{AB} = R_p \times I_1$
$= 4$ ohm $\times$ 2 A = 8 volt

Jawab: d

Ebtanas 1993/1994

$$I = V\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)$$

atau

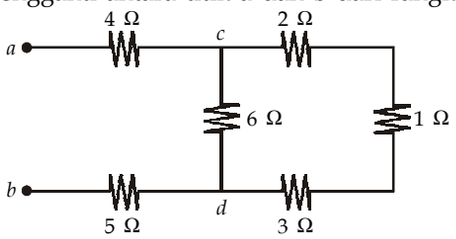
$$\frac{I}{V}=\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)$$

Dari **Gambar 8.7(b)**, $V = IR_p$ sehingga persamaan tersebut dapat ditulis menjadi

$$\boxed{\frac{1}{R_p}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} \qquad (8\text{–}9)$$

Contoh 8.5

Tentukan hambatan pengganti antara titik a dan b dari rangkaian berikut.



Jawab

Rangkaian tersebut merupakan kombinasi dari rangkaian seri dan paralel. Prinsip penyelesaian masalah tersebut adalah menyederhanakan rangkaian sedemikian sehingga menjadi rangkaian seri atau paralel. Pada rangkaian tersebut, jika Anda telusuri dari *a* ke *b*, antara titik *c* dan *d* terdapat hambatan-hambatan yang dirangkai paralel. Di lain pihak, antara *c* dan *d* melalui cabang paling kanan terdapat hambatan 2 Ω, 1 Ω, dan 3 Ω yang dirangkai seri dan dapat diganti dengan sebuah hambatan ekivalen 6 Ω (2 Ω + 1 Ω + 3 Ω). Hambatan ekivalen 6 Ω ini paralel dengan hambatan 6 Ω pada cabang *c* – *d* sebelah kiri. Selanjutnya, antara titik *c* dan *d*, hambatan penggantinya (paralel 6 Ω dan 6 Ω) adalah

$$\frac{1}{R_{cd}}=\frac{1}{6}+\frac{1}{6}+\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$$

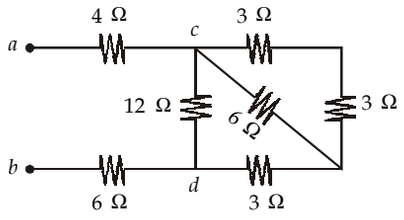
sehingga diperoleh R_{cd} = 3 Ω.

Selanjutnya, R_{ac}, R_{cd}, dan R_{bd} menjadi tersusun seri. Dengan demikian, diperoleh $R_{ad} = R_{ac} + R_{cd} + R_{bd} = 4 + 3 + 5 = 12$ Ω.

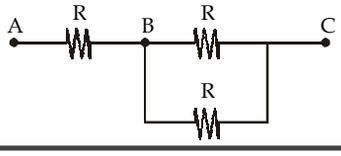
Soal Penguasaan *Materi* 8.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tiga buah hambatan masing-masing 2 Ω, 3 Ω, dan 6Ω. Tentukan nilai hambatan terkecil dan terbesar dari kombinasi susunan ketiga hambatan tersebut.
2. Dua buah hambatan, 3 Ω dan 6 Ω, dirangkai paralel. Terminal-terminal rangkaian hambatan tersebut dihubungkan dengan beda potensial 10 V. Tentukanlah:
   a. hambatan penggantinya, dan
   b. arus yang mengalir pada tiap hambatan.
3. Tentukanlah hambatan pengganti antara titik *a* dan *b* pada rangkaian berikut ini.

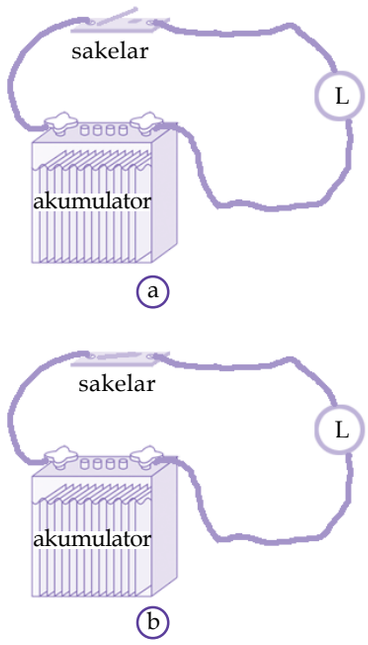


4. Dari rangkaian berikut ini, jika antara A dan C terdapat beda potensial 120 volt, berapakah beda potensial antara A dan B?



C Rangkaian Listrik Arus Searah

Gambar 8.8 memperlihatkan skema sebuah lampu, sakelar, dan baterai yang satu sama lain terhubung oleh kabel/kawat. Ketika sakelar masih terbuka, **Gambar 8.8(a)**, arus listrik belum mengalir sehingga lampu belum menyala (padam). Sebaliknya, ketika sakelar disambungkan, **Gambar 8.8(b)**, arus mengalir dari kutub positif baterai ke kutub negatif baterai melalui kabel dan lampu sehingga lampu menyala. **Gambar 8.8(a)** disebut rangkaian listrik terbuka, sedangkan **Gambar 8.8(b)** disebut rangkaian listrik tertutup. Rangkaian seperti ini secara umum disebut rangkaian listrik arus searah. Rangkaian listrik arus searah yang terdiri dari sebuah baterai dan sebuah beban (misalnya hambatan dan lampu) disebut rangkaian listrik sederhana.

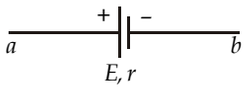


Gambar 8.8
Rangkaian listrik (a) terbuka dan (b) tertutup.

1. GGL, Hambatan Dalam, dan Tegangan Jepit Baterai

Baterai merupakan sumber energi arus searah. Energi listrik yang dihasilkan baterai berasal dari energi kimia. Selain baterai, sumber energi listrik lainnya adalah generator. Secara umum, alat yang dapat mengubah suatu bentuk energi lain menjadi energi listrik disebut sumber gaya gerak listrik (GGL). GGL adalah beda potensial antarterminal sumber tegangan (bateai atau generator), ketika tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian luar. Simbol GGL adalah E.

Anda mungkin pernah mengalami bahwa ketika arus ditarik dari baterai, tegangan pada terminal baterai turun di bawah GGLnya. Sebagai contoh, ketika Anda men*starter* mesin mobil, dengan lampu depan masih menyala, lampu menjadi redup sesaat. Ini terjadi karena *starter* menarik arus besar sehingga tegangan baterai menjadi turun. Penurunan tegangan ini terjadi karena reaksi kimia dalam baterai tidak cukup menyuplai muatan untuk mempertahankan GGLnya menjadi penuh. Jadi, baterai sendiri memiliki hambatan dalam r. Dalam rangkaian listrik, baterai disimbolkan seperti pada **Gambar 8.9**.



Gambar 8.9
Simbol sebuah baterai. E = GGL baterai dan r = hambatan dalam baterai. Garis vertikal yang panjang menyimbolkan kutub *positif* dan garis vertikal yang pendek menyimbolkan kutub *negatif*.

Tegangan antara titik a dan b disebut tegangan terminal V_{ab}. Ketika baterai tidak mengeluarkan arus, $V_{ab} = E$. Akan tetapi, ketika baterai mengeluarkan arus, tegangan terminal baterai turun sebesar I_r. Jadi, $V_{ab} = E - I_r$. Tegangan terminal baterai ketika baterai mengeluarkan arus disebut dengan tegangan jepit.

Contoh 8.6

Sebuah baterai memiliki GGL 12 V dan hambatan dalam 2 Ω. Tentukan tegangan jepit baterai ketika ia mengeluarkan arus 2 A.

Jawab

Diketahui: $E = 12$ V,
$r = 2\ \Omega$, dan
$I = 2$ A.

maka tegangan jepitnya

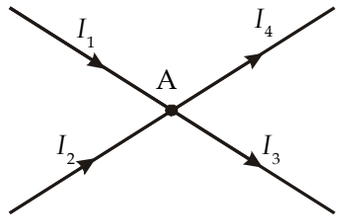
$V_{jepit} = E - Ir$
$= 12\text{ V} - (2\text{ A})(2\ \Omega)$
$= 8$ V.

Kata Kunci

- GGL
- Hambatan dalam
- Koefisien suhu hambatan
- Rangkaian seri hambatan
- Rangkaian paralel hambatan
- Tegangan jepit

2. Hukum-Hukum Kirchhoff dan Penerapannya

a. Hukum Arus Kirchhoff



Gambar 8.10
Arus pada percabangan kawat.

Hukum Arus Kirchhoff membicarakan arus listrik pada titik percabangan kawat. Tinjau sebuah titik percabangan kawat, sebut titik A, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 8.10**. Arus I_1 dan I_2 menuju (masuk ke) titik A, sedangkan I_3 dan I_4 menjauhi (keluar dari) titik A. Jika aliran arus dianalogikan sebagai aliran air dalam pipa, Anda tentu akan yakin bahwa jumlah aliran air sebelum melewati titik A akan sama dengan jumlah air sesudah melewati titik A. Demikian pula dengan arus listrik, jumlah arus listrik yang menuju (masuk ke) titik percabangan (titik A) sama dengan jumlah arus yang menjauhi (keluar dari) titik percabangan tersebut. Dengan demikian, pada **Gambar 8.10**, secara matematis diperoleh

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

atau

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

Persamaan terakhir secara matematis dapat ditulis

$$\boxed{\sum I = 0} \qquad (8\text{–}10)$$

yang berarti bahwa jumlah arus listrik pada suatu titik percabangan sama dengan nol. **Persamaan (8–10)** disebut Hukum Pertama Kirchhoff atau Hukum Arus Kirchhoff. Perlu diingat bahwa ketika Anda menggunakan **Persamaan (8–10)**, arus yang masuk ke titik percabangan diberi tanda positif, sedangkan arus yang keluar dari titik percabangan diberi tanda negatif.

Jelajah Fisika

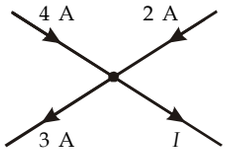
Besaran Mikrocip

Mikrocip menyebabkan elektronika menjadi kekuatan yang dapat mengubah dunia. Cip silikon kali pertama dibuat pada 1958. Cip yang diperdagangkan pada mulanya hanya berisi beberapa puluh transistor. Kini Cip serupa dapat berisi lebih dari sejuta transisitor.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Contoh 8.7

Dari gambar berikut ini, tentukanlah besarnya nilai I.



Jawab

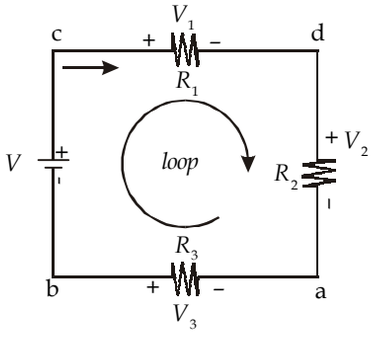
Gunakan Hukum Arus Kirchhoff. Beri tanda positif pada arus yang masuk titik cabang dan beri tanda negatif pada arus yang keluar dari titik cabang.

$$\sum I = 0$$

$4\text{ A} - 3\text{ A} + 2\text{ A} - I = 0$

sehingga diperoleh $I = 3$ A.

b. Hukum Tegangan Kirchhoff



Gambar 8.11
Muatan listrik yang mengalir dalam lintasan tertutup memenuhi Hukum Kekekalan Energi.

Hukum Tegangan Kirchhoff didasarkan pada Hukum Kekekalan Energi. Ketika muatan listrik q berpindah dari potensial tinggi ke potensial rendah dengan beda potensial V, energi muatan itu akan turun sebesar qV. Sekarang tinjau rangkaian listrik, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.11**. Baterai dengan tegangan terminal V akan melepas muatan q dengan energi qV sedemikian sehingga mampu bergerak pada lintasan tertutup (*loop*) *abcda*. Ketika muatan q melintasi resistansi R_1, energi muatan ini akan turun sebesar qV_1. Demikian pula ketika melintasi R_2 dan R_3, masing-masing energinya turun sebesar qV_2 dan qV_3. Total penurunan energi muatan adalah $qV_1 + qV_2 + qV_3$.

Sesuai dengan Hukum Kekekalan Energi, penurunan ini harus sama dengan energi yang dilepaskan oleh baterai, qV. Dengan demikian berlaku

$$qV = qV_1 + qV_2 + qV_3$$
$$V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

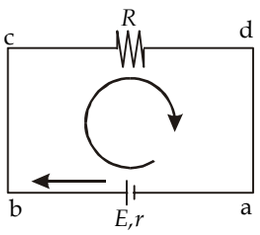
Persamaan terakhir dapat ditulis

$$\boxed{\sum V = 0} \qquad (8\text{–}11)$$

yang berarti bahwa jumlah tegangan pada sebuah loop (lintasan tertutup) sama dengan nol. **Persamaan (8–11)** disebut Hukum Kedua Kirchhoff atau Hukum Tegangan Kirchhoff.

c. Penerapan Hukum Kirchhoff pada Rangkaian Sederhana

Rangkaian sederhana adalah rangkaian yang terdiri dari satu loop. Sebagai contoh, tinjau rangkaian pada **Gambar 8.12**. Tidak ada titik percabangan di sini sehingga arus pada setiap hambatan sama, yakni I dengan arah seperti pada gambar. Pilih *loop a-b-c-d-a*. Ketika Anda bergerak dari a ke b, Anda menemui kutub negatif baterai terlebih dahulu sehingga GGLnya ditulis $V_{ab} = E_1$. Ketika Anda melanjutkan gerakan dari b ke c, Anda mendapati arah arus sama dengan arah gerakan Anda sehingga tegangan pada R_1 diberi tanda positif, yakni $V_{bc} = +IR_1$. Dari c ke d kembali Anda menemui GGL dan kali ini kutub positifnya terlebih dahulu sehingga diperoleh $V_{cd} = +E_2$. Selanjutnya, tegangan antara d dan a diperoleh $V_{da} = +IR_2$. Hasil tersebut kemudian dimasukkan ke dalam **Persamaan (8–11)**.



Gambar 8.12
Rangkaian listrik sederhana.

$$\sum V = 0$$
$$V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0$$
$$-E + IR_1 + E + IR_2 = 0$$

atau

$$I(R_1 + R_2) = E_1 + E_2$$

sehingga diperoleh

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

Persamaan terakhir dapat ditulis sebagai berikut.

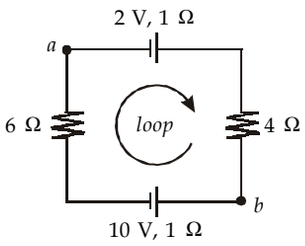
$$\boxed{I = \frac{\sum E}{\sum R}} \qquad (8\text{–}12)$$

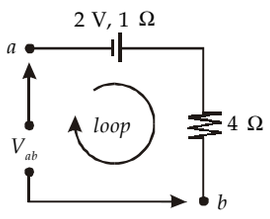
Dengan demikian, untuk rangkaian listrik sederhana, besarnya arus listrik yang mengalir pada rangkaian dapat dicari menggunakan **Persamaan (8–12)**. Akan tetapi, jangan lupa ketika memasukkan nilai GGLnya, Anda harus tetap memerhatikan tanda GGL tersebut.

Kata Kunci
- Hukum Arus Kirchhoff
- Hukum Tegangan Kirchhoff
- Rangkaian sederhana
- Rangkaian majemuk

Contoh 8.8

Dari rangkaian listrik berikut ini, tentukan (a) arus yang mengalir pada rangkaian, dan (b) tegangan antara titik a dan b.





Jawab

a. Ambil *loop* searah putaran jarum jam maka Anda akan menemui kutub negatif dahulu pada GGL pertama, E_1 = 2 V, dan kutub positif dahulu pada GGL kedua, E_2 = +10 V. Dengan demikian, $\sum E$ = –2 + 10 = 8 V. Selanjutnya, jumlah hambatan dalam rangkaian $\sum R$ = 6 + 1 + 4 + 1 = 12 Ω, sehingga diperoleh arus pada rangkaian

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{8\ \text{V}}{12\ \Omega} = \frac{3}{4}\ \text{A}$$

Dengan arah seperti diperlihatkan pada gambar (keluar dari kutub positif baterai dengan GGL terbesar, 10 V).

b. Untuk menentukan tegangan antara titik *a* dan *b*, lepas salah satu cabang antara *a* dan *b*, lalu ganti oleh cabang V_{ab}, seperti diperlihatkan pada gambar. Selanjutnya, gunakan Hukum Tegangan Kirchhoff. Ambil loop searah putaran jarum jam maka

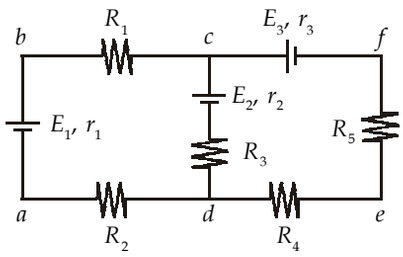
$$-2\text{V} + \frac{3}{4}\text{A}\ (1\ \Omega + 4\ \Omega) + V_{ba} = 0$$

$$V_{ba} = -V_{ba} = -1{,}75\ \text{V}$$

sehingga diperoleh $V_{ab} = V_{ba} = 1{,}75$ V.

d. Penerapan Hukum-hukum Kirchhoff pada Rangkaian Majemuk

Rangkaian majemuk adalah rangkaian arus searah yang lebih dari satu loop. Salah satu cara untuk menganalisis rangkaian majemuk adalah analisis loop. Analisis ini pada dasarnya menerapkan Hukum-hukum Kirchhoff, baik tentang arus maupun tegangan. Berikut adalah langkah-langkah untuk menganalisis rangkaian majemuk pada **Gambar 8.13** menggunakan analisis loop.



Gambar 8.13
Analisis loop pada rangkaian majemuk.

1) Tandai titik-titik sudut atau titik cabang rangkaian, misalnya titik *a, b, c, d, e,* dan *f*.
2) Tentukan arah arus pada tiap cabang, sebarang saja, sesuai keinginan Anda. Lalu, gunakan **Persamaan (8–10)** untuk mendapatkan persamaan arusnya.
3) Tentukan titik tempat Anda mulai bergerak dan lintasan yang akan Anda lalui. Misalnya, Anda ingin memulai dari titik a menuju titik *b*, *c*, dan *d* lalu ke *a* lagi maka yang dimaksud satu loop adalah lintasan *a-b-c-d-a*. Lakukan hal yang serupa untuk loop *c-d-e-f-c*.
   a) Jika Anda melewati sebuah baterai dengan kutub positif terlebih dahulu, GGL *E* diberi tanda positif (+*E*). Sebaliknya, jika kutub negatif lebih dulu, GGL *E* diberi tanda negatif (*E*).
   (b) Jika Anda melewati sebuah hambatan *R* dengan arus *I* searah loop Anda, tegangannya diberi tanda positif (+*IR*). Sebaliknya, jika arah arus *I* berlawanan dengan arah loop Anda, tegangannya diberi tanda negatif (*IR*).
4) Masukkan hasil pada langkah 3 ke **Persamaan (8–11)**.
5) Dari beberapa persamaan yang Anda dapatkan, Anda dapat melakukan eliminasi untuk memperoleh nilai arus pada tiap cabang.

Contoh 8.9

Pada **Gambar 8.13**, jika diketahui E_1 = 6V, r_1 = 1 Ω, E_2 = 3 V, r_2 = 1 Ω, E_3 = 3 V, r_3 = 1 Ω, R_1 = 3 Ω, R_2 = 2 Ω, R_3 = 2 Ω, R_4 = 1Ω, dan R_5 = 1 Ω, tentukan kuat arus yang melalui setiap baterai.

Jawab

Langkah (1) dan (2) sudah dilakukan seperti terlihat pada gambar. Pada titik cabang *c* berlaku

$$\sum I = 0$$
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

Langkah (3): pilih *loop a-b-c-d-a*. Dengan bergerak dari *a* ke *b* ke *c* ke *d* ke *a*, Anda akan menemukan kutub positif E_2 dan kutub negatif E_1 terlebih dahulu. Selain itu, arah gerakan Anda sama dengan arah I_1 dan I_2 maka kedua arus ini positif. Selanjutnya, langkah (4)

$$\sum V = 0$$
$$+E_2 - E_1 + I_1(r_1 + R_1 + R_2) + I_2(r_2 + R_3) = 0$$
$$+3 - 6 + I_1(1 + 3 + 2) + I_2(1 + 2) = 0$$
$$-3 + 6I_1 + 3I_2 = 0 \quad (:3)$$
$$-1 + 2I_1 + I_2 = 0 \quad (2)$$

Ulangi langkah (3) dan langkah (4) untuk *loop c-d-e-f-c* maka akan diperoleh

$$\sum V = 0$$
$$+E_3 - E_2 - I_2(r_2 + R_3) + I_3(r_3 + R_4 + R_5) = 0$$
$$+3 - 3 - I_2(1 + 2) + I3\,(1 + 1 + 1) = 0$$
$$-3I_2 + 3I_3 = 0 \quad (:3)$$
$$I_2 + I_3 = 0 \quad (3)$$

Langkah (5): eliminasi I_1 dari Persamaan (1) dan (2). Kalikan terlebih dahulu Persamaan (1) dengan 2 lalu jumlahkan dengan Persamaan (2):

$$\begin{array}{rll} 2I_1 - 2I_2 - 2I_3 = 0 & & (1) \\ -1 + 2I_1 + I_2 = 0 & & (2) \\ \hline -1 + 0 - 3I_2 - 2I_3 = 0 & & (4) \end{array}$$

Eliminasi Persamaan (3) dan (4): Persamaan (3) terlebih dahulu dikalikan dengan 3.

$$\begin{array}{rll} 3I_2 + 3I_3 = 0 & & (3) \\ -1 - 3I2 - 2I_3 = 0 & & (4) \\ \hline -1 + 0 + 5I_3 = 0 & & \end{array}$$

sehingga diperoleh $I_3 = \frac{1}{5} = 0{,}2$ A. Masukkan hasil ini ke Persamaan (3), diperoleh $I_3 = I_2 = 0{,}2$ A. Terakhir, masukkan nilai $I_3 = I_2 = 0{,}2$ A ke Persamaan (1) maka diperoleh

$$I_1 = I_2 + I_3 = 0{,}2 + 0{,}2 = 0{,}4 \text{ A}.$$

Dengan demikian, arus yang mengalir pada tiap cabang masing-masing adalah

$$I_1 = 0{,}4 \text{ A}; I_2 = I_3 = 0{,}2 \text{ A}$$

Perlu Anda

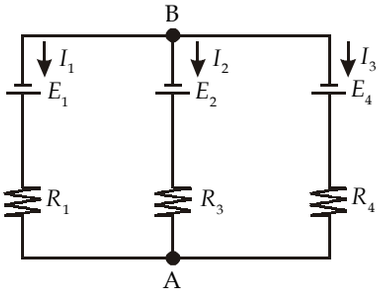
Ketahui

Jika nilai hasil perhitungan bertanda negatif (–) berarti arah arus listrik adalah sebaliknya.

e. Penerapan Hukum Arus Kirchhoff dan Hukum Ohm pada Rangkaian Majemuk

Selain analisis *loop*, analisis simpul juga dapat digunakan untuk menganalisis rangkaian majemuk. Analisis ini menerapkan Hukum Arus Kirchhoff dan Hukum Ohm. Berikut adalah langkah-langkah untuk menerapkan analisis simpul pada rangkaian majemuk yang diperlihatkan pada **Gambar 8.14**.

1) Pilih salah satu titik (simpul), misal A, sebagai acuan dengan tegangan nol (*ground*) dan titik (simpul) lainnya, misal B, anggap memiliki tegangan V terhadap ground, yakni $V_{BA} = V$.
2) Pilih semua arus pada tiap cabang, yakni I_1, I_2, dan I_3, berarah dari B ke A.
3) Jika pada cabang arus terdapat baterai (GGL), perhatikan kutub baterai yang ditemui arah arus. Jika arus yang Anda misalkan masuk ke kutub positif baterai, arus pada cabang tersebut memenuhi persamaan



Gambar 8.14

Analisis simpul pada rangkaian majemuk.

$$I_c = \frac{V - E_c}{R_c}$$

dengan *subcript* c berarti cabang. Sebaliknya, jika arus yang Anda misalkan masuk ke kutub negatif baterai, arus pada cabang tersebut memenuhi persamaan

$$I_c = \frac{V + E_c}{R_c}$$

4) Terapkan Hukum Arus Kirchhoff sebagai berikut.

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

5) Masukkan I pada langkah 3 ke langkah 4 maka Anda akan memperoleh nilai V.

6) Untuk mendapatkan arus pada tiap cabang, Anda tinggal memasukkan nilai V hasil langkah 5 ke persamaan I pada langkah 3.

Contoh 8.10

Ulangi **Contoh 8.9** dengan menggunakan analisis simpul.

Jawab

Rangkaian pada **Gambar 8.13** dapat disederhanakan menjadi seperti pada **Gambar 8.14** dengan

R_1 (baru) = hambatan total pada cabang pertama = $r_1 + R_1 + R_2 = 1 + 3 + 2 = 6\ \Omega$;
R_2 (baru) = hambatan total pada cabang kedua = $r_2 + R_3 = 1 + 2 = 3\ \Omega$;
R_3 (baru) = hambatan total pada cabang ketiga = $r_2 + R_4 + R_5 = 1 + 1 + 1 = 3\ \Omega$.

Langkah (1), ambil A sebagai ground dan $V_{BA} = V$.
Langkah (2), pilih arus pada tiap cabang berarah dari B ke A (lihat gambar).
Langkah (3), perhatikan pada gambar, semua arus pada cabang masuk ke kutub positif baterai maka

$$I_1 = \frac{V - E_1}{R_1} = \frac{V - 6}{6}$$

$$I_2 = \frac{V - E_2}{R_2} = \frac{V - 3}{3}$$

$$I_3 = \frac{V - E_3}{R_3} = \frac{V - 3}{3}$$

Langkah (4) dan (5),

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$\frac{V - 6}{6} + \frac{V - 3}{3} + \frac{V - 3}{3} = 0$$

atau

$$\frac{V - 6}{6} + \frac{2V - 6}{6} + \frac{2V - 6}{6} = 0$$

Kalikan semua ruas dengan 6, diperoleh

$$V - 6 + 2V - 6 + 2V - 6 = 0$$
$$5V - 18 = 0$$
$$5V = 0$$

sehingga diperoleh

$$V = \frac{18}{5} = 3{,}6\ \text{V}$$

Langkah (6), masukkan nilai V = 3,6 V pada Persamaan arus pada Langkah (3). Dengan demikian diperoleh

$$I_1 = \frac{V - 6}{6} = \frac{3{,}6 - 6}{6} = -0{,}4\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{V-3}{3} = \frac{3{,}6-3}{3} = 0{,}2 \text{ A}$$
$$I_3 = \frac{V-3}{3} = \frac{3{,}6-3}{3} = 0{,}2 \text{ A}$$

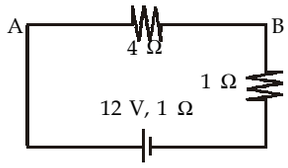
Tanda negatif pada I_1 menunjukkan bahwa arah arus I_1 yang sebenarnya masuk ke titik B sebesar 0,4 A.

Catatan: Untuk selanjutnya, Langkah (3) langsung saja Anda tulis di bawah Langkah (4).

Soal Penguasaan *Materi* 8.3

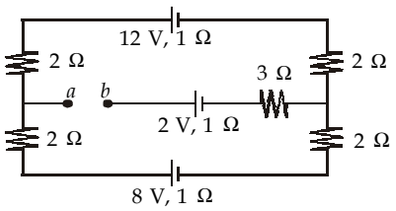
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah akumulator mempunyai GGL 12 V dan hambatan dalam 0,10 Ω. Akumulator ini kemudian diisi oleh arus listrik 10 A. Tentukan tegangan terminal baterai. (Petunjuk: ketika akumulator diisi atau disetrum, arah arus masuk ke kutub positif baterai.)
2. Perhatikan gambar berikut.

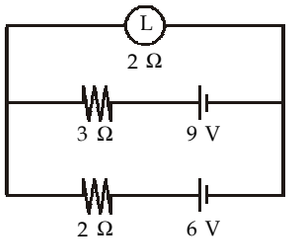


Pada gambar rangkaian tersebut, tentukan beda potensial (a) arus yang keluar dari baterai, (b) tegangan jepit baterai, dan (c) beda potensial antara titik A dan B.

3. Tentukan beda potensial antara titik a dan b dari rangkaian pada gambar berikut ini.



4. Pada gambar rangkaian berikut ini, tentukan kuat arus listrik yang melalui lampu 2 Ω.

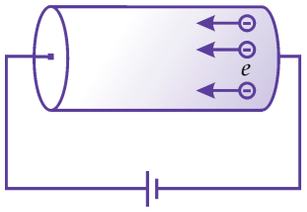


5. Tiga buah baterai dengan GGL dan hambatan dalam masing-masing 2 V, 1 Ω; 3V, 1 Ω; dan 4 V, 1 Ω, kutub-kutub positifnya dihubungkan ke titik *a*, sedangkan kutub-kutub negatifnya dihubungkan ke titik *b*. Tentukanlah
   (a) beda potensial antara titik *a* dan *b*, dan
   (b) arus listrik yang mengalir melalui tiap baterai.

D Energi dan Daya Listrik

1. Energi Listrik

Tinjau sebuah konduktor yang diberi beda potensial $V_{ab} = V$, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.15**. Elektron-elektron pada konduktor itu akan bergerak dari titik *b* menuju ke titik *a*. Mengapa demikian? Ketika beda potensial *V* diberikan, elektron-elektron tersebut akan mendapatkan tambahan energi masing-masing sebesar *eV*, dengan *e* adalah muatan satu elektron. Energi inilah yang kemudian mengalirkan elektron dalam konduktor. Jika dalam konduktor tersebut mengalir *n* buah elektron, total muatan yang mengalir adalah $Q = ne$. Dengan demikian, energi yang diperlukan untuk mengalirkan elektron memenuhi $W = QV$. Energi ini disebut



Gambar 8.15
Elektron dapat mengalir dalam konduktor yang diberi beda potensial *V* karena adanya energi listrik.

energi listrik. Dalam kaitannya dengan arus listrik, $Q = It$ maka energi listrik memenuhi persamaan

$$W = VIt \qquad (8\text{–}13)$$

dengan: W = energi listrik (joule; J),
V = beda potensial atau tegangan listrik (volt; V),
I = kuat arus yang mengalir (ampere; A), dan
t = lamanya arus mengalir (sekon; s).

Persamaan (8–13) berlaku untuk semua komponen atau beban listrik yang diberi beda potensial V dan dialiri arus I dalam selang waktu t. Khusus untuk beban listrik berupa hambatan listrik, mengingat $V = IR$ atau $I = \frac{V}{R}$, **Persamaan (8–13)** dapat ditulis sebagai berikut.

$$W = I^2Rt \text{ atau } W = \frac{V^2}{R}t \qquad (8\text{–}14)$$

Kata Kunci
- Energi listrik
- Daya listrik

Dalam SI, satuan dari energi listrik adalah joule (disingkat J). Satuan lain yang juga sering digunakan adalah kilowattjam, disingkat kWh (*kilowatthour*), dengan 1 kWh = 3,6 × 106 J.

Contoh 8.11

Sebuah alat pemanas bekerja pada tegangan 220 V dan arus 2 A. Tentukan energi listrik yang diserap pemanas tersebut selama (a) 5 sekon dan (b) 1 jam.

Jawab
Diketahui: V = 220 V dan I = 2 A.
Energi listrik yang diserap pemanas
a. selama t = 5 s adalah
$W = VIt$ = (220 V)(2 A)(5 s) = 2200 J
b. selama t = 1 jam adalah
$W = VIt$ = (220 V)(2 A)(1 s) = 440 watt-jam = 0,44 kWh

2. Daya Listrik

Daya atau laju energi listrik adalah energi listrik yang dihasilkan/diserap tiap satuan waktu. Secara matematis, daya listrik (diberi simbol P) ditulis

$$P = \frac{W}{t} \qquad (8\text{–}15)$$

dengan: P = daya listrik (watt; W), dan
t = waktu (sekon; s).

Satuan daya listrik, dalam SI, adalah joule/sekon (disingkat J/s). Satuan ini diberi nama watt, disingkat W, dengan 1 W = 1 J/s. Selanjutnya, jika **Persamaan (8–13)** dimasukkan ke **Persamaan (8–15)**, diperoleh

$$P = VI \qquad (8\text{–}16)$$

yang berlaku untuk setiap komponen atau beban listrik. Sementara itu, jika **Persamaan (8–14)** dimasukkan ke **Persamaan (8–15)**, diperoleh persamaan daya listrik pada hambatan listrik, yaitu

$$P = I^2 R \quad \text{atau} \quad P = \frac{V^2}{R} \qquad (8\text{–}17)$$

Contoh 8.12

Sebuah lampu dihubungkan dengan tegangan 220 V sehingga mengalir arus 0,5 A pada lampu tersebut. Tentukanlah energi listrik yang diserap oleh lampu tiap sekon.

Jawab

Diketahui: V = 220 V dan I = 0,5 A.

Energi listrik yang diserap lampu tiap sekon atau daya yang diserap lampu adalah $P = VI$ = (220 V)(0,5 A) W.

3. Spesifikasi Tegangan dan Daya Kerja pada Beban Listrik

Hampir semua beban listrik (lampu, radio, TV, komputer, dll.) menuliskan spesifikasi tegangan dan daya kerjanya. Spesifikasi beban listrik ini berkaitan dengan seberapa besar tegangan yang boleh diberikan pada beban listrik dan berapa daya yang akan diserap atau dihasilkannya. Sebagai contoh, sebuah lampu bertuliskan 220 V, 60 W. Hal ini berarti lampu tersebut bekerja normal, yakni menyerap daya 60 W ketika diberi tegangan 220 V. Nilai 220 V juga merupakan nilai tegangan maksimum yang boleh diberikan pada lampu tersebut. Jika tegangan yang diberikan lebih besar daripada 220 V, lampu akan rusak. Sebaliknya, jika tegangan yang diberikan lampu kurang dari 220 V, lampu akan menyala redup (daya yang diserapnya kurang dari 60 W).

Daya yang diserap beban listrik ketika dihubungkan dengan tegangan sumber tertentu memenuhi persamaan

$$P_s = \left(\frac{V_s}{V_t}\right)^2 P_t \qquad (8\text{–}18)$$

dengan: P_s = daya yang diserap lampu (W),
V_s = tegangan yang diberikan pada lampu (V),
P_t = daya yang tertulis pada lampu (W), dan
V_t = tegangan yang tertulis pada lampu (V).

Spesifikasi beban listrik berkaitan pula dengan hambatan beban tersebut. Hambatan beban listrik dengan spesikasi V_t volt, P_t watt adalah

$$R = \frac{V_t^2}{P_t} \qquad (8\text{–}19)$$

Selain dua hal tersebut, spesifikasi tegangan dan daya listrik pada beban listrik juga menunjukkan bahwa arus maksimum yang boleh melewatinya adalah

$$I_{maks} = \frac{P_t}{V_t} \qquad (8\text{–}20)$$

Contoh 8.13

Sebuah lampu bertuliskan 220 V, 50 W dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V. Tentukan (a) hambatan dalam lampu, (b) arus yang mengalir pada lampu, dan (d) daya yang diserap lampu.

Jawab

Diketahui: V_t = 220 V, P_t = 50 W, dan tegangan sumber yang diberikan V_s = 110 V.

a. Hambatan dalam lampu,

$$R = \frac{V_t^2}{P_t} = \frac{220^2}{50} = 968\ \Omega$$

Solusi Cerdas

Sebuah lampu pijar dengan spesifikasi (60 W, 220 volt) dipasang pada tegangan 110 volt. Daya yang dipergunakan lampu tersebut adalah ....

a. 10 W
b. 15 W
c. 20 W
d. 30 W
e. 45 W

Penyelesaian

Diketahui: P_1 = 60 watt,
V_1 = 220 volt, dan
V_2 = 110 volt.

Hambatan $R_1 = R_2$ maka

$$\frac{V_1^2}{P_1} = \frac{V_2^2}{P_2}$$

$$P_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 P_1$$

$$P_2 = \left(\frac{110}{220}\right)^2 60 = 15 \text{ watt}$$

Jawab: b

Ebtanas 2001

b. Arus yang melalui lampu

$$I = \frac{V_s}{R} = \frac{110}{968} = 0{,}114 \text{ A}$$

Hati-hati, jangan gunakan **Persamaan (8–20)** karena persamaan tersebut berlaku untuk arus maksimum yang boleh melewati lampu.

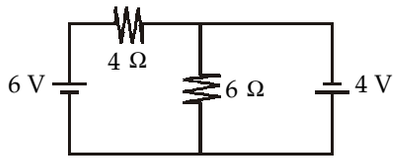
c. Daya yang diserap lampu

$$P_s = \left(\frac{V_s}{V_t}\right)^2 P_t = \left(\frac{110}{220}\right)^2 (50) = 12{,}5 \text{ W}$$

Soal Penguasaan *Materi* 8.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

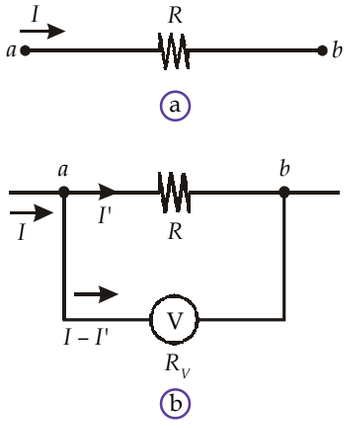
1. Sebuah seterika listrik bekerja pada tegangan 220 V dan arus 5 A. Tentukan energi panas yang dihasilkan seterika tersebut selama (a) 10 sekon, (b) 30 menit, dan (c) 2 jam.
2. Sebuah alat pengering rambut (*hair-dryer*) menyerap energi listrik 200 J selama 5 sekon. Tentukan daya listrik alat tersebut.
3. Dari rangkaian listrik pada gambar berikut ini,
   a. tentukan daya yang diserap hambatan 4 Ω, dan
   b. tentukan pula energi yang diserap hambatan tersebut selama $\frac{1}{4}$ jam.



4. Sebuah bola lampu dengan spesifikasi 30 V, 90 W hendak dipasang pada tegangan 120 V. Tentukan besar hambatan yang harus dipasang seri dengan lampu tersebut agar lampu bekerja/menyala normal.
5. Tentukan persentase penurunan daya lampu pijar yang sedang menyala jika tegangan PLN berkurang sebesar 30%.

E Alat Ukur Listrik

1. Voltmeter



Gambar 8.16
Arus pada hambatan R (a) sebelum voltmeter digunakan dan (b) ketika voltmeter digunakan.

Voltmeter adalah alat untuk mengukur tegangan antara dua titik. Ketika digunakan, voltmeter harus dipasang paralel dengan komponen yang hendak diukur tegangannya, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.16**.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, hambatan dalam voltmeter harus jauh lebih besar daripada hambatan komponen yang diukur. Voltmeter ideal adalah voltmeter yang hambatan dalamnya bernilai takhingga. Mengapa demikian? Untuk menjawab pertanyaan ini, perhatikan **Gambar 8.16**. Arus yang mengalir pada hambatan R sebelum dipasang voltmeter adalah I, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.16(a)**. Ketika voltmeter dipasang paralel dengan R, arus I menjadi terbagi dua, I_1 mengalir pada R dan sisanya, I_2 mengalir melalui voltmeter yang berhambatan dalam RV, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.16(b)**. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan pada R sebelum dan sesudah voltmeter digunakan akan berbeda. Oleh karena tegangan pada setiap hambatan yang dirangkai paralel besarnya sama, dari **Gambar 8.16(b)** diperoleh

$$I_1 R = I_2 R_v = (I - I_1) R_v$$

atau

$$I_1 (R + R_v) = I R_v$$

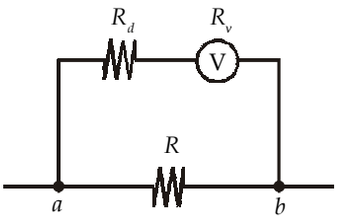
sehingga diperoleh

$$I_1 = I \frac{R_v}{R_v + R}$$

Persamaan terakhir menunjukkan bahwa agar sebelum dan sesudah dipasang voltmeter, arus yang mengalir pada R relatif sama, yakni $I_1 \cong I$, R_v harus jauh lebih besar daripada R sehingga $R + R_v \cong R_v$. Umumnya dengan memilih $R_v \geq 100R$ cukup untuk membuat $I_1 \cong I$ dengan kesalahan sekitar 1%.

Voltmeter memiliki batas ukur tertentu, yakni nilai tegangan maksimum yang dapat diukur oleh voltmeter tersebut. Jika tegangan yang diukur oleh voltmeter melebihi batas ukurnya, voltmeter akan rusak. Lalu, apa yang dapat Anda lakukan jika tegangan yang akan diukur melebihi batas ukur voltmeter?

Anda dapat menaikkan batas ukur voltmeter dengan prinsip yang sederhana. Misalnya, menurut hasil perhitungan matematis Anda, tegangan pada sebuah hambatan adalah 100 V. Di lain pihak, untuk menguji hasil perhitungan Anda, Anda akan menggunakan voltmeter yang ternyata hanya mampu mengukur sampai maksimum 10 V. Hal yang dapat Anda lakukan adalah membagi tegangan 100 V tersebut sedemikian sehingga yang melintasi voltmeter tetap 10 V supaya voltmeter tidak rusak. Sisa tegangannya, yakni 90 V, yang diberikan pada hambatan R_d yang harus dipasang seri dengan voltmeter. Mengapa harus dipasang seri? Ingat, hambatan yang dirangkai seri berfungsi untuk membagi tegangan. Pertanyaan selanjutnya adalah, berapakah nilai R_d yang harus Anda pasang?



Gambar 8.17
Batas ukur voltmeter dapat ditingkatkan dengan memberikan hambatan seri dengan voltmeter.

Untuk menjawab pertanyaan terakhir, perhatikan **Gambar 8.17**. Agar lebih umum, misalnya tegangan yang akan diukur adalah $V = nV_m$, dengan n bilangan bulat positif dan V_m adalah batas ukur voltmeter. Karena voltmeter yang dirangkai seri dengan R_d tersusun paralel dengan hambatan yang diukur tegangannya maka berlaku

$$V = V_R + V_m$$

$$nV_m = V_R + V_m$$

sehingga tegangan pada R_d memenuhi persamaan

$$V_R = (n - 1)V_m$$

Selanjutnya, arus yang melalui R_d sama dengan arus yang melalui R_v, yakni I_m maka persamaan terakhir dapat ditulis sebagai

$$I_m R_d = (n - 1)I_m R_v$$

sehingga nilai hambatan yang harus dipasang seri dengan voltmeter (disebut hambatan depan) memenuhi persamaan

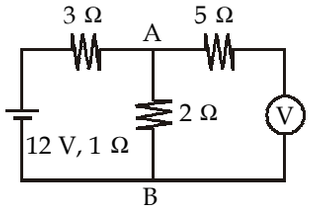
$$\boxed{R_d = (n - 1)R_v} \qquad (8\text{–}21)$$

dengan: R_d = hambatan depan (Ω),
R_v = hambatan dalam voltmeter (Ω), dan
n = kelipatan batas ukur voltmeter.

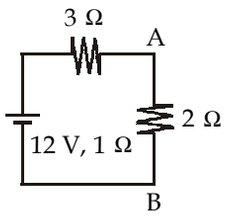
Kata Kunci
- Voltmeter
- Amperemeter

Contoh 8.14

Pada rangkaian listrik seperti gambar berikut ini, tentukan angka yang ditunjukkan voltmeter V. Anggap voltmeter ideal.



Jawab



Voltmeter V mengukur tegangan antara titik A dan B. Karena voltmeternya ideal, tegangan antara titik A dan B sebelum dan sesudah voltmeter terpasang adalah sama. Oleh karena itu, lepas dulu voltmeter dari rangkaian. Dengan menggunakan Hukum Tegangan Kirchhoff untuk rangkaian sederhana diperoleh

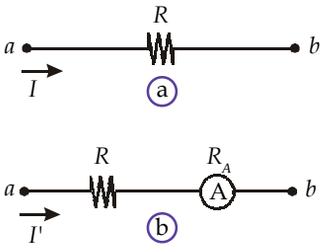
$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} = \frac{(12\ \text{V})}{(2+3+1)\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

Dengan demikian, tegangan antara titik A dan B adalah

$$V_{AB} = IR = (2\ \text{A})(3\ \Omega) = 6\ \text{V}$$

Jadi, voltmeter akan menunjukkan angka 6 V.

2. Amperemeter



Gambar 8.18
Arus pada R, (a) sebelum dipasang ammeter dan (b) ketika dipasang ammeter.

Amperemeter disingkat *ammeter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur arus listrik. Ketika digunakan, ammeter harus dirangkai seri dengan yang diukur, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.18**.

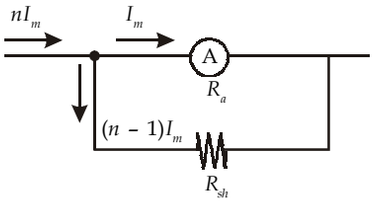
Berbeda dengan voltmeter, untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, hambatan dalam ammeter harus jauh lebih kecil daripada hambatan yang diukur arusnya. Seperti yang dapat Anda lihat pada **Gambar 8.18**, jika sebelum dipasang ammeter, arus yang melalui R adalah I, maka setelah R diserikan dengan R_a, arus yang melalui R akan turun menjadi I'. Hal ini terjadi karena hambatannya bertambah besar menjadi $R + R_a$, sedangkan tegangannya tetap. Oleh karena tegangan sebelum dan sesudah dipasang voltmeter tetap, maka berlaku

$$IR = I'(R + R_d)$$

sehingga

$$I' = I\frac{R}{R + R_d}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa agar $I' \cong I$, maka $R + R_a \cong R$. Keadaan ini akan dicapai jika R_a jauh lebih kecil daripada R dan idealnya $R_a = 0$. Akan tetapi, tentu saja tidak mungkin dapat membuat ammeter dengan hambatan dalam nol. Paling tidak, ammeter yang digunakan harus memiliki hambatan dalam $\frac{1}{100}$ kali dari hambatan yang diukur arusnya. Jika hal ini dipenuhi, kesalahan hasil pengukuran hanya sekitar 1% dan dikatakan cukup akurat.



Gambar 8.19
Batas ukur ammeter dapat ditingkatkan dengan memasang hambatan *shunt*.

Seperti halnya pada voltmeter, batas ukur ammeter juga dapat ditingkatkan. Misalnya, Anda akan mengukur arus listrik yang besarnya nI_m, dengan n bilangan bulat positif dan I_m adalah batas ukur ammeter. Dalam hal ini Anda harus memasang hambatan paralel, R_{sh}, (disebut hambatan *shunt*) dengan ammeter seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.19**. Hal ini dilakukan agar arus yang besarnya nI_m tadi terbagi menjadi I_m pada ammeter dan $(n–1)\ I_m$ pada hambatan R_{sh}. Oleh karena R_{sh} paralel dengan R_a, tegangan pada keduanya sama sehingga berlaku

$$(n-1)I_m R_{sh} = I_m R_a$$

dan diperoleh

$$\boxed{R_{sh} = \frac{R_a}{n-1}} \qquad (8\text{–}22)$$

dengan: R_{sh} = hambatan shunt (paralel dengan ammeter),
R_a = hambatan dalam ammeter, dan
n = kelipatan batas ukur ammeter.

Contoh 8.15

Sebuah ammeter dengan hambatan dalam 1 Ω memiliki batas ukur 10 A. Agar batas ukur ammeter itu menjadi 50 A, tentukan besar hambatan shunt yang harus dipasang paralel dengan ammeter.

Jawab

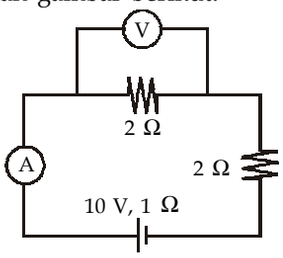
Diketahui: $R_a = 1\,\Omega$ dan kelipatan batas ukur n = 50A/10A = 5.
Besar hambatan *shunt* adalah

$$R_{sh} = \frac{R_a}{n-1} = \frac{1}{5-1} = 0{,}25\ \Omega$$

Soal Penguasaan *Materi* 8.5

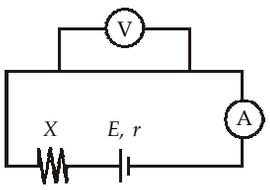
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebuah voltmeter yang hambatan dalamnya 100 Ω akan mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 0,01 A. Agar dapat digunakan untuk mengukur tegangan hingga 10 V, tentukan hambatan depan yang harus diberikan pada voltmeter.
2. Perhatikan gambar berikut.



Tentukanlah angka yang ditunjukkan oleh ammeter A dan voltmeter V. Anggap ammeter dan voltmeter keduanya ideal.

3. Voltmeter V memiliki hambatan dalam 1 kΩ dan ammeter A memiliki hambatan dalam 1 Ω. Kedua alat ini digunakan untuk mengukur hambatan X dengan menggunakan susunan rangkaian seperti pada gambar berikut ini.



Pada V terbaca 5 volt dan pada A terbaca 25 mA. Berapakah besar hambatan X?

F Pemanfaatan Energi Listrik dalam Kehidupan Sehari-Hari

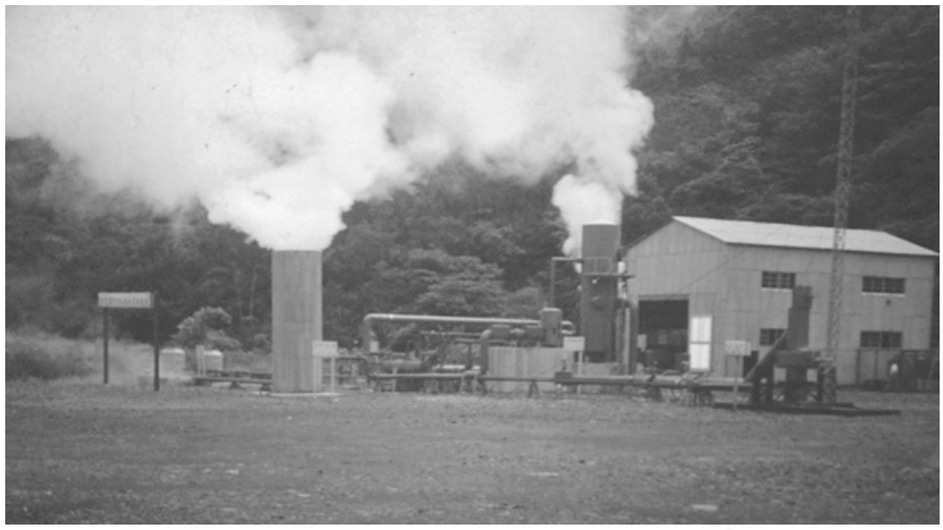
Energi listrik merupakan energi yang paling mudah untuk diubah menjadi energi lain. Oleh karena itu, energi ini paling banyak digunakan oleh manusia. Untuk keperluan rumah tangga, misalnya, dari mulai penerangan, memasak, menyeterika, dan mencuci menggunakan peralatan yang bersumber dari energi listrik. Untuk penerangan, misalnya, orang menggunakan lampu listrik. Untuk memasak, ibu-ibu akan merasa lebih praktis jika menggunakan penanak nasi elektrik (*rice cooker*) atau kompor listrik. Untuk menyetrika pakaian, digunakan setrika listrik. Untuk mencuci pakaian, digunakan mesin cuci.

Selain itu, untuk menyimpan daging, sayuran mentah, atau bahan makanan lain agar tahan lama, digunakan kulkas. Untuk mendapatkan air dingin, hangat, atau panas, digunakan *dispenser*. Untuk keperluan hiburan dan

informasi, digunakan radio, televisi, atau *tape recorder* yang tentu saja dinyalakan menggunakan energi listrik. Apakah telepon rumah atau telepon genggam (handphone) Andamenggunakan energi listrik?

Untuk menghasilkan suatu produk, pabrik-pabrik garmen banyak menggunakan energi listrik untuk menggerakkan mesin-mesin produksi. Untuk administrasi perkantoran, seperti komputer merupakan bagian yang tak terpisahkan sehingga energi listrik diperlukan di sini. Demikian pula di pusat-pusat bisnis lainnya, bahkan di sekolah Anda sekalipun. Pada intinya, banyak sekali di sekitar Anda peralatan-peralatan yang menggunakan energi listrik, baik yang berasal dari sumber DC maupun AC.

Di Indonesia, khususnya, masih banyak daerah-daerah yang belum tersentuh pemanfaatan energi listrik, terutama untuk penerangan. Oleh karena itu, ke depan, perlu dipikirkan sumber-sumber pembangkit energi listrik. Dewasa ini, sumber pembangkit energi listrik di Indonesia umumnya berasal dari bahan bakar minyak (BBM). BBM ini merupakan bahan bakar utama mesin pengerak generator. Selain BBM, sumber energi listrik lainnya dibangkitkan oleh air, yakni Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sebenarnya masih banyak potensi kekayaan alam Indonesia untuk dijadikan sumber energi listrik. Energi panas bumi, energi matahari, bahkan energi nuklir merupakan potensi yang perlu dikembangkan sebagai pembangkit energi listrik.



Gambar 8.20
Pemanfaatan energi listrik yang berasal dari pembangkit listrik tenaga panas Bumi.

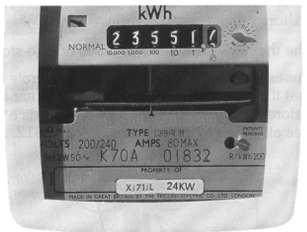
Sumber: *www.me.ntu.edu*

G Menghitung Biaya Sewa Energi Listrik

Di Indonesia, energi listrik dikelola oleh sebuah BUMN (Badan Usaha Milik Negara), yakni PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara). Masyarakat Indonesia, termasuk Anda tentunya, menggunakan energi listrik dari PT. PLN dengan menyewanya. Anda harus membayar biaya sewa energi listrik, atau lebih dikenal dengan sebutan rekening listrik, tiap bulan.

Bagaimana biaya sewa energi listrik dihitung? Biaya sewa energi listrik dihitung berdasarkan jumlah energi listrik yang digunakan dalam satuan kWh. Energi listrik itu sendiri dihitung berdasarkan persamaan $W = Pt$, dengan P dalam satuan watt dan t dalam satuan jam. Biaya sewa sama dengan jumlah energi listrik dalam kWh dikalikan dengan tarif 1 kWh. Sebagai contoh, jika tarif 1 kWh adalah Rp.150 dan total energi listrik yang digunakan dalam sebulan adalah 1200 kWh, biaya sewanya adalah 1.200 kWh × Rp.150/kWh = Rp.180.000.

Alat yang digunakan untuk mengukur energi dalam satuan kWh disebut kWh meter. Di rumah-rumah yang menyewa listrik, kWh meter umumnya dipasang pada dinding bagian depan rumah, dekat pintu masuk. Bentuk kWh meter seperti diperlihatkan pada **Gambar 8.21**.



Sumber: *Physics for You*, 2001

Gambar 8.21
Bentuk kWh-meter yang terpasang di rumah-rumah.

Contoh 8.16

Sebuah keluarga menggunakan 10 buah lampu 20 W yang dinyalakan rata-rata 10 jam per hari dan sebuah TV 60 W yang dinyalakan rata-rata 5 jam per hari. Jika tarif 1 kWh Rp150, berapakah biaya sewa yang harus dibayarkan ke PLN tiap bulan?

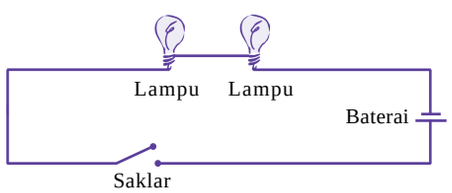
Jawab

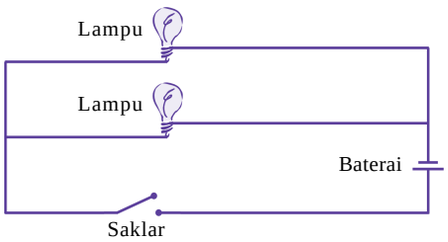
Diketahui: Energi yang dihabiskan lampu per hari
W_1 = 10 buah × 20 W × 10 jam = 2000 Wh = 2 kWh, dan
Energi yang dihabiskan TV per hari
W_2 = 1 buah × 60 W × 5 jam = 300 Wh = 0,3 kWh.

Energi total yang digunakan per hari adalah $W = W_1 + W_2$ = 2,3 kWh sehingga total energi dalam 1 bulan (@ 30 hari) rata-rata 30 × 2,3 kWh = 69 kWh.
Karena tarif 1 kWh adalah Rp.150, biaya sewa selama 1 bulan rata-rata adalah 69 kWh × Rp 150,00 = Rp.10.350,00.
Jadi, keluarga tersebut harus membayar sewa listrik ke PLN Rp10.350,00 tiap bulan.

Kerjakanlah

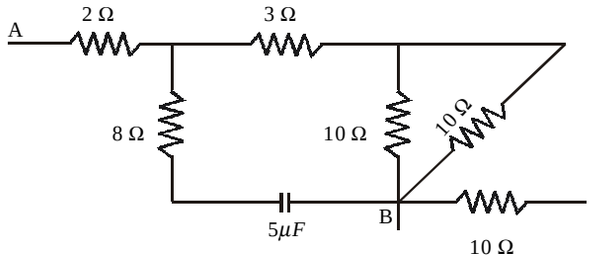
Sediakan 2 buah lampu, 1 buah baterai 1,5 Volt, sakelar, dan kabel panjang. Rangkaikan lampu tersebut secara seri dan paralel, seperti pada gambar berikut.





Amati cahaya yang ditimbulkan oleh lampu tersebut. Rangkaian manakah yang memberikan cahaya paling terang? Laporkan hasil kegiatan Anda kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

Pembahasan Soal *SPMB*

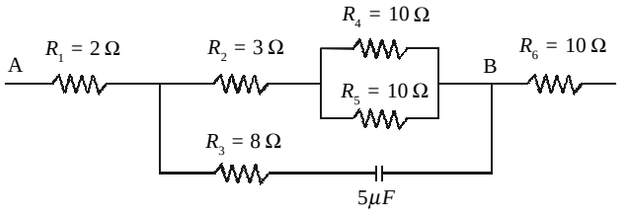


Besar hambatan pengganti antara titik A dan B adalah ....

a. 4 Ω
b. 6 Ω
c. 8 Ω
d. 10 Ω
e. 14 Ω

Penyelesaian

Rangkaian dapat disederhanakan sebagai berikut.



Kapasitor $5\mu F$ tidak dilalui arus searah sehingga resistor R_3 tidak perlu dihitung. Besarnya hambatan pengganti rangkaian paralel R_4 dan R_5 adalah

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{20}$$

$$R_p = 5\ \Omega$$

Hambatan pengganti antara titik A dan B adalah

$$R_T = R_1 + R_2 + R_p$$

$$= 2\ \Omega + 3\ \Omega + 5\ \Omega$$

$$= 10\ \Omega$$

Jawab: d

SPMB 2005

Rangkuman

1. **Kuat arus listrik** didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang mengalir pada suatu penghantar tiap satuan waktu.
2. Besarnya **kuat arus** yang mengalir dituliskan dalam persamaan

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

3. Untuk penghantar dari jenis yang sama, besar **hambatan** bergantung pada panjang dan luas penampangnya.
4. Jika hambatan dirangkai **seri**, besarnya hambatan, kuat arus listrik, dan tegangan pengganti adalah

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + ... + R_n$$

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + ... + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = ... = I_n$$

5. Jika hambatan dirangkai **paralel**, besarnya hambatan, kuat arus listrik, dan tegangan pengganti adalah

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n$$

$$I_p = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$$

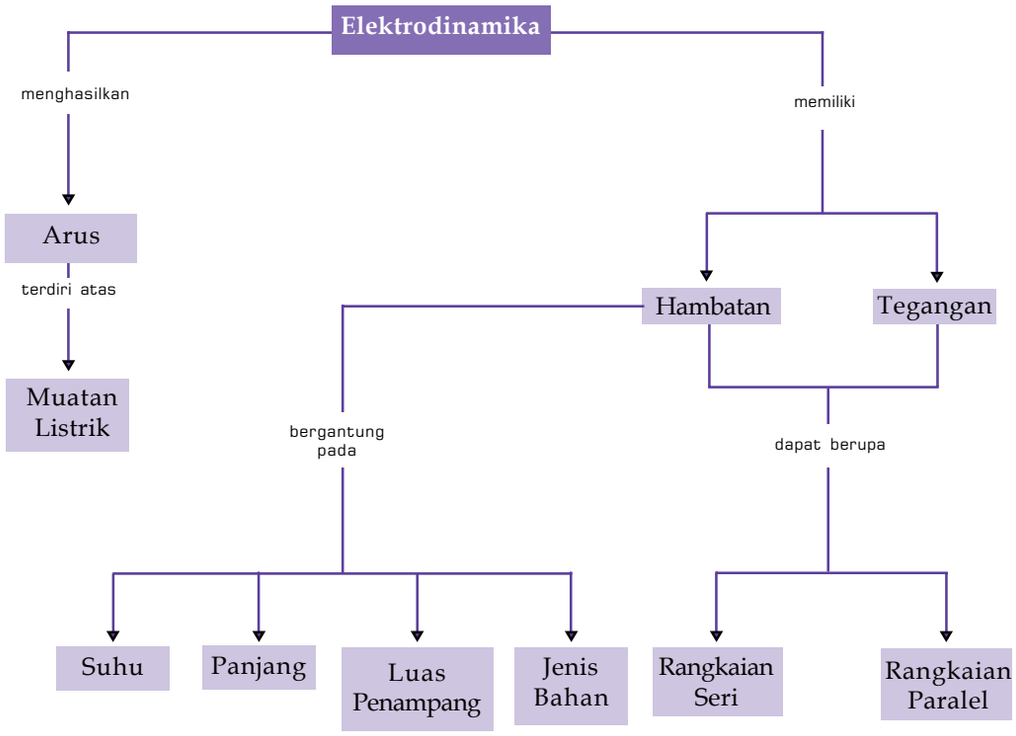
6. Alat ukur arus listrik adalah **amperemeter** dan alat ukur tegangan listrik adalah **voltmeter**.
7. **Hukum Pertama Kirchhoff** menyatakan bahwa jumlah arus yang menuju suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang meninggalkan titik cabang.

$$\sum I\ (\text{masuk}) = \sum I\ (\text{keluar})$$

8. **Hukum Kedua Kirchhoff** menyatakan bahwa dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik (E) sama dengan jumlah aljabar penurunan potensial listriknya.

$$\sum E = \sum IR$$

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Elektrodinamika, Anda dapat memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu *loop*), mengidentifikasikan penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, dan menggunakan alat ukur listrik. Jika Anda belum mampu memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu *loop*), mengidentifikasikan penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, dan menggunakan alat ukur listrik, Anda belum menguasai materi bab Elektrodinamika dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 8

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

1. Alat untuk mengukur kuat arus listrik yang benar adalah ....
   a. voltmeter
   b. amperemeter
   c. ohmmeter
   d. galvanometer
   e. osiloskop

2. Apabila suatu penghantar listrik mengalirkan arus 200 mA selama 5 sekon, muatan yang mengalir pada penghantar tersebut adalah ....
   a. 1 coulomb
   b. 5 coulomb
   c. 0,25 coulomb
   d. 50 coulomb
   e. 10 coulomb

3. Satuan kuat arus listrik adalah ...
   a. volt/sekon
   b. ohm meter
   c. joule/sekon
   d. ohm coulomb
   e. coulomb/sekon

4. Tiga buah hambatan masing-masing 3 ohm dirangkaikan secara seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan DC yang mengalirkan arus 1,2 A. Jika hambatan dalam sumber tegangan besarnya 1 ohm, besarnya tegangan jepit (GGL) adalah ....
   a. 6 volt
   b. 9 volt
   c. 12 volt
   d. 10,8 volt
   e. 12,8 volt

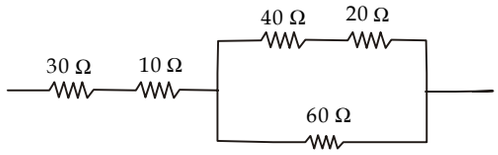
5. Sebuah resistor diberi beda potensial sebesar 50 volt dan arus yang mengalir pada resistor 120 mA. Supaya arus yang mengalir menjadi 0,6 A, beda potensial sumbernya adalah ....
   a. 100 V
   b. 150 V
   c. 250 V
   d. 300 V
   e. 400 V

6. Diketahui tiga buah hambatan masing-masing besarnya 12 ohm. Jika ketiga hambatan tersebut dirangkai dengan berbagai cara, hambatan pengganti yang tidak mungkin adalah ....
   a. 4 ohm
   b. 6 ohm
   c. 10 ohm
   d. 18 ohm
   e. 36 ohm

7. Empat buah baterai masing-masing 1,5 V dan memiliki hambatan dalam yang sama sebesar 0,25 ohm, disusun secara seri dan dihubungkan dengan resistor yang memiliki besar 5 ohm. Kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian adalah ....
   a. 0,25 A
   b. 0,5 A
   c. 0,75 A
   d. 1 A
   e. 1,5 A

8. Suatu penghantar yang panjangnya L dan luas penampangnya A, memiliki hambatan R. Jika penghantar yang sejenis dengan panjang $2L$ dan luas penampangnya 0,5A maka besarnya hambatan adalah ....
   a. 0,25 R
   b. 0,5 R
   c. R
   d. 2 R
   e. 4 R

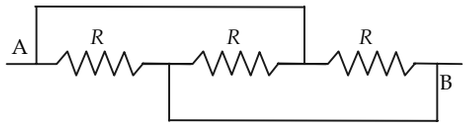
9. Perhatikan gambar berikut.



   Hambatan pengganti rangkaian tersebut adalah ....
   a. 30 ohm
   b. 40 ohm
   c. 60 ohm
   d. 70 ohm
   e. 160 ohm

10. Sebuah kawat konduktor yang panjangnya ℓ dan diameter d, memiliki hambatan listrik R. Jika diameternya dijadikan $d/4$ dengan volume tetap, hambatan listrik akan menjadi ....
    a. 4 R
    b. 16 R
    c. 64 R
    d. 256 R
    e. 128 R

11. Perhatikan gambar berikut.

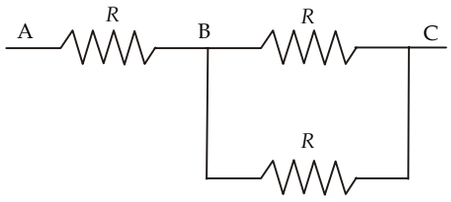


    Jika $R = 6\,\Omega$, besarnya hambatan pengganti antara A dan B adalah ....
    a. $2\,\Omega$
    b. $3\,\Omega$
    c. $6\,\Omega$
    d. $9\,\Omega$
    e. $12\,\Omega$

12. Jika $R = 2\,\Omega$, R_{AB} = ...
    a. $\frac{3}{2}\,\Omega$
    b. $\frac{2}{3}\,\Omega$
    c. $4\,\Omega$
    d. $12\,\Omega$
    e. $6\,\Omega$

13. Suatu sumber tegangan dengan hambatan dalam nol memiliki ggl ε =120 V dan dihubungkan secara seri dengan tiga buah hambatan, yakni $R_1 = 2\,\Omega$, $R_2 = 4\,\Omega$, dan $R_3 = 6\,\Omega$. Beda potensial pada ujung-ujung hambatan R_2 adalah ....
    a. 20 V
    b. 40 V
    c. 80 V
    d. 80 V
    e. 100 V

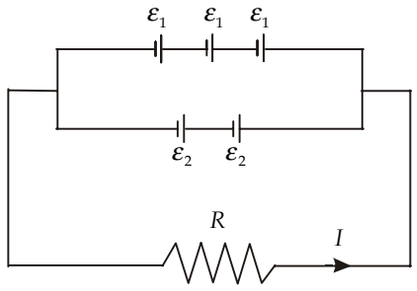
14. Perhatikan gambar berikut.



Jika V_{AC} = 120 volt, besarnya V_{AB} adalah ....
a. 40 V
b. 60 V
c. 80 V
d. 90 V
e. 120 V

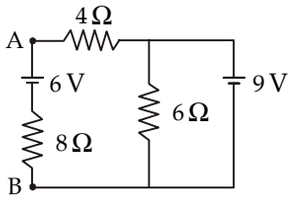
15. Tiga buah lampu pijar yang masing-masing dibuat untuk dipakai pada daya 15 W, 12 V, dirangkai secara paralel. Ujung-ujung rangkaian tersebut dihubungkan dengan jepitan sebuah akumulator yang memiliki GGL 12 V dan hambatan dalam 0,8 Ω. Besarnya arus listrik yang mengalir melalui akumulator tersebut besarnya adalah ....
a. 3,75 A
b. 3,00 A
c. 2,25 A
d. 1,50 A
e. 1,25 A

16. Perhatikan gambar berikut.



Jika diketahui besarnya ε_1 = 6 V, r_1 = 1 Ω, ε_2 = 9 V, r_2 =1,5 Ω, dan R = 7,5 Ω, arus I yang mengalir pada rangkaian adalah ....
a. 1 A
b. 2 A
c. 3 A
d. 4 A
e. 5 A

17. Perhatikan gambar berikut.



Kuat arus dan arah arus listrik pada hambatan 8 Ω adalah ....
a. 1,5 A dari A ke B
b. 1,25 A dari A ke B
c. 1,25 A dari B ke A
d. 0,25 A dari A ke B
e. 0,25 A dari B ke A

18. Jika tegangan PLN berkurang 50 %, daya lampu pijar yang sederhana akan berkurang ....
a. 25 %
b. 50 %
c. 60 %
d. 75 %
e. 100 %

19. Jika sebuah bola lampu berukuran 30 V 90 W akan dipasang pada sumber tegangan 120 V dengan daya tetap. Lampu tersebut harus dirangkaikan secara seri dengan hambatan ....
a. 10 Ω
b. 20 Ω
c. 30 Ω
d. 40 Ω
e. 50 Ω

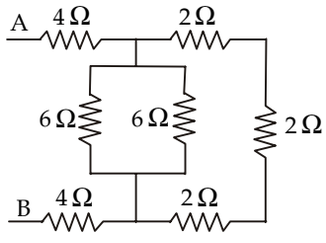
20. Sebuah bola lampu listrik bertuliskan 220 V, 50 W. Tulisan tersebut memiliki arti ....
a. dayanya selalu 50 W
b. tegangan minimum yang diperlukan untuk menyalakan lampu 220 V
c. hambatannya 484 Ω
d. diperlukan arus minimum $\frac{5}{22}$ A
e. mengeluarkan energi sebesar 50 joule dalam waktu 1 sekon jika dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

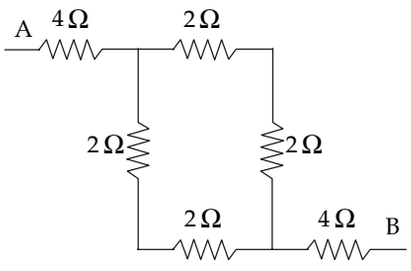
1. Sebuah kawat panjangnya 10 m, dengan luas penampang 2 mm², dan hambatan jenisnya $\frac{0{,}05 \text{ ohm mm}^2}{\text{m}}$. Tentukanlah hambatan kawat tersebut.

2. Tentukanlah hambatan total dari rangkaian berikut.

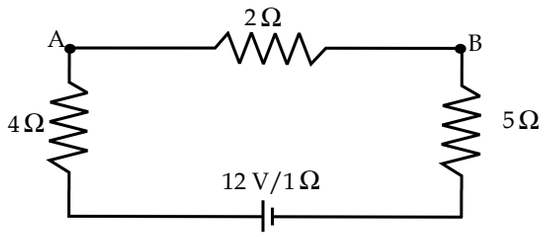
a.



b.

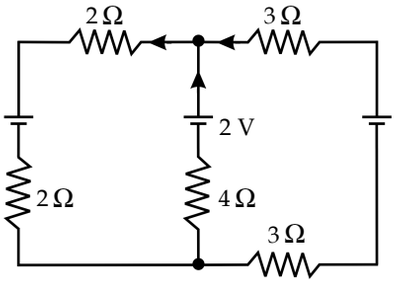


3. Tentukan besarnya kuat arus dan tegangan jepit AB.

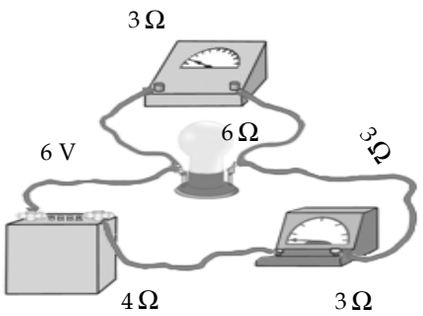


4. Tentukan daya pada hambatan 4 Ω.

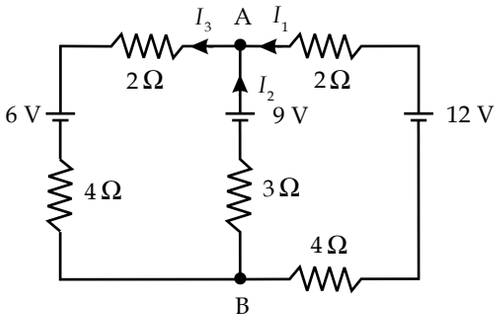
a.



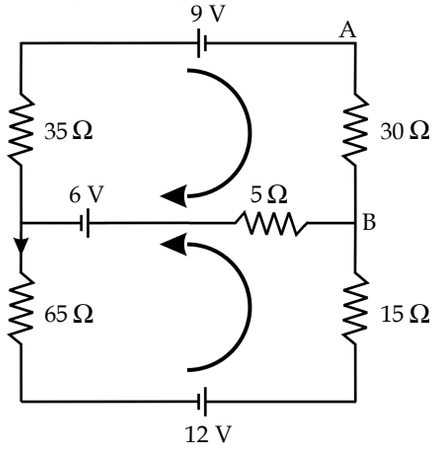
b.



5. Tentukan arus listrik I_1, I_2, dan I_3 yang melewati rangkaian berikut.

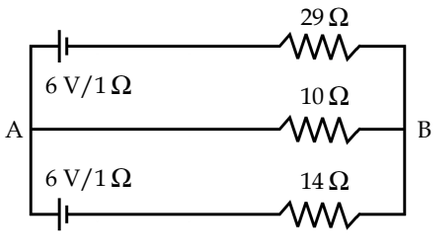


6. Perhatikan diagram rangkaian listrik berikut.

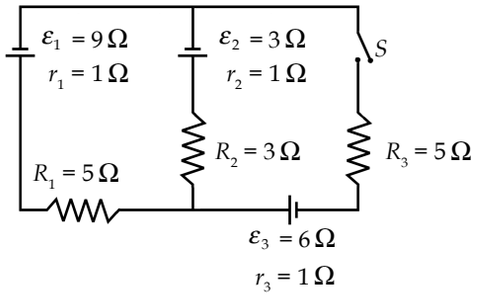


Hitunglah tegangan antara kedua ujung hambatan 30 Ω.

7. Dari rangkaian listrik tersebut tentukanlah beda potensial antara A dan B.



8. Jelaskan Hukum Pertama dan Kedua Kirchoff.
9. Sebutkan dan jelaskan aplikasi listrik dinamis dalam kehidupan sehari-hari.
10. Perhatikan rangkaian listrik berikut.



Jika sakelar S ditutup selama 10 menit, hitunglah energi yang timbul pada R_3.

Sumber: *www. rjautoworks.com*

Bab 9

Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami konsep dan prinsip gelombang elektromagnetik dengan cara mendeskripsikan spektrum gelombang elektromagnetik serta menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari.

Ketika Anda sedang mendengarkan acara di salah satu stasiun radio kesayangan Anda, pernahkah Anda berpikir bagaimana caranya suara yang keluar dari radio dapat Anda dengar dengan jelas? Gelombang yang diterima pada radio Anda adalah gelombang radio dan termasuk ke dalam gelombang elektromagnetik.

Selain gelombang radio, masih banyak lagi jenis gelombang yang termasuk ke dalam gelombang elektromagnetik. Teknologi komunikasi saat ini tidak dapat lepas dari peranan gelombang elektromagnetik. Pemakaian telepon selular (telepon genggam) sebagai sarana telekomunikasi menjadikan komunikasi lebih mudah dan efisien. Dalam komunikasi menggunakan telepon selular dan teknologi satelit yang menjadi pembawa informasi adalah gelombang elektromagnetik. Tahukah Anda apa yang dimaksud dengan gelombang elektromagnetik? Bagaimanakah gelombang elektromagnetik merambat? Dapatkah Anda menjelaskan sifat-sifatnya? Untuk lebih memahami materi mengenai gelombang elektromagnetik, pelajarilah bahasan-bahasan berikut ini.

A. Hipotesis Maxwell
B. Bukti Hipotesis Maxwell (Eksperimen Hertz)
C. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Soal *Pramateri*

1. Apa yang Anda ketahui tentang gelombang elektromagnetik?
2. Apa saja yang termasuk ke dalam spektrum gelombang elektromagnetik?

Jelajah Fisika

Panas dan Spektrum

Pada eksperimen ini, Herschel menguji kekuatan setiap warna yang ada di spektrum. Ia membelah cahaya dengan menggunakan prisma dan spektrum warna itu jatuh ke layar yang dibelah sedikit. Cahaya dari satu warna menerobos celah kecil itu dan jatuh pada sebuah termometer. Ia juga melakukan eksperimen untuk mengetahui apakah "cahaya yang tidak tampak", yaitu inframerah, dapat dibiaskan. Ternyata, cahaya inframerah tersebut memang dapat dibiaskan.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

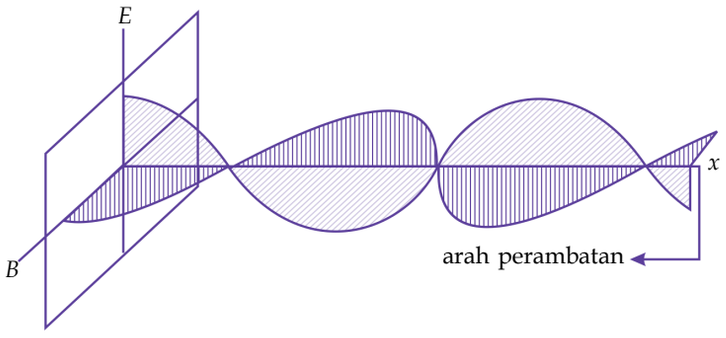
Dewasa ini, penggunaan gelombang elektromagnetik semakin luas. Sistem komunikasi radio, televisi, telepon genggam, dan radar merupakan beberapa contoh penggunaan gelombang elektromagnetik. Dunia terasa begitu kecil sehingga berbagai peristiwa yang terjadi di belahan bumi, tidak peduli jauhnya, dapat segera diketahui dan disebarluaskan melalui sarana yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik, bahkan dunia di luar bumi.

Berbeda dengan gelombang mekanik yang telah Anda pelajari, gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium untuk merambat. Pada bab ini, Anda akan mempelajari mengenai gelombang elektromagnetik, mulai dari terbentuknya, sifat-sifatnya, hingga jenis-jenis spektrumnya.

A Hipotesis Maxwell

Tahukah Anda, siapakah yang kali pertama mengemukakan teori gelombang elektromagnetik? Teori gelombang elektromagnetik kali pertama dikemukakan oleh **James Clerk Maxwell** (1831–1879). Ini berawal dari beberapa hukum dasar yang telah dipelajari, yakni Hukum Coulomb, Hukum Biot-Savart atau Hukum Ampere, dan Hukum Faraday. Hukum Coulomb memperlihatkan bagaimana muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik, Hukum Biot-Savart atau Hukum Ampere menjelaskan bagaimana arus listrik dapat menghasilkan medan magnet, dan Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan medan listrik dapat menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Maxwell melihat adanya keterkaitan yang sangat erat antara gejala kelistrikan dan kemagnetan. Ia mengemukakan bahwa jika perubahan medan magnetik menghasilkan medan listrik, seperti yang dikemukakan oleh hukum Faraday, dan hal sebaliknya dapat terjadi, yakni perubahan medan listrik dapat menimbulkan perubahan medan magnet.

Maxwell menurunkan beberapa persamaan yang berujung pada hipotesis-nya mengenai gelombang elektromagnetik. Persamaan tersebut dikenal sebagai Persamaan Maxwell, tetapi Anda tidak perlu menurunkan atau membahas secara mendalam persamaan tersebut. Menurut Maxwell, ketika terdapat perubahan medan listrik (E), akan terjadi perubahan medan magnetik (B). Perubahan medan magnetik ini akan menimbulkan kembali perubahan medan listrik dan seterusnya. Maxwell menemukan bahwa perubahan medan listrik dan perubahan medan magnetik ini menghasilkan gelombang medan listrik dan gelombang medan magnetik yang dapat merambat di ruang hampa. Gelombang medan listrik (E) dan medan magnetik (B) inilah yang kemudian dikenal dengan nama gelombang elektromagnetik.



Gambar 9.1
Medan listrik dan medan magnetik dalam gelombang elektromagnetik.

Perambatan gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada **Gambar 9.1**. Perhatikan bahwa arah getar dan arah rambat gelombang medan listrik dan medan magnetik saling tegak lurus sehingga gelombang elektromagnetik termasuk gelombang transversal. Akan tetapi, gelombang elektromagnetik

adalah gelombang medan dan bukan gelombang partikel, seperti pada air atau pada tali. Oleh karena gelombang medan inilah, gelombang elektromagnetik dapat merambat di ruang hampa.

Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik bergantung pada permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik medium. Maxwell menyatakan bahwa kecepatan gelombang elektromagnetik memenuhi persamaan

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \qquad (9\text{–}1)$$

dengan: ε = permitivitas listrik medium,
μ = permeabilitas magnetik medium di ruang hampa,
$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$, dan
$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ Ns^2/C^2$.
maka kecepatan gelombang elektromagnetik

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}} = \frac{1}{\sqrt{(8{,}85\times10^{-12})(4\pi\times10^{-7})}} = 3\times10^8\ \text{m/s}$$

Besar kecepatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa sama dengan kecepatan cahaya yang terukur.

Jangan Lupa

Kecepatan gelombang elektromagnetik yang besarnya 3×10^8 m/s hanya berlaku di ruang hampa.

Contoh 9.1

Gelombang elektromagnetik dalam suatu medium memiliki kelajuan $2{,}8 \times 10^8$ m/s. Jika permitivitas medium $12{,}76 \times 10^{-7}$ wb/Am, tentukanlah permeabilitas maksimumnya.

Jawab

Diketahui: $c = 2{,}8 \times 10^8$ m/s, dan
$\varepsilon = 12{,}76 \times 10^{-7}$ wb/Am.

Dengan menggunakan **Persamaan (9–3)**, diperoleh

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

$$\mu = \frac{1}{c^2\varepsilon}$$

$$= \frac{1}{(2{,}8\times10^8)(12{,}76\times10^{-7})}$$

$$= 2{,}7\times10^{-3}\ \text{wb/Am}$$

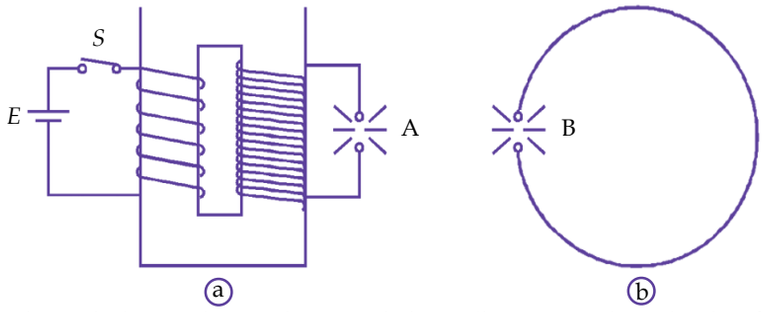
Kata Kunci

- Gelombang elektromagnetik
- Permitivitas
- Permeabilitas
- Medan magnet
- Medan listrik

B Bukti Hipotesis Maxwell (Eksperimen Hertz)

Anda telah mempelajari hipotesis Maxwell tentang gelombang elektromagnetik. Apakah Anda ingin mengetahui pembuktian dari hipotesis Maxwell tersebut? Pada subbab ini, Anda akan mempelajari tentang bukti hipotesis Maxwell melalui eksperimen yang dilakukan oleh **Heinrich Hertz**. Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa yang dihitung oleh Maxwell, memiliki besar yang sama dengan kecepatan perambatan cahaya. Berdasarkan hasil ini, Maxwell mengemukakan bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik. Gagasan ini secara umum diterima oleh para ilmuwan, tetapi tidak sepenuhnya hingga akhirnya gelombang elektromagnetik dapat dideteksi melalui eksperimen.

Gelombang elektromagnetik kali pertama dibangkitkan dan dideteksi melalui eksperimen yang dilakukan oleh **Heinrich Hertz** (1857–1894) pada tahun 1887, delapan tahun setelah kematian Maxwell. Hertz menggunakan peralatan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 9.2**.



Gambar 9.2
Bagan percobaan Hertz. Dengan menggetarkan pemutus arus, terjadi getaran listrik pada rangkaian sekunder yang nampak sebagai loncatan bunga api A. Pada kawat yang dilekukkan sampai ujung-ujungnya berdekatan tampak terlihat adanya loncatan bunga api B.

Ketika sakelar *S* digetarkan, induktor (kumparan) Ruhmkorf menginduksikan pulsa tegangan pada kumparan kedua yang terhubung pada dua buah elektrode bola. Akibatnya, muatan listrik loncat secara bolak-balik dari satu bola ke bola lainnya dan menimbulkan percikan. Ternyata, kedua elektrode bola pada cincin kawat di sebelahnya juga menampakkan percikan. Ini menunjukkan bahwa energi gelombang yang dihasilkan oleh gerak bolak-balik muatan pada kedua elektrode pertama telah berpindah kepada elektrode kedua pada cincin kawat. Gelombang ini kemudian diukur kecepatannya dan tepat sama dengan hasil perhitungan Maxwell, yakni 3×10^8 m/s. Selain itu, gelombang ini juga menunjukkan semua sifat cahaya seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Hasil eksperimen Hertz ini merupakan pembuktian dari teori Maxwell.

Sifat-sifat gelombang elektromagnetik yang didasarkan dari eksperimen, yaitu sebagai berikut.

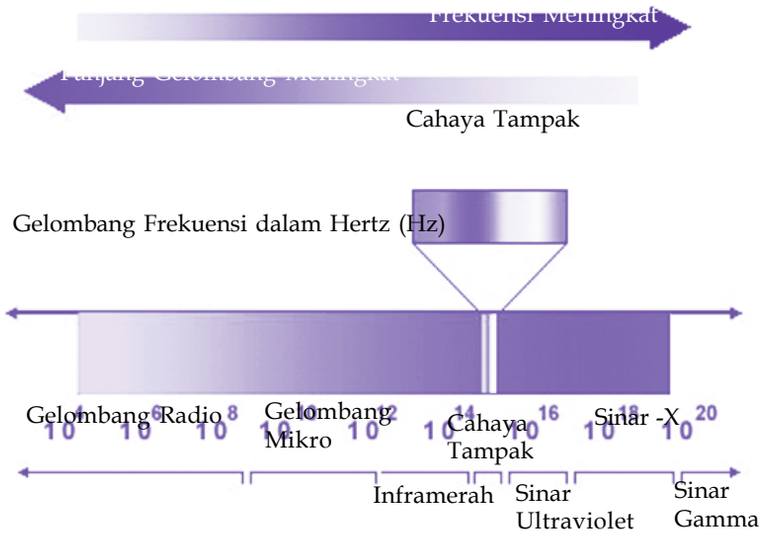
1. Merupakan perambatan getaran medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus terhadap arah rambatnya dan termasuk gelombang transversal,
2. Tidak bermuatan listrik sehingga tidak dipengaruhi atau tidak dibelokkan oleh medan listrik atau medan magnet,
3. Tidak bermassa dan tidak dipengaruhi medan gravitasi,
4. Merambat dalam lintasan garis lurus,
5. Dapat merambat di ruang hampa,
6. Dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, serta polarisasi, dan
7. Kecepatannya di ruang hampa sebesar 3×10^8 m/s.

C Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Jauh sebelum Maxwell meramalkan gelombang elektromagnetik, cahaya telah dipandang sebagai gelombang. Akan tetapi, tidak seorang pun tahu jenis gelombang apakah cahaya itu. Baru setelah adanya hasil perhitungan Maxwell tentang kecepatan gelombang elektromagnetik dan bukti eksperimen oleh Hertz, cahaya dikategorikan sebagai gelombang elektromagnetik.

Tidak hanya cahaya yang termasuk gelombang elektromagnetik melainkan masih banyak lagi jenis-jenis yang termasuk gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik telah dibangkitkan atau dideteksi pada jangkauan frekuensi yang lebar. Jika diurut dari frekuensi terbesar hingga frekuensi terkecil, yaitu sinar gamma, sinar-X, sinar

ultraviolet, sinar tampak (cahaya), sinar inframerah, gelombang mikro (radar), gelombang televisi, dan gelombang radio. Gelombang-gelombang ini disebut spektrum gelombang elektromagnetik. Jangkauan frekuensi spektrum gelombang elektromagnetik ditunjukkan pada **Gambar 9.3**.



Sumber: *http://en.wikipedia.org*

Gambar 9.3
Spektrum gelombang elektromagnetik.

1. Sinar Gamma

Sinar gamma merupakan salah satu spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi paling besar atau panjang gelombang terkecil. Frekuensi yang dimiliki sinar gamma berada dalam rentang 10^{20} Hz sampai 10^{25} Hz. Sinar gamma dihasilkan dari peristiwa peluruhan inti radioaktif. Inti atom unsur yang tidak stabil meluruh menjadi inti atom unsur lain yang stabil dengan memancarkan sinar radioaktif, di antaranya sinar alfa, sinar beta, dan sinar gamma. Di antara ketiga sinar radioaktif ini, yang termasuk gelombang elektromagnetik adalah sinar gamma. Sementara dua lainnya merupakan berkas partikel bermuatan listrik. Jika dibandingkan dengan sinar alfa dan sinar beta, sinar gamma memiliki daya tembus yang paling tinggi sehingga dapat menembus pelat logam hingga beberapa sentimeter.

Sekarang, sinar gamma banyak dimanfaatkan dalam bidang kedokteran, diantaranya untuk mengobati penyakit kanker dan mensterilkan peralatan rumah sakit. Selain itu, sinar gamma dapat digunakan untuk melihat kerusakan pada logam.

Jelajah Fisika

Sinar Kosmik

Pancaran yang mengandung energi terbesar yang ada adalah sinar kosmik. Sinar ini berisi partikel-partikel renik inti atom serta beberapa elektron dan sinar gamma. Radiasi kosmik membom atmosfer bumi dari tempat-tempat yang jauh dari ruang angkasa.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

2. Sinar-X

Sinar-X, dikenal juga sebagai sinar Röntgen. Nama ini diambil dari penemunya, yaitu **Wilhelm C. Röntgen** (1845 – 1923). Sinar-X dihasilkan dari peristiwa tumbukan antara elektron yang dipercepat pada beda potensial tertentu. Sinar-X digunakan dalam bidang kedokteran, seperti untuk melihat struktur tulang yang terdapat dalam tubuh manusia. Jika Anda pernah mengalami patah tulang, sinar ini dapat membantu dalam mencari bagian tulang yang patah tersebut. Hasil dari sinar ini berupa sebuah film foto yang dapat menembus hingga pada bagian tubuh yang paling dalam.

Orang yang sering merokok dengan yang tidak merokok akan terlihat bedanya dengan cara menyinari bagian tubuh, yaitu paru-paru. Paru-paru orang yang merokok terlihat bercak-bercak berwarna hitam, sedangkan pada normalnya paru-paru manusia cenderung utuh tanpa bercak.

Sumber: *www.fysioweb.nl*

Gambar 9.4
Contoh hasil röntgen tulang manusia.

Kata Kunci

- Gelombang mikro
- Gelombang radio
- Sinar gamma
- Sinar inframerah
- Sinar ultraviolet
- Sinar-X
- Spektrum gelombang elektromagnetik

Jelajah Fisika

Penemuan Ultraviolet

Pada 1801, **Wilhelm Ritter** (1776–1800) menyelidiki energi cahaya dari bagian-bagian spektrum yang berbeda. Untuk itu, ia menggunakan potongan-potongan kertas yang dicelupkan ke dalam larutan nitrat perak. Jika cahaya jatuh pada nitrat perak, terjadilah reaksi kimia yang menghasilkan butiran-butiran perak kecil. Butiran-butiran tersebut berwarna hitam sehingga menyebabkan nitrat perak berubah warna menjadi gelap.

Sumber: *Jendela Iptek*, 1997

Loncatan Kuantum

Sinar gamma adalah gelombang pendek yang memiliki frekuensi yang tinggi. Sinar ini dapat membunuh sel dan dapat digunakan untuk mensterilkan peralatan medis dengan membunuh kuman yang terdapat di dalamnya.

Quantum Leap

Gamma rays are short, high-frequency waves. They can kill living cells and are used to sterilize medical equipment by destroying any germs on them.

Sumber: *Science Encylopedia*, 2000

3. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet dihasilkan dari radiasi sinar Matahari. Selain itu, dapat juga dihasilkan dari transisi elektron dalam orbit atom. Jangkauan frekuensi sinar ultraviolet, yaitu berkisar diantara 10^5 hertz sampai dengan 10^{16} hertz. Sinar ultraviolet dapat berguna dan dapat juga berbahaya bagi kehidupan manusia. Sinar ultraviolet dapat dimanfaatkan untuk mencegah agar bayi yang baru lahir tidak kuning warna kulitnya. Selain itu, sinar ultraviolet yang berasal dari Matahari dapat merangsang tubuh manusia untuk memproduksi vitamin D yang diperlukan untuk kesehatan tulang.

Sinar ultraviolet tidak selamanya bermanfaat. Lapisan ozon di atmosfer Bumi (pada lapisan atmosfer) berfungsi untuk mencegah supaya sinar ultraviolet tidak terlalu banyak sampai ke permukaan Bumi. Jika hal tersebut terjadi, akan menimbulkan berbagai penyakit pada manusia, terutama pada kulit. Sekarang, lapisan ozon telah berlubang-lubang sehingga banyak sinar ultraviolet yang tertahan untuk sampai ke permukaan Bumi. Berlubangnya lapisan ozon, di antaranya diakibatkan oleh penggunaan CFC (*clorofluoro carbon*) yang berlebihan, yang dihasilkan oleh kulkas atau mesin pengondisi udara (AC). Hal ini tentu saja dapat mengancam kehidupan makhluk hidup di Bumi. Oleh karena itu, diharapkan untuk mengurangi jumlah pemakaian yang menggunakan bahan CFC, seperti sekarang telah banyak mesin pendingin non CFC.

4. Sinar Tampak

Sinar tampak atau cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat dan sangat membantu dalam penglihatan. Anda tidak akan dapat melihat apapun tanpa bantuan cahaya. Sinar tampak memiliki jangkauan panjang gelombang yang sempit, mulai dari 400 nm sampai dengan 700 nm. Sinar tampak terdiri atas tujuh spektrum warna, jika diurutkan dari frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu (disingkat mejikuhibiniu).

Sinar tampak atau cahaya digunakan sebagai penerangan ketika di malam hari atau ditempat yang gelap. Selain sebagai penerangan, sinar tampak digunakan juga pada tempat-tempat hiburan, rumah sakit, industri, dan telekomunikasi.

5. Sinar Inframerah

Sinar inframerah memiliki jangkauan frekuensi antara 10^{11} hertz sampai 10^{14} hertz. Sinar inframerah dihasilkan dari transisi elektron dalam orbit atom. Benda yang memiliki temperatur yang lebih relatif terhadap lingkungannya akan meradiasikan sinar inframerah, termasuk dari dalam tubuh manusia. Sinar ini dimanfaatkan, di antaranya untuk pengindraan jarak jauh, transfer data ke komputer, dan pengendali jarak jauh (*remote control*).

Seorang tentara yang sedang berperang dapat melihat musuhnya dalam kegelapan dengan bantuan kacamata inframerah yang dapat melihat hawa panas dari seseorang. Dengan menggunakan kacamata ini dengan sangat mudah seseorang dapat ditemukan dalam ruangan gelap. Sinar inframerah dapat digunakan juga dalam bidang kedokteran, seperti diagnosa kesehatan.

Sirkulasi darah dalam tubuh Anda dapat terlihat dengan menggunakan bantuan sinar inframerah. Selain itu, penyakit seperti kanker dapat dideteksi dengan menyelidiki pancaran sinar inframerah dalam tubuh Anda.

6. Gelombang Mikro

Gelombang mikro dihasilkan oleh rangkaian elektronik yang disebut osilator. Frekuensi gelombang mikro sekitar 10^{10} Hz. Gelombang mikro disebut juga sebagai gelombang radio *super high frequency*. Gelombang mikro digunakan, di antaranya

untuk komunikasi jarak jauh, radar (*radio detection and ranging*), dan memasak (oven). Di pangkalan udara, radar digunakan untuk mendeteksi dan memandu pesawat terbang untuk mendarat dalam keadaan cuaca buruk. Antena radar memiliki dua fungsi, yaitu sebagai pemancar gelombang dan penerima gelombang. Gelombang mikro yang dipancarkan dilakukan secara terarah dalam bentuk pulsa. Ketika pulsa dipancarkan dan mengenai suatu benda, seperti pesawat atau roket pulsa akan dipantulkan dan diterima oleh antena penerima, biasanya ditampilkan dalam osiloskop. Jika diketahui selang waktu antara pulsa yang dipancarkan dengan pulsa yang diterima Δt dan kecepatan gelombang elektromagnetik $c = 3 \times 10^8$ m/s, jarak antara radar dan benda yang dituju (pesawat atau roket), dapat dituliskan dalam persamaan berikut

$$s = \frac{c \times \Delta t}{2} \qquad (9\text{–}2)$$

dengan: s = jarak antara radar dan benda yang dituju (m),
c = kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s), dan
Δt = selang waktu (s).

Angka 2 yang terdapat pada **Persamaan (9–2)** muncul karena pulsa melakukan dua kali perjalanan, yaitu saat dipancarkan dan saat diterima. Saat ini radar sangat membantu dalam pendaratan pesawat terbang ketika terjadi cuaca buruk atau terjadi badai. Radar dapat berguna juga dalam mendeteksi adanya pesawat terbang atau benda asing yang terbang memasuki suatu wilayah tertentu.

Solusi Cerdas

Gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang terpendek adalah ....
a. sinar gamma
b. gelombang radio
c. sinar inframerah
d. sinar-X
e. sinar ultraungu

Penyelesaian
Urutan panjang gelombang spektrum gelombang elektro magnetik dari terpendek ke terpanjang, yaitu sebagai berikut:

Sinar gamma – sinar-x – sinar ultraviolet – cahaya tampak – sinar inframerah – gelombang mikro – gelombang televisi – gelombang radio.

Jawab: a

UAN 2002

7. Gelombang Radio

Mungkin Anda sudah tahu atau pernah mendengar gelombang ini. Gelombang radio banyak digunakan, terutama dalam bidang telekomunikasi, seperti handphone, televisi, dan radio. Di antara spektrum gelombang elektromagnetik, gelombang radio termasuk ke dalam spektrum yang memiliki panjang gelombang terbesar dan memiliki frekuensi paling kecil.

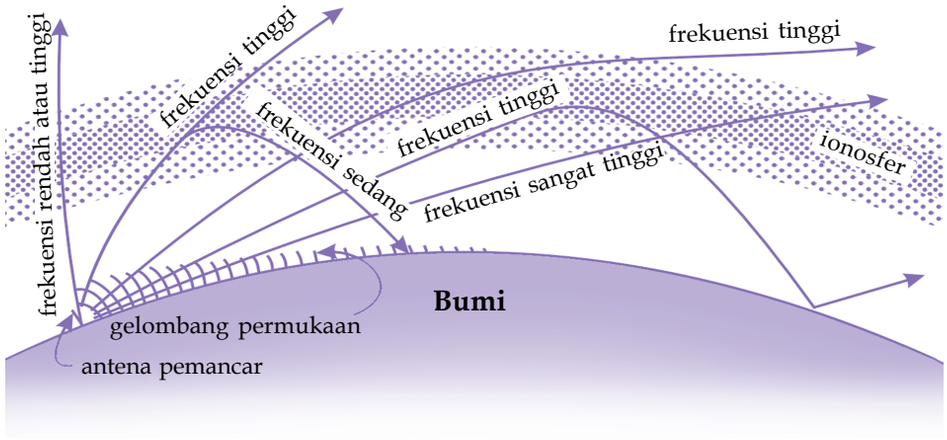
Gelombang radio dihasilkan oleh elektron pada kawat penghantar yang menimbulkan arus bolak-balik pada kawat. Kenyataannya arus bolak-balik yang terdapat pada kawat ini, dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik. Gelombang radio ini dipancarkan dari antena pemancar (*transmitter*) dan diterima oleh antena penerima (*receiver*). Jika dibedakan berdasarkan frekuensinya, gelombang radio dibagi menjadi beberapa band frekuensi. Nama-nama band frekuensi beserta kegunaannya dapat Anda lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 9.1 Rentang Frekuensi Gelombang Radio

No	Nama Band	Singkatan	Frekuensi	Panjang Gelombang	Contoh Penggunaan
1.	Extremely Low Frequency	ELF	(3 – 30) Hz	(10^5 – 10^4) km	Komunikasi dengan bawah laut
2.	Super Low Frequency	SLF	(30 – 300) Hz	(10^4 – 10^3) km	Komunikasi dengan bawah laut
3.	Ultra Low Frequency	ULF	(300 – 3000) Hz	(10^3 – 10^2) km	Komunikasi di dalam pertambangan
4.	Very Low Frequency	VLF	(3 – 30) KHz	(10^2 – 10^4) km	Komunikasi di bawah laut
5.	Low Frequency	LF	(30 – 300) KHz	(10 – 1) km	Navigasi
6.	Medium Frequency	MF	(300 – 3000) KHz	(1 – 10^{-1}) km	Siaran radio AM
7.	High Frequency	HF	(3 – 30) MHz	(10^{-1} – 10^{-2}) km	Radio amatir
8.	Very High Frequency	VHF	(30 – 300) MHz	(10^{-2} – 10^{-3}) km	Siaran radio FM dan televisi
9.	Ultra High Frequency	UHF	(300 – 3000) MHz	(10^{-3} – 10^{-4}) km	Televisi dan *handphone*
10.	Super High Frequency	SHF	(3 – 30) GHz	(10^{-4} – 10^{-5}) km	Wireless LAN
11.	Extremely High Frequency	EHF	(30 – 300) GHz	(10^{-5} – 10^{-6}) km	Radio astronomi

Sumber: *www.en.wikipedia.org*

Jika dilihat dari perambatannya, gelombang radio yang dipancarkan oleh antena pemancar sebagian dipantulkan oleh lapisan ionosfer dan sebagian lagi diteruskan. Pada **Gambar 9.5** berikut, menunjukkan perambatan gelombang radio frekuensi sedang dan frekuensi tinggi yang digunakan untuk siaran radio AM (*amplitudo modulation*) dan FM (*frequency modulation*) serta televisi.



Gambar 9.5
Pancaran gelombang radio yang diteruskan dan dipantulkan oleh ionosfer.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa frekuensi tinggi jangkauannya relatif lebih sempit jika dibandingkan dengan frekuensi sedang. Hal ini dapat terlihat bahwa frekuensi tinggi kebanyakan tidak dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Dari penjelasan ini, Anda dapat mengetahui mengapa siaran radio FM hanya dapat didengar pada daerah tertentu. Ketika Anda berpindah ke tempat atau daerah lainnya nama stasiun radionya sudah berubah dan disesuaikan dengan daerahnya masing-masing. Berbeda halnya dengan radio AM, Jika Anda pergi dari tempat tinggal Anda ke tempat atau daerah lainnya, stasiun radionya masih tetap ada. Hal ini disebabkan oleh jangkauan frekuensi sedang lebih luas jika dibandingkan dengan jangkauan frekuensi tinggi.

Kerjakanlah

Apakah Anda pernah mendengar atau mengetahui istilah GSM (*Global System of Mobile Communication*) dan CDMA (*Code Division Multiple Acces*) dalam bidang telekomunikasi, khususnya telekomunikasi selular? Carilah informasi tentang kedua hal tersebut melalui buku, majalah, atau internet. Buatlah laporan tertulisnya dan laporkan kepada guru Fisika Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 9.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tuliskan Sifat-sifat gelombang elektromagnetik.
2. Dapatkah gelombang elektromagnetik merambat di ruang hampa udara? Jelaskan alasannya.
3. Pada gelombang air, partikel yang dilalui gelombang akan bergerak naik-turun secara periodik. Apakah ini terjadi pada medium yang dilalui gelombang elektromagnetik? Mengapa?
4. Mana yang lebih besar frekuensinya, sinar merah atau inframerah? Jelaskan.
5. Ketika Anda mengunakan telepon genggam (*hand-phone*), jenis gelombang apakah yang Anda dengar?
6. Apakah laser termasuk gelombang elektromagnetik?
7. Tuliskan manfaat dan bahaya sinar ultraviolet.

Kerjakanlah

Buatlah sebuah portofolio yang membahas tentang kejadian-kejadian di kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan gelombang elektromagnetik atau peranan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan, seperti dalam bidang teknologi informasi dan telekomunikasi. Kumpulkan portofolio yang Anda buat kepada guru Anda dan presentasikan di depan kelas.

Pembahasan Soal *SPMB*

Sinar–X jika dilewatkan ke medan listrik tidak akan membelok.

sebab

Sinar-X memiliki daya tembus besar.

Penyelesaian

Sinar-X termasuk ke dalam spektrum gelombang elektromagnetik. Salah satu sifat gelombang elektromagnetik adalah tidak dibelokkan oleh medan listrik dan medan magnet.

Sinar-X memiliki frekuensi yang tinggi setelah sinar gamma sehingga sinar-X memiliki daya tembus yang besar.

Pernyataan dan alasan benar, tetapi tidak berhubungan.

Jawab: d

UMPTN 1995

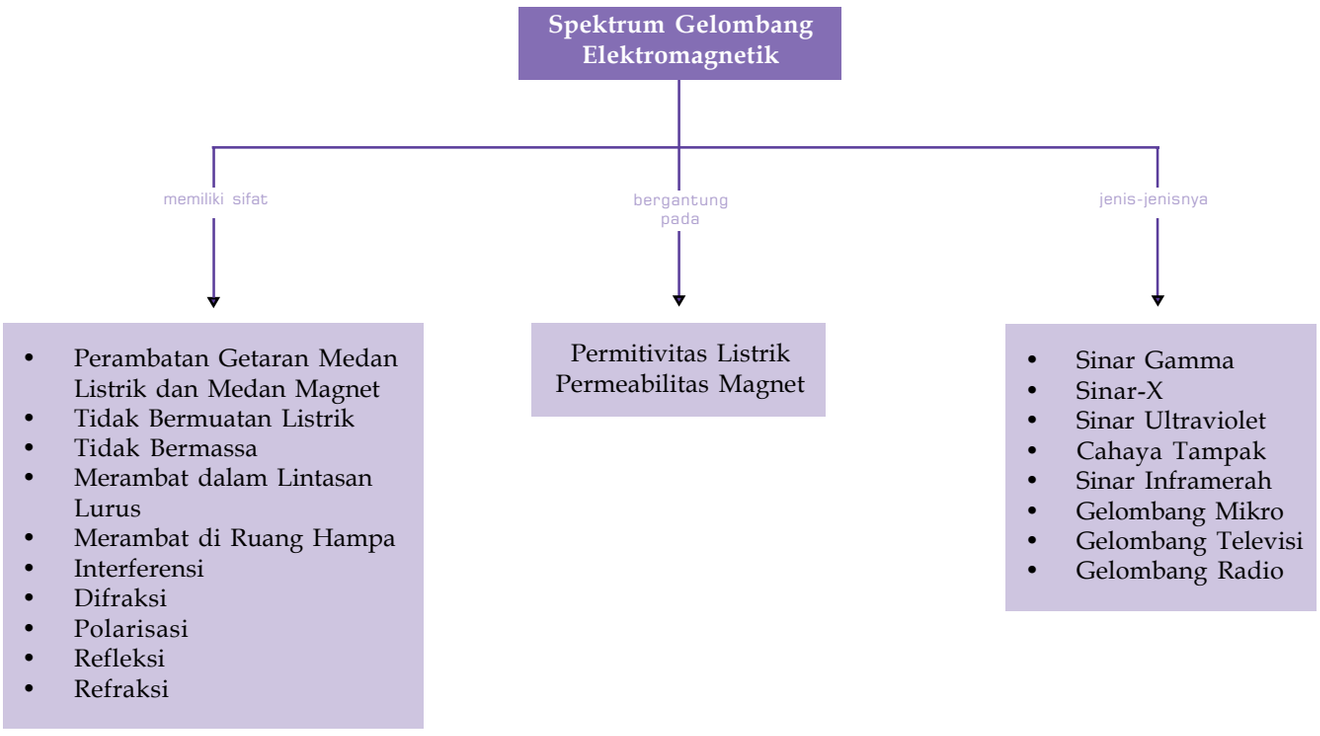
Rangkuman

1. **Gelombang elektromagnetik** termasuk gelombang transversal yang dapat merambat di ruang hampa.
2. Dalam perambatannya, kecepatan gelombang elektromagnetik bergantung pada **permitivitas listrik** (ε_0) dan permeabilitas magnetik (μ_0) dalam medium

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

3. Gelombang elektromagnetik memiliki sifat-sifat:
   a. tidak bermuatan listrik,
   b. tidak bermassa,
   c. merambat dalam lintasan lurus,
   d. dapat merambat di ruang hampa,
   e. dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, dan polarisasi, dan
   f. kecepatan di ruang hampa sebesar 3×10^8 m/s.
4. Spektrum gelombang elektromagnetik dibedakan berdasarkan **frekuensi** dan **panjang gelombang**.
5. **Jenis-jenis spektrum gelombang elektromagnetik**:
   a. sinar gamma,
   b. sinar-X,
   c. sinar ultraviolet,
   d. cahaya tampak,
   e. sinar inframerah,
   f. gelombang mikro,
   g. gelombang televisi, dan
   h. gelombang radio.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Spektrum Gelombang Elektromagnetik, Anda diharapkan dapat mendeskripsikan spektrum gelombang elektromagnetik dan menjelaskan aplikasi serta peranan gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari. Jika Anda belum mampu mendeskripsikan spektrum gelombang elektromagnetik serta menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari, Anda belum menguasai materi bab Spektrum Gelombang Elektromagnetik dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.

Evaluasi Materi Bab 9

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

1. Tabel berikut menunjukkan perbedaan antara gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanik.

No	Gelombang Elektromagnetik	Gelombang Mekanik
(1)	Tidak memerlukan medium	Memerlukan medium
(2)	Termasuk gelombang transversal	Termasuk gelombang longitudinal
(3)	Kecepatannya di ruang hampa 3×10^8 m/s	Kecepatannya di vakum nol
(4)	Dapat mengalami polarisasi	Tidak dapat mengalami polarisasi

Pernyataan di atas yang benar adalah ….
a. (1), (2), dan (3)
b. (1) dan (3)
c. (2) dan (4)
d. (4)
e. (1) , (2), (3), dan (4)

2. Sifat-sifat berikut
(1) berasal dari perubahan medan listrik dan medan magnet secara periodik
(2) memerlukan medium untuk merambat
(3) memiliki kecepatan rambat 3×10^8 m/s di ruang hampa
(4) merupakan gelombang longitudinal
yang merupakan sifat-sifat gelombang elektromagnetik adalah ….
a. (1), (2), dan (3)
b. (1) dan (3)
c. (2) dan (4)
d. (4)
e. (1), (2), (3), (4)

3. Urutan gelombang elektromagnetik berikut dengan frekuensi menurun adalah ….
a. sinar-X, sinar inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio
b. sinar inframerah, sinar-X, gelombang mikro, dan gelombang radio
c. sinar-X, gelombang mikro, sinar inframerah, dan gelombang radio
d. sinar-X, gelombang radio, sinar inframerah, dan gelombang mikro
e. gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, dan sinar-X

4. Gelombang elektromagnetik yang dapat dihasilkan oleh tumbukan antara elektron dan anode dalam tabung sinar katode adalah ….
a. sinar-X
b. sinar ultraviolet
c. sinar gamma
d. sinar inframerah
e. sinar tampak

5. Spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang semakin kecil adalah ....
a. sinar tampak, gelombang mikro, gelombang televisi, dan gelombang radio
b. sinar tampak, gelombang televisi, gelombang mikro, dan gelombang radio
c. gelombang mikro, sinar tampak, gelombang televisi, dan gelombang radio
d. gelombang radio, gelombang televisi, sinar tampak, dan gelombang mikro
e. gelombang radio, gelombang televisi, gelombang mikro, dan sinar tampak

6. Pernyataan berikut ini yang sesuai dengan Hipotesis Maxwell adalah ....
a. gelombang elektromagnetik adalah bagian dari cahaya
b. gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal
c. gelombang elektromagnetik adalah gelombang longitudinal
d. gelombang elektromagnetik dapat dipolarisasikan
e. gelombang elektromagnetik memiliki medan listrik dan medan magnet

7. Pernyataan tentang elektromagnetik berikut ini yang benar adalah ....
a. kecepatan gelombang radio sama besar dengan kecepatan cahaya di ruang hampa
b. frekuensi sinar inframerah sama dengan frekuensi cahaya merah
c. panjang gelombang sinar ultraviolet lebih besar daripada panjang gelombang cahaya biru
d. frekuensi gelombang radar lebih besar daripada frekuensi sinar-X
e. panjang gelombang cahaya kuning lebih besar daripada panjang gelombang sinar inframerah

8. Kelompok warna cahaya berikut ini yang panjang gelombangnya makin kecil secara berurutan adalah ....
a. biru-hijau-kuning-merah
b. biru- kuning-hijau-merah
c. merah-biru-hijau-kuning
d. merah-kuning-hijau-biru
e. merah-hijau-kuning-biru

9. Pernyataan tentang gelombang elektromagnetik berikut ini yang tidak benar adalah ....
a. gelombang elektromagnetik dapat dipolarisasikan
b. gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal

c. gelombang elektromagnetik adalah gelombang longitudinal
d. gelombang elektromagnetik dapat merambat di ruang hampa
e. gelombang elektromagnetik dapat didifraksikan

10. Pernyataan tentang gelombang radio berikut ini yang tidak benar adalah ....
a. merupakan gelombang transversal
b. kecepatan di ruang hampa = 3×10^8 m/s
c. frekuensinya lebih rendah daripada frekuensi gelombang mikro
d. panjang gelombangnya lebih kecil daripada inframerah
e. dipantulkan oleh lapisan ionosfer

11. Kelompok gelombang elektromagnetik berikut ini yang frekuensinya lebih besar daripada frekuensi sinar hijau adalah ....
a. gelombang radio, gelombang TV, sinar inframerah.
b. sinar-X, sinar ultraviolet, sinar gamma
c. sinar inframerah, sinar ultraviolet
d. cahaya tampak, sinar-X, sinar gamma
e. inframerah, sinar tampak, sinar ultraviolet

12. Pernyataan tentang sinar-X yang benar adalah ....
a. panjang gelombangnya lebih pendek daripada ultraviolet
b. daya tembusnya sangat rendah
c. frekuensinya lebih kecil daripada cahaya tampak
d. tidak dapat dipolarisasikan
e. tidak dapat dibiaskan

13. Di antara nama-nama gelombang elektromagnetik berikut, yang memiliki frekuensi terkecil adalah ....
a. sinar ultraviolet
b. sinar gamma
c. sinar ungu
d. sinar-X
e. sinar inframerah

14. Sinar gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi terbesar adalah ....
a. sinar γ
b. sinar inframerah
c. sinar α
d. sinar β
e. sinar ultraviolet

15. Dari spektrum gelombang elektromagnetik, urutan cahaya tampak yang memiliki panjang gelombang terbesar adalah ....
a. sinar merah
b. biru
c. ungu
d. kuning
e. hijau

16. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang ....
a. gelombang longitudinal
b. gelombang transversal
c. gelombang suara
d. gelombang bunyi
e. gelombang tekan

17. Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik bergantung pada ....
a. frekuensi gelombang
b. panjang gelombang
c. frekuensi dan panjang gelombang
d. permitivitas dan permeabilitas medium
e. semua jawaban di atas salah

18. 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

19. Berikut ini adalah sifat gelombang elektromagnetik.
(1) merambat lurus
(2) merupakan medan listrik dan medan magnet
(3) merupakan gelombang longitudinal
(4) merupakan gelombang transversal
Pernyataan yang benar adalah ....
a. (1), (2), dan (3)
b. (1), (3), dan (4)
c. (2), (3), dan (4)
d. (1), (2), dan (4)
e. (1), (2), (3), dan (4)

20. Peristiwa bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang arah getar dan arah rambatnya saling tegak lurus adalah ....
a. refraksi
b. refleksi
c. polarisasi
d. interferensi
e. difraksi

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Gelombang elektromagnetik memiliki panjang gelombang 750 nm.
a. Berapakah frekuensinya?
b. Apakah sebutan atau nama gelombang elektromagnetik ini?

2. Satu tahun cahaya adalah jarak yang ditempuh cahaya selama satu tahun. Berapa km jarak 1 tahun cahaya?

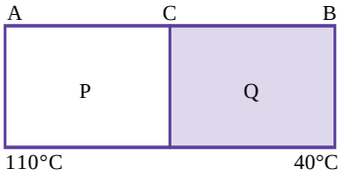
3. Tentukanlah kecepatan gelombang elektromagnetik pada bahan yang permitivitasnya 2×10^{-12} C^2/Nm^2 dan permeabilitas bahan 8×10^{-6} Ns^2/C^2.

4. Gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh suatu pemancar dengan frekuensi 30 Mhz, berapakah panjang gelombang yang dipancarkan?
5. Jelaskan perbedaan antara gelombang transversal dan gelombang longitudinal.
6. Sebutkan sifat-sifat dari gelombang elektromagnetik.
7. Mengapa sinar-X tidak dapat dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet?
8. Sebutkan dan urutkan jenis-jenis spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi terendah ke frekuensi tertinggi.
9. Sebutkan dan urutkan berdasarkan panjang gelombang (dari yang terpendek hingga terpanjang) dari jenis-jenis cahaya tampak.
10. Sebutkan dan jelaskan manfaat dari gelombang mikro dalam kehidupan sehari-hari.

Evaluasi Materi Semester 2

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

1. Mata dapat melihat sebuah benda, apabila terbentuk bayangan ....
   a. nyata, tegak di retina
   b. nyata, terbalik di retina
   c. maya, tegak di retina
   d. maya, terbalik di retina
   e. maya, tegak di lensa mata
2. Titik dekat mata seseorang 200 cm di muka mata. Agar orang itu dapat melihat pada jarak 25 cm, maka perlu kacamata berkekuatan (dalam dioptri) ....
   a. 3,5
   b. 0,2
   c. –0,2
   d. –0,5
   e. –0,4
3. Titik dekat seseorang 2 meter. Kuat kacamata baca yang diperlukannya adalah ....
   a. 0,25 dioptri
   b. 0,5 dioptri
   c. 1,5 dioptri
   d. 2,0 dioptri
   e. 3,5 dioptri
4. Seorang yang titik dekatnya ada pada jarak 50 cm di depan lensa mata, hendak membaca buku yang diletakkan pada jarak 25 cm, maka ia perlu memakai kacamata berkekuatan ....
   a. –2 dioptri
   b. 2 dioptri
   c. $-\frac{1}{2}$ dioptri
   d. $\frac{1}{2}$ dioptri
   e. 6 dioptri
5. Sebuah lup mempunyai jarak fokus 5 cm, dipakai melihat sebuah benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Perbesaran anguler lup itu adalah ....
   a. 2 kali
   b. 4 kali
   c. $4\frac{1}{6}$ kali
   d. 5 kali
   e. $6\frac{1}{4}$ kali
6. Seorang kakek memiliki kacamata baca yang berukuran 2,5 dioptri. Berarti, titik dekat mata kakek tersebut berada pada jarak ....
   a. 67 cm
   b. 40 cm
   c. 25 cm
   d. 1,5 cm
   e. 2,5 cm
7. Sebuah lup berukuran 10 dioptri digunakan oleh seorang pengamat dengan mata berakomodasi maksimum dan menghasilkan perbesaran anguler sebesar 5 kali. Titik dekat mata pengamat tersebut berada pada jarak ....
   a. 20 cm
   b. 25 cm
   c. 40 cm
   d. 50 cm
   e. 60 cm
8. Jika angka yang ditunjukkan oleh termometer *Fahrenheit* lima kali angka yang ditunjukkan oleh termometer *Celsius*, suhu benda tersebut adalah ....
   a. 10°F
   b. 20°C
   c. 50°C
   d. 50°F
   e. 100°F
9. Sebuah termometer dengan skala bebas °X memiliki titik beku air pada –40° dan titik didih air 160°. Pada saat termometer tersebut terbaca 15°X, pada skala *Celsius* terbaca ....
   a. 17,5°C
   b. 27,5°C
   c. 37,5°C
   d. 47,5°C
   e. 57,5°C
10. Jika 75 gram air yang suhunya 0°C dicampur dengan 50 gram air yang suhunya 100°C, suhu akhir campuran tersebut adalah ....
    a. 25°C
    b. 40°C
    c. 60°C
    d. 65°C
    e. 75°C
11. Dalam sebuah bejana yang massanya diabaikan, terdapat *a* gram air 42°C dicampur dengan *b* gram es –4°C. Setelah diaduk, ternyata 50% es melebur. Jika titik lebur es = 0°C, kalor jenis es = 0,5 kal/g°C, dan kalor lebur es = 80 kal/g, perbandingan *a* dan *b* adalah ....
    a. 1 : 4
    b. 1 : 2
    c. 1 : 1
    d. 2 : 1
    e. 4 : 1
12. Dua batang 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 = 2 CB, suhu di C adalah ....

a. 35°C
b. 40°C
c. 54°C
d. 70°C
e. 80°C

13. Sebuah balok es dengan massa 50 kg, pada 0°C, didorong di atas papan horizontal yang juga memiliki suhu 0°C sejauh 21 m. Ternyata, 25 gram es mencair karena gesekan. Jika kalor lebur es = 80 kal/g, besarnya koefisien gesekan adalah ....

a. 0,5
b. 0,6
c. 0,7
d. 0,8
e. 0,9

14. Suatu penghantar dialiri arus listrik 100 mA selama 1 jam. Jumlah muatan pada penghantar adalah ....

a. 60 Coulomb
b. 180 Coulomb
c. 360 Coulomb
d. 600 Coulomb
e. 3600 Coulomb

15. Sebuah kawat panjangnya 100 m, luas penampang-nya 2 mm^2, memiliki hambatan jenis $\frac{0{,}5 \text{ ohm } mm^2}{m}$. Besarnya hambatan kawat adalah ....

a. 20 ohm
b. 25 ohm
c. 50 ohm
d. 100 ohm
e. 150 ohm

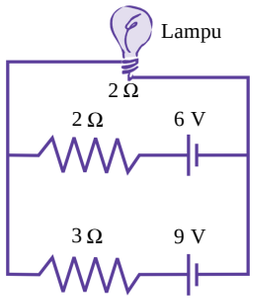
16. Sebuah alat pemanas listrik menggunakan arus 5 A. Jika dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V, hambatannya adalah ....

a. 0,05 ohm
b. 5 ohm
c. 22 ohm
d. 110 ohm
e. 550 ohm

17. Sebuah akumulator memiliki GGL 12 V dan hambatan dalam 0,1 ohm. Jika aki tersebut diisi dengan arus 10 A, tegangan antara kedua terminalnya adalah ....

a. 14 V
b. 13 V
c. 12 V
d. 11 V
e. 10 V

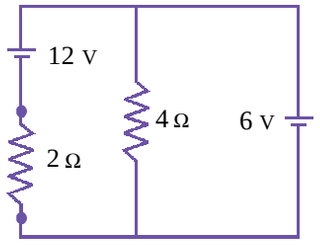
18. Perhatikan gambar berikut



Besar arus listrik yang melalui lampu pada rangkaian arus listrik searah, seperti pada gambar adalah ....

a. 0,75 A
b. 1,50 A
c. 2,25 A
d. 3,00 A
e. 3,75 A

19. Perhatikan gambar berikut.



Pada gambar tersebut, energi yang timbul tiap sekon dalam hambatan 2 Ω adalah ....

a. 18 W
b. 12 W
c. 9 W
d. 3,75 A
e. 3 W

20. Dari tabel berikut ini, alat listrik yang memiliki hambatan terbesar adalah ....

Nama Alat	Tegangan Kerja	Daya
a. pemanas	120 volt	400 watt
b. motor	120 volt	200 watt
c. lampu	120 volt	150 watt
d. pesawat TV	220 volt	110 watt
e. pompa air	220 volt	125 watt

21. Gelombang elektromagnetik berikut ini yang frekuensinya lebih besar daripada frekuensi sinar hijau adalah ....

a. gelombang radio, gelombang TV, sinar infra merah
b. sinar-X, sinar ultra ungu, sinar gamma
c. sinar infra merah, sinar ultra violet, cahaya tampak
d. cahaya tampak, sinar-X, sinar gamma
e. inframerah, sinar tampak, sinar ultra violet

22. Pernyataan-pernyataan berikut ini adalah sifat gelombang elektromagnetik.
(1) dapat mengalami polarisasi
(2) merupakan gelombang longitudinal
(3) merambat lurus dalam medan
(4) dibelokkan oleh medan listrik dan medan magnet

Pernyataan yang benar adalah ....
a. (1), (2), dan (3)
b. (1) dan (3)
c. (2) dan (4)
d. (4) saja
e. (1), (2), (3), dan (4)

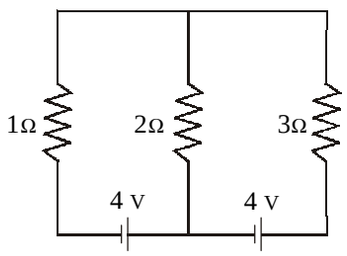
23. Gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang terpanjang adalah ....
a. sinar gamma
b. gelombang radio
c. sinar inframerah
d. sinar-X
e. sinar ultraungu

24. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar adalah ....
a. gelombang radio, sinar tampak, sinar inframerah
b. gelombang TV, sinar ultraviolet, sinar inframerah
c. sinar gamma, sinar-X, sinar ultraviolet
d. sinar gamma, gelombang radio, sinar inframerah
e. gelombang radio, gelombang TV, gelombang radar

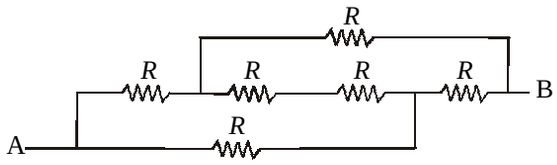
25. Di antara gelombang elektromagnetik berikut ini yang memiliki frekuensi terbesar adalah ....
a. sinar-X
b. cahaya biru
c. gelombang radio
d. sinar inframerah
e. gelombang mikro

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda..

1. Objektif sebuah mikroskop berupa lensa cembung dengan jarak fokus f. Tentukanlah jarak yang harus ditempatkan di bawah lensa objektif dari benda yang diteliti dengan mikroskop.
2. Titik dekat mata seseorang 200 cm di muka mata. Supaya orang tersebut dapat melihat pada jarak 25 cm, berapakah kekuatan kacamata yang perlu digunakan?
3. Dari rangkaian listrik berikut, tentukanlah besarnya daya yang terjadi pada hambatan 2Ω.



4. Seseorang yang memiliki titik dekat 25 cm ingin melihat sebuah benda dengan lup. Jika orang tersebut saat berakomodasi maksimum menginginkan terjadinya perbesaran 5 kali, berapakah jarak fokus lup yang harus digunakan.
5. Dalam sebuah botol termos terdapat 230 gram kopi pada suhu 90°C, kemudian ditambahkan susu sebanyak 20 gram bersuhu 5°C. Berapakah suhu campuran? (misalkan, tidak ada kalor pencampuran maupun kalor yang terserap botol termos dan $c_{air} = c_{kopi} = c_{susu} = 1$ kal/g°C)
6. Sebutkan dan jelaskan cara-cara perambatan kalor.
7. Tentukanlah hambatan pengganti dari rangkaian berikut ini.



8. Sebutkan dan jelaskan sifat-sifat gelombang elektromagnetik.
9. Gelombang manakah yang memiliki frekuensi lebih tinggi, gelombang cahaya atau sinar-X?
10. Sebutkan jenis-jenis spektrum gelombang elektromagnetik berdasarkan urutan dari panjang gelombang terpendek ke panjang gelombang terpanjang.

Evaluasi Materi Akhir Tahun

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

1. Di antara besaran berikut yang termasuk besaran pokok adalah ....
   a. kecepatan
   b. waktu
   c. usaha
   d. gaya
   e. tegangan

2. Alat ukur berikut yang dapat mengukur diameter kelereng adalah ....
   a.
   b.
   c.
   d.
   e.

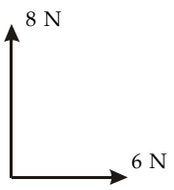
3. Diketahui hasil pengukuran panjang sebuah benda dengan menggunakan jangka sorong yang memiliki ketelitian 0,0025 cm adalah 2,35 cm. Cara penulisan hasil pengukuran yang benar adalah ....
   a. $(2{,}35 \pm 0{,}0025)$ cm
   b. $(2{,}350 \pm 0{,}0025)$ cm
   c. $(2{,}3500 \pm 0{,}0025)$ cm
   d. $(23{,}50 \pm 0{,}0025)$ cm
   e. $(23{,}500 \pm 0{,}0025)$ cm

4. Konversi nilai berikut yang benar adalah ....
   a. 60 km/jam = 10 m/s
   b. 400 cm = 40 mm
   c. 20 m/s = 72 km/jam
   d. 0,5 m/s^2 = 648 km/jam^2
   e. 1.440 s = 20 menit

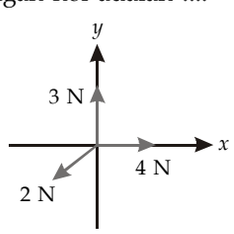
5. Sebuah besaran x dapat dituliskan dengan persamaan $x = PQR$, dengan P memiliki dimensi $[ML^{-3}]$, Q memiliki satuan m/s^2, dan R memiliki satuan m. Dimensi besaran x tersebut adalah ....
   a. $[MLT^{-2}]$
   b. $[ML^{-2}T^{-2}]$
   c. $[ML^{2}T^{-2}]$
   d. $[ML^{-2}T]$
   e. $[ML^{-1}T^{-1}]$

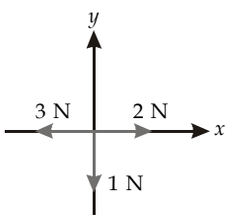
6. Besaran berikut yang bukan termasuk besaran vektor adalah ....
   a. kecepatan
   b. gaya
   c. jarak
   d. percepatan
   e. momentum

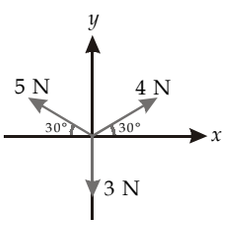
7. Perhatikan gambar berikut ini.

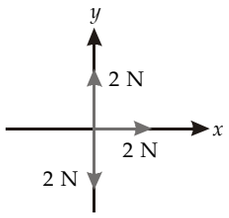
   Besar resultan kedua buah vektor tersebut adalah ....
   a. 14 N
   b. 10 N
   c. 7 N
   d. 5 N
   e. 2 N

8. Gambar berikut yang menghasilkan resultan sama dengan nol adalah ....
   a. 

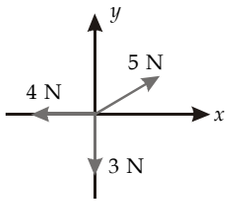
   b. 

   c. 

d.



e.



9. Diketahui dua buah vektor yang besarnya sama dengan F dan saling membentuk sudut 60°. Perbandingan antara besar jumlah dan besar selisih kedua vektor tersebut adalah ....
   a. 1
   b. $\sqrt{3}$
   c. $\frac{1}{2}$
   d. $\frac{1}{3}\sqrt{3}$
   e. $\frac{1}{5}$

10. Seseorang berenang dengan arah tegak lurus aliran sungai. Jika kecepatan berenang orang tersebut 4 m/s dan kecepatan aliran sungai 3 m/s, resultan kecepatan orang tersebut adalah ....
   a. 10 m/s
   b. 7 m/s
   c. 5 m/s
   d. 3 m/s
   e. 0

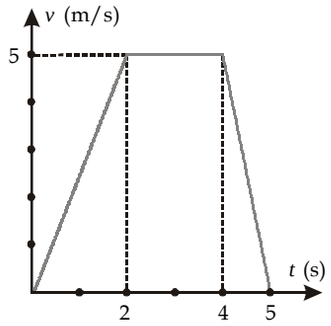
11. Tabel berikut ini merupakan data seorang pelari.

Jarak yang Ditempuh	Waktu
10 m	5 s
20 m	10 s
5 m	5 s
10 m	10 s

   Kelajuan rata-rata pelari tersebut adalah ....
   a. 1,5 m/s
   b. 2 m/s
   c. 2,5 m/s
   d. 3 m/s
   e. 3,5 m/s

12. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Kemudian, tiba-tiba mobil tersebut mengalami perlambatan hingga berhenti 50 s. Perlambatan mobil tersebut adalah ....
   a. –0,5 m/s
   b. 0,5 m/s
   c. 0,2 m/s
   d. –0,2 m/s
   e. –1 m/s

13. Perhatikan gambar berikut ini.



   Dari grafik tersebut, jarak yang ditempuh selama 5 s adalah ....
   a. 20 m
   b. 25 m
   c. 30 m
   d. 35 m
   e. 40 m

14. Sebuah batu dilepaskan dari ketinggian 45 m. Waktu yang dibutuhkan batu hingga mencapai permukaan tanah adalah ....
   a. 10 s
   b. 15 s
   c. 20 s
   d. 25 s
   e. 30 s

15. Sebuah bola dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Posisi bola saat t = 1 sekon adalah ....
   a. 30 m
   b. 20 m
   c. 10 m
   d. 5 m
   e. 2 m

16. Jika sebuah benda bergerak melingkar beraturan maka pernyataan berikut yang tidak benar adalah ....
   a. jari-jari lintasan tetap
   b. percepatan sudutnya nol
   c. frekuensinya berubah
   d. kecepatan linearnya berubah
   e. percepatan sentripetalnya menuju pusat lingkaran

17. Sebuah roda sepeda memiliki jari-jari 50 cm dan diputar melingkar beraturan. Jika kelajuan sebuah titik pada roda 2 m/s, kecepatan sudutnya adalah ....
   a. 100 rad/s
   b. 50 rad/s
   c. 25 rad/s
   d. 4 rad/s
   e. 2 rad/s

18. Sebuah benda bergerak melingkar dengan mengikuti persamaan berikut.

$$\theta = 5 + 2\pi t$$

Besarnya frekuensi dan posisi pada saat $t = \frac{2}{\pi}$ s adalah ....
a. 9 Hz, 1 s
b. 5 Hz, 2 s
c. 2 Hz, 5 s
d. 1 Hz, 9 s
e. 10 Hz, 2 s

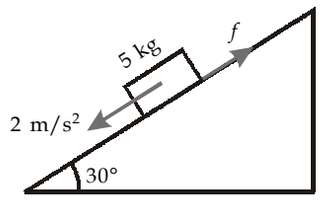
19. Besarnya percepatan sentripetal dari sebuah bola yang diikat dengan tali yang memiliki panjang 1 m dan bergerak melingkar beraturan adalah .... (diketahui frekuensi putaran bola adalah $\frac{20}{\pi}$ Hz)
a. 1.600 m/s^2
b. 1.000 m/s^2
c. 400 m/s^2
d. 200 m/s^2
e. 20 m/s^2

20. Diketahui percepatan sentripetal sebuah benda besarnya 20 m/s^2. Jika jari-jari lintasan 5 m, kecepatan sudut benda tersebut adalah ....
a. 2 rad/s
b. 5 rad/s
c. 10 rad/s
d. 20 rad/s
e. 100 rad/s

21. Hukum Pertama Newton menerangkan tentang ....
a. gaya aksi dan gaya reaksi
b. hubungan antara gaya dan percepatan
c. kelembaman sebuah benda
d. resultan gaya pada sebuah benda
e. massa dari sebuah benda

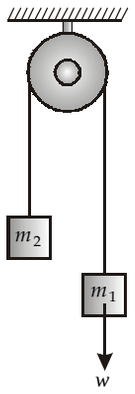
22. Sebuah benda yang bermassa 10 kg dari keadaan diam diberi gaya sehingga benda tersebut dapat bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Besarnya gaya yang diberikan setelah 10 s adalah ....
a. 5 N
b. 10 N
c. 15 N
d. 25 N
e. 50 N

23. Perhatikan gambar berikut ini.



Besarnya gaya gesekan bidang miring adalah ....
a. 10 N
b. 15 N
c. 20 N
d. 25 N
e. 30 N

24. Perhatikan gambar berikut ini.



Diketahui m_1 = 6 kg, m_2 = 4 kg, dan percepatan gravitasi g = 10 m/s^2. Jika massa dan gesekan katrol diabaikan, besarnya tegangan tali T adalah ....
a. 64 N
b. 60 N
c. 48 N
d. 24 N
e. 10 N

25. Sebuah bola yang bermassa 5 kg diputar dengan menggunakan tali yang panjangnya 50 cm. Jika bola tersebut bergerak dengan kecepatan 10 m/s, besarnya gaya maksimum supaya tali tidak putus adalah ....
a. 1.000 N
b. 500 N
c. 250 N
d. 50 N
e. 10 N

26. Misalkan, Anda berada dalam sebuah elevator yang bergerak naik dengan percepatan 2 m/s. Jika tegangan kabel penggantung besarnya 600 N, massa Anda adalah ....
a. 40 kg
b. 45 kg
c. 50 kg
d. 60 kg
e. 62 kg

27. Seorang siswa yang memiliki penglihatan normal (jarak baca minimumnya 25 cm), mengamati benda kecil dengan menggunakan lup dan berakomodasi maksimum. Jika benda yang diamati berada 5 cm di depan lup, jarak titik fokus lensa lup adalah ....
a. 4,16 cm
b. 6,25 cm
c. 7,5 cm
d. –7,5 cm
e. 10 cm

28. Sebuah mikroskop memiliki jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler masing-masing 5 mm dan 5 cm. Sebuah benda ditempatkan 6 cm di depan lensa objektif. Besarnya perbesaran mikroskop pada pengamatan tanpa akomodasi adalah ....
    a. 50 kali
    b. 25 kali
    c. 15 kali
    d. 10 kali
    e. 5 kali

29. Jika jarak paling jauh yang dapat dilihat oleh mata seseorang adalah 5 m, kekuatan lensa kacamata yang diperlukannya adalah ....
    a. –0,5 dioptri
    b. –0,3 dioptri
    c. –0,35 dioptri
    d. –0,25 dioptri
    e. –0,2 dioptri

30. Sebuah teropong panggung dipakai untuk melihat bintang yang menghasilkan perbesaran 10 kali. Jarak antara lensa objektif dan lensa okulernya adalah 45 cm. Teropong tersebut digunakan dengan mata tak berakomodasi. Besarnya jarak fokus lensa okulernya adalah ....
    a. –5 cm
    b. 5 cm
    c. –9 cm
    d. 9 cm
    e. 10 cm

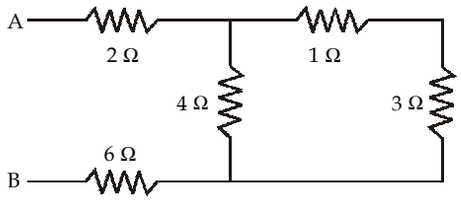
31. Sebuah kuningan ($\alpha = 19 \times 10^{-6}/K$) memiliki panjang 2 m. Pertambahan panjang kuningan tersebut dari 100 K sampai 400 K adalah ....
    a. 9,5 mm
    b. 5,76 mm
    c. 1,14 mm
    d. 0,114 mm
    e. 0,1 mm

32. Air sebanyak 100 gram yang memiliki temperatur 20°C dipanaskan dengan energi 500 kalori. Jika kalor jenis air 1 kal/g°C, temperatur air setelah pemanasan adalah ....
    a. 10°C
    b. 15°C
    c. 20°C
    d. 25°C
    e. 30°C

33. Es yang massanya 100 gram dan memiliki temperatur 0°C, dimasukkan ke dalam 500 gram air yang memiliki temperatur 25°C. Ternyata, es melebur seluruhnya. Jika kalor lebur es = 80 kalori/g°C, temperatur akhir campuran adalah ....
    a. 10,6°C
    b. 8,4°C
    c. 5°C
    d. 2,1°C
    e. 0

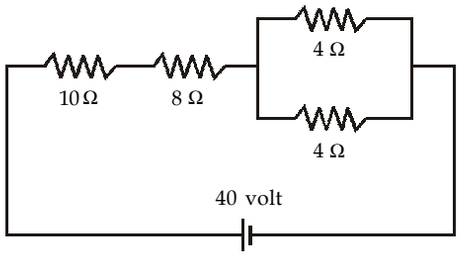
34. Perpindahan kalor yang disertai perpindahan massa atau zat-zat perantaranya disebut ....
    a. konduksi
    b. konveksi
    c. radiasi
    d. kohesi
    e. turbulensi

35. Perhatikan rangkaian listrik berikut ini.



    Jika antara titik A dan B dihubungkan dengan potensial listrik 20 volt, daya yang timbul pada hambatan 1 Ω adalah ....
    a. 50 watt
    b. 100 watt
    c. 200 watt
    d. 250 watt
    e. 500 watt

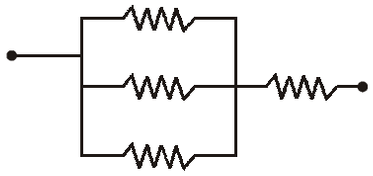
36. Perhatikan rangkaian listrik pada gambar berikut.



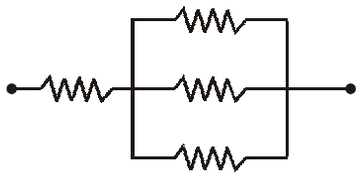
    Besar beda potensial pada hambatan 4 Ω adalah ....
    a. 2 volt
    b. 4 volt
    c. 6 volt
    d. 8 volt
    e. 10 volt

37. Diketahui 4 buah hambatan yang masing-masing besarnya 3 ohm. Supaya hambatan penggantinya sama dengan 3 ohm, susunan hambatan yang benar adalah ....

    a.

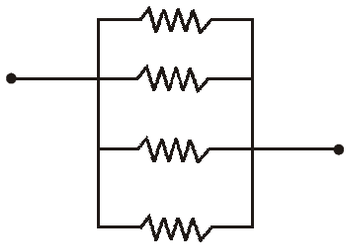


    b.

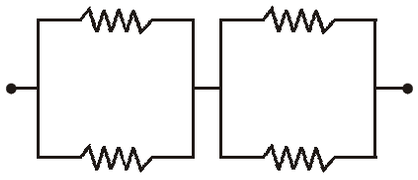


c.

d.



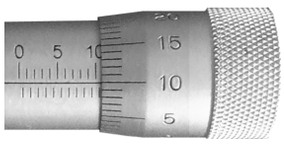
e.



38. Spektrum gelombang elektromagnetik berikut ini yang memiliki nilai frekuensi paling besar adalah ....
    a. sinar gamma
    b. sinar ultraviolet
    c. cahaya tampak
    d. gelombang mikro
    e. gelombang radio
39. Berikut ini yang bukan merupakan sifat dari gelombang elektromagnetik adalah ....
    a. dapat dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnetik
    b. dapat berpolarisasi
    c. kecepatannya di ruang hampa = 3×10^8 m/s
    d. merupakan gelombang transversal
    e. tidak bermuatan listrik
40. Sinar-X memiliki panjang gelombang ....
    a. sedikit lebih besar dari 700 nm
    b. diantara 400–700 nm
    c. jauh lebih besar dari 400 nm
    d. sama besar dengan 400 nm
    e. jauh lebih kecil dari 400 nm

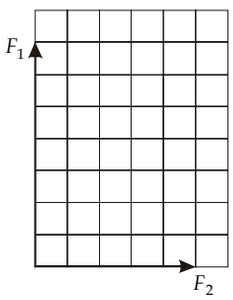
B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar dan kerjakanlah pada buku latihan Anda..

1. Perhatikan gambar berikut ini.



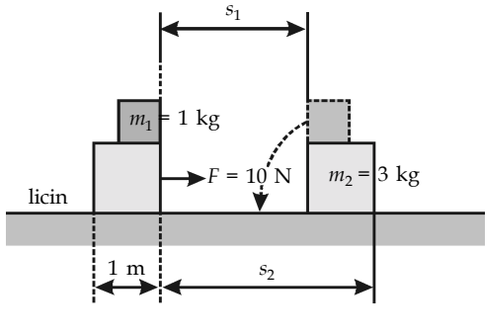
Tentukanlah hasil pengukuran tersebut jika diketahui ketelitian alat ukurnya adalah 0,005 mm.

2. Tuliskan tujuh besaran pokok dan tuliskan pula beberapa besaran turunan.
3. Perhatikan grafik berikut ini.



Jika satu skala memiliki nilai 2 N, tentukanlah resultan dari kedua vektor tersebut.

4. Sebuah benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Tentukanlah:
    a. titik tertinggi, dan
    b. waktu saat mencapai titik tertinggi.
5. Kubus yang terbuat dari logam dengan massa 1 kg ditaruh di atas kubus logam lain yang lebih besar dengan massa 3 kg dan sisi-sisinya 1 m, seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.

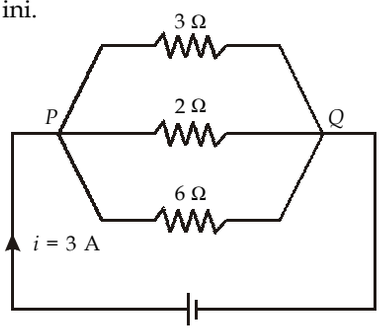


Apabila gaya 10 N dikerjakan pada kubus yang besar, sedangkan gesekan maksimum antara kedua permukaan kubus = 2 N, suatu saat kubus yang kecil akan terjatuh ke lantai. Tentukanlah waktu yang diperlukan sampai kubus kecil jatuh di lantai sejak gaya diberikan.

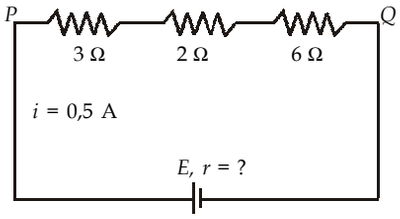
6. Benda yang massanya 100 gram melakukan gerak melingkar beraturan dengan 150 putaran tiap menit. Jika jari-jari lingkaran 40 cm dan kecepatan 3 m/s, tentukanlah:
    a. gaya sentripetalnya, dan
    b. waktu untuk satu putaran.
7. Sebuah mikroskop memiliki lensa objektif dan lensa okuler dengan jarak titik fokus masing-masing 3 cm dan 4 cm. Benda terletak pada jarak 4 cm di depan lensa objektif dan jarak antara lensa objektif dan lensa okuler 15 cm. Tentukanlah:
    a. perbesaran linear objektif,
    b. perbesaran linear okuler, dan
    c. perbesaran total mikroskop.

8. Satu kilogram es suhunya –2°C. Jika titik lebur es = 0°C, kalor jenis es = 0,5 kal/g°C, kalor jenis air = 1 kal/g°C, kalor lebur es 80 kal/g, dan 1 kalori = 4,2 joule, tentukanlah kalor yang diperlukan untuk meleburkan seluruh es tersebut.

9. Tiga buah hambatan yang masing-masing besarnya 3 Ω, 2 Ω, dan 6 Ω disusun paralel. Kemudian, dipasang pada sumber tegangan dan ternyata kuat arus yang keluar besarnya 3 A, seperti pada gambar berikut ini.



Akan tetapi jika disusun seri dan dipasang pada sumber tegangan yang sama, ternyata arus yang keluar besarnya 0,5 A, seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Tentukanlah GGL dan hambatan dalam sumber tegangan tersebut.

10. Sebutkan dan urutkan spektrum gelombang elektromagnetik mulai dari panjang gelombang terpendek hingga panjang gelombang terpanjang.

Kunci Jawaban

Bab 1 Pengukuran, Besaran, dan Satuan

Soal Prameteri

2. Besaran pokok dan turunan.

Soal Penguasaan Materi 1.1

2. Pengukuran tunggal hanya dilakukan sekali pengukuran, sedangkan pengukuran berulang dilakukan lebih dari satu kali pengukuran.
4. a. (60,4 + 0,5) cm
   b. (9,12 + 0,05) mm
   c. (7,720 + 0,005) mm
   d. (7,30 + 0,05) sekon

Soal Penguasaan Materi 1.2

2. Kecepatan $[LT^{-1}]$, percepatan $[LT^{-2}]$, gaya $[MLT^{-2}]$, energi $[ML^2T^{-2}]$, massa jenis $[ML^{-3}]$, momentum $[MLT^{-1}]$, daya $[ML^2T^{-2}]$, tekanan $[ML^{-1}T^{-2}]$, beda potensial $[ML^2T^{-3}]$, usaha $[ML^2T^{-2}]$.
4. $[L^3T^4]$

Evaluasi Materi Bab 1

A. Pilihan ganda

2.	b	10.	b	18.	b
4.	c	12.	c	20.	d
6.	e	14.	d	22.	c
8.	d	16.	c	24.	d

B. Esai

2. Jangka sorong, mikrometer sekrup, dan mistar ukur.
4. Panjang (m),
   Massa (kg),
   Waktu (s),
   Arus listrik (A),
   Suhu (K),
   Intensitas cahaya (cd), dan
   Jumlah zat (mol).
6. a. 2 angka penting
   b. 5 angka penting
   c. 1 angka penting
   d. 5 angka penting
8. (3,150 ± 0,005) mm

Bab 2 Vektor

Soal Prameteri

2. Kecepatan, percepatan, gaya, dan momentum.

Soal Penguasaan Materi 2.1

2. 250 km ke selatan.
4. a. 70 N
   b. 10 N
   c. 50 N
   d. $10\sqrt{37}$, $10\sqrt{13}$

Soal Penguasaan Materi 2.2

2. a. 86,6 satuan
   b. 30°

Soal Penguasaan Materi 2.3

2. 28,8 satuan

Soal Penguasaan Materi 2.5

2. 8

Evaluasi Materi Bab 2

A. Pilihan ganda

2.	d	10.	e	18.	e
4.	e	12.	e	20.	a
6.	c	14.	e	22.	e
8.	c	16.	c	24.	d

B. Esai

2. a. $v = 14$ m/s
   b. $s = 700$ m
4. 2 N
6. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ N
8. $F_1 = 5\sqrt{3}$ N
   $F_2 = 5$ N
10. $\frac{13}{7}$

Bab 3 Gerak dalam Satu Dimensi

Soal Prameteri

2. Jika benda tersebut bergerak pada lintasan yang lurus.

Soal Penguasaan Materi 3.1

2. Jarak = 17 km, perpindahan = 13 km
4. Jarak = 13 km, perpindahan = 5 km

Soal Penguasaan Materi 3.2

2. Kelajuan = $1{,}5\pi$ m/s, kecepatan = $0{,}5\pi$ m/s
4. 24 m/s

Soal Penguasaan Materi 3.3

2. 1600 m
4. Dalam waktu 36 menit, 36 km dari kereta api A atau 14 km dari kereta api B.

Soal Penguasaan Materi 3.4

2. 75 m/s^2
4. a. 77 m/s^2
   b. Pada saat $t = 2$ s dan $t = 6$ s

Soal Penguasaan Materi 3.5

2. a. 0,15 m/s^2
   b. 83,3 m
4. 80 m

Evaluasi Materi Bab 3

A. Pilihan ganda

2.	b	10.	a	18.	e
4.	e	12.	c	20.	b
6.	c	14.	e	22.	d
8.	d	16.	a	24.	c

B. Esai

2. Jarak = 26 m
   Perpindahan = 6 m
   Laju = $\frac{26}{7}$ m/s
   Kecepatan rata-rata = 2 m/s

4. $a = 1{,}5\ \text{m/s}^2$
6. $t = 2$ s dan $v = 20$ m/s
8. a. $V_0 = 20\sqrt{2}$ m/s
   b. $t = 2\sqrt{2}$ s
   c. $v = 2$ m/s
   d. $h = 35$ m
10. 3 : 2

Bab 4 Gerak Melingkar

Soal Prameteri

2. Adanya gaya ke pusat lingkaran yang menyebabkan Anda tidak terlempar. Gaya ini disebut gaya sentripetal.

Soal Penguasaan Materi 4.1

2. a. 10 rad/s
   b. 5 rad/s

Soal Penguasaan Materi 4.2

2. 2 m

Evaluasi Materi Bab 4

A. Pilihan ganda

2.	b	12.	e
4.	c	14.	c
6.	c	16.	b
8.	c	18.	a
10.	a	20.	a

B. Esai

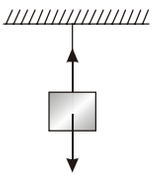
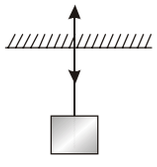
2. a. 5 rad/s
   b. 25 m/s²
4. $v = 5$ m/s
6. 10 m/s²
8. a. 15 rad
   b. $\frac{1}{\pi}$ Hz
10. 75 s

Bab 5 Dinamika Gerak

Soal Prameteri

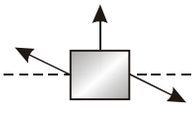
2. Gaya gesekan, gaya dorong, dan gaya angkat.

Soal Penguasaan Materi 5.1

2. 2 N
4. a.  b. 

Soal Penguasaan Materi 5.2

2. a. 9,5 m/s²
   b. 98,4 N, dengan membentuk sudut 75°



4. a. $250\sqrt{3}$ N
   b. $mg \sin\theta$, 0, 500 N

Soal Penguasaan Materi 5.3

2. $f_{ges} = 30$ N
4. $a_{maks} = \mu_s g = 0{,}75 \times 10 = 7{,}5\ \text{m/s}^2$

Soal Penguasaan Materi 5.4

2. 2 m

Evaluasi Materi Bab 5

A. Pilihan ganda

2.	c	10.	d	18.	b
4.	a	12.	a	20.	c
6.	e	14.	b	22.	a
8.	c	16.	a	24.	a

B. Esai

2. 30 N
4. a. 600 N
   b. 420 N
   c. 780 N
6. 30 N
8. Lihat halaman 66 – 68
10. Gaya bermanfaat : gaya sentripetal pada lintasan melingkar
    Gaya merugikan : gaya gesek pada ban mobil

Evaluasi Materi Semester 1

A. Pilihan ganda

2.	b	10.	c	18.	b
4.	b	12.	c	20.	b
6.	b	14.	e	22.	c
8.	d	16.	c	24.	e

B. Esai

2. a. $[ML^2T^{-2}]$
   b. $[ML^{-3}]$
   c. $[ML^2T^{-2}]$
   d. $[ML^2T^{-3}]$
   e. $[LT^{-2}]$
4. a. 2 N
   b. $\sqrt{52}$ N
   c. 10 N
6. 45 m, 6 s
8. 12 N
10. 7,5 m/s²

Bab 6 Alat-Alat Optik

Soal Prameteri

2. Mata dan kacamata digunakan untuk melihat.
   Lup dan mikroskop digunakan untuk memperbesar objek yang dilihat, dan mikroskop.
   Teropong digunakan untuk melihat benda-benda yang jauh.

Soal Penguasaan Materi 6.1

2. a. kemampuan untuk mengubah-ubah jarak fokus lensa mata sehingga bayangan benda yang dilihat selalu jatuh tepat di retina
   b. Jarak minimum yang dapat dilihat oleh mata
   c. Jarak maksimum yang dapat dilihat oleh mata
4. a. –0,5 m
   b. 2 dioptri

Soal Penguasaan Materi 6.2

2. Pada kamera lensa digeser-geser, sedangkan pada mata dengan menggunakan daya akomodasi

Soal Penguasaan Materi 6.3

2. a. 7,14 cm
   b. 2,5 kali

Soal Penguasaan Materi 6.4

2. 400 kali
4. a. 50 kali, 70 kali
   b. 52 cm, 17 cm

Evaluasi Materi Bab 6

A. Pilihan ganda

2.	b	12.	a	22.	b
4.	e	14.	c	24.	a
6.	d	16.	e	26.	b
8.	c	18.	c	28.	d
10.	a	20.	c	30.	a

B. Esai

2. 3,5 dioptri
4. • Miopi (rabun jauh)
   Bayangan jatuh di depan retina, ditolong lensa negatif.
   • Hipermetropi (rabun dekat)
   Bayangan jatuh di belakang retina, ditolong lensa positif.
   • Presbiopi
   Rabun tua, ditolong lensa rangkap.
6. 2 cm
8. 10 kali
10. Pada mikroskop, benda harus diletakkan di ruang II objektif sehingga bayangan terletak di ruang III (ingat : Ruang benda + Ruang bayangan = 5). Maka sifat bayangan oleh objektif : nyata, terbalik, diperbesar.

Bab 7 Kalor

Soal Prameteri

2. Dengan menggunakan termometer.

Soal Penguasaan Materi 7.1

2. t°C = $I = \frac{Q}{t}(t + 32)$°X
4. 16°C

Soal Penguasaan Materi 7.2

2. 130°C
4. $1{,}15 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2

Soal Penguasaan Materi 7.3

2. 17°C
4. 0°C (es tidak melebur seluruhnya)

Soal Penguasaan Materi 7.4

2. 6,0156 watt/m^2
4. 60°C

Evaluasi Materi Bab 7

A. Pilihan ganda

2.	d	10.	d	18.	a
4.	b	12.	c	20.	a
6.	a	14.	a	22.	a
8.	e	16.	a	24.	d

B. Esai

2. • Konduksi
   Perpindahan secara hantaran
   • Konveksi
   Perpindahan secara aliran
   • Radiasi
   Perpindahan secara pancaran
4. 2,193 kj/kgK
6. a. 27°C
   b. 80,6°F
   c. 21,6 R
8. Azas Black: kalor yang dilepaskan suatu benda akan sama dengan kalor yang di terima oleh benda lain, jika ke dua benda disatukan.
10. 3.056 kj

Bab 8 Elektrodinamika

Soal Prameteri

2. Rangkaian seri: pembagi tegangan
   Rangkaian paralel: pembagi arus

Soal Penguasaan Materi 8.1

2. Lihat halaman 160 – 161

Soal Penguasaan Materi 8.2

2. a. 2 ohm
   b. 5 A
4. 80 volt

Soal Penguasaan Materi 8.3

2. a. 2 A
   b. 10 V
   c. 8 V
4. 1,8 A

Soal Penguasaan Materi 8.4

2. 1 kW
4. 30 Ω

Soal Penguasaan Materi 8.5

2. 2 A, 4 V

Evaluasi Materi Bab 8

A. Pilihan ganda

2.	a	12.	b
4.	d	14.	c
6.	c	16.	b
8.	e	18.	d
10.	d	20.	e

B. Esai

2. a. $R_{ab} = 10\,\Omega$
   b. $R_{ab} = 10\,\Omega$
4. a. $P = \frac{100}{64}$ watt
   b. $P = \frac{36}{25}$ watt
6. 0,25 ohm
8. $I = 1$ A
   $V_{ab} = 2$ V
10. $I_1 = \frac{1}{2}$ A
    $I_2 = 0$
    $I_3 = \frac{1}{2}$ A

Bab 9 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Soal Prameteri

2. Sinar gamma, sinar-X, ultraviolet, cahaya tampak, inframerah, gelombang mikro, gelombang TV, dan gelombang radio.

Soal Penguasaan Materi 9.1

2. Dapat. Gelombang elektromagnetik tidak dapat dibelokkan oleh medan listrik ataupun medan magnet.
4. Sinar inframerah
6. Ya

Evaluasi Materi Bab 9

A. Pilihan ganda

2.	b	12.	a
4.	a	14.	a
6.	e	16.	b
8.	d	18.	c
10.	d	20.	c

B. Esai

2. $x = (3)(10^5)(365)(24)(3.600)$
4. $\lambda = 10$ m
6. Lihat halaman 158
8. Gelombang Radio, Gelombang TV, Gelombang Mikro, Sinar Inframerah, Sinar Tampak, Sinar Ultraviolet, Sinar-X, dan Sinar Gamma
10. Sebagai alat memasak (oven) dan pemandu pesawat terbang ketika cuaca buruk

Evaluasi Materi Semester 2

A. Pilihan ganda

2.	a	10.	b	18.	c
4.	b	12.	c	20.	a
6.	a	14.	c	22.	b
8.	d	16.	c	24.	e

B. Esai

2. + 3,5 dioptri
4. 83,2°C
6. $P = 5{,}12$ W
8. Sifat gelombang elektromagnetik
   - merambat lurus
   - merambat tanpa medium
   - merupakan gelombang transversal
   - merupakan rambatan medan listrik dan medan magnet
   - memiliki kecepatan 3×10^8 m/s
10. Sinar Gamma, Sinar-X, Sinar Ultraviolet, Sinar Tampak, Sinar Inframerah, Gelombang Mikro, Gelombang TV, dan Gelombang Radio

Evaluasi Materi Akhir Tahun

A. Pilihan ganda

2.	a	22.	a
4.	c	24.	c
6.	c	26.	c
8.	e	28.	b
10.	c	30.	a
12.	d	32.	d
14.	e	34.	b
16.	c	36.	b
18.	d	38.	a
20.	a	40.	e

B. Esai

2. Besaran pokok
   a. massa
   b. waktu
   c. panjang
   d. kuat arus
   e. suhu
   f. intensitas cahaya
   g. jumlah zat
4. a. 5 m
   b. 1 s
6. a. 2,25 N
   b. 0,4 s
8. $3{,}402 \times 10^5$ joule
10. a. sinar gamma
    b. sinar-X
    c. sinar ultraviolet
    d. cahaya tampak
    e. sinar inframerah
    f. gelombang mikro
    g. gelombang tv
    h. gelombang radio

Apendiks

Sistem Satuan, Konversi, Konstanta, Matematis, dan Hadiah Nobel

Tabel Satuan Internasional (SI)

Kuantitas	Nama	Simbol	Definisi
Panjang	meter	m	"… panjang yang sama dengan 1.650.763,73 panjang gelombang dalam vakum dari radiasi yang bersesuaian dengan transisi di antara tingkat $2p_{10}$ dan tingkat $5d_5$ dari atom krypton-86." (1960)
Massa	kilogram	kg	"… prototip ini (sebuah silinder platinum-iridium tertentu). Dengan demikian akan dianggap satuan massa." (1889)
Waktu	sekon	s	"… lamanya 9.192.631.770 periode radiasi yang bersesuaian dengan transisi di antara kedua tingkat hiperhalus dari keadaan dasar atom cesium-133." (1967)
Arus listrik	ampere	A	"… bahwa jika arus konstan dipertahankan dalam dua penghantar sejajar yang lurus dan panjangnya tak berhingga, penampang lingkarannya dapat diabaikan, serta ditempatkan terpisah sejauh 1 m satu sama lain dalam vakum, akan menghasilkan sebuah gaya di antara penghantar-penghantar ini yang besarnya sama dengan 2×10^{-7} newton per meter panjang." (1946)
Temperatur termodinamika	kelvin	K	"… pecahan 1/273,16 dari temperatur termodinamika titik tripel air." (1967)
Banyaknya zat	mol	mol	"… banyaknya zat sebuah sistem yang mengandung sejumlah entitas elementer sebanyak atom yang ada dalam 0,012 kilogram karbon-12." (1971)
Intensitas cahaya	kandela	cd	"… intensitas cahaya dalam arah tegak lurus dari sebuah permukaan benda hitam seluas 1/600.000 meter kuadrat pada temperatur platinum beku di bawah tekanan sebesar 101.325 newton per meter kuadrat." (1967)

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Massa

	g	kg	slug	u	oz	lg	ton
1 gram =	1	0,001	$6,852 \times 10^{-5}$	$6,024 \times 10^{23}$	$3,527 \times 10^{-2}$	$2,205 \times 10^{-3}$	$1,102 \times 10^{-6}$
1 kilogram =	1000	1	$6,852 \times 10^{-2}$	$6,024 \times 10^{26}$	35,27	2,205	$1,102 \times 10^{-3}$
1 slug =	$1,459 \times 10^{4}$	14,59	1	$8,789 \times 10^{27}$	514,8	32,17	$1,609 \times 10^{-2}$
1 u =	$1,660 \times 10^{-24}$	$1,660 \times 10^{-27}$	$1,137 \times 10^{-28}$	1	$5,855 \times 10^{-26}$	$3,660 \times 10^{-27}$	$1,829 \times 10^{-30}$
1 ons =	28,35	$2,835 \times 10^{-2}$	$1,943 \times 10^{-3}$	$1,708 \times 10^{25}$	1	$6,250 \times 10^{-2}$	$3,125 \times 10^{-5}$
1 pon =	453,6	0,4536	$3,108 \times 10^{-2}$	$2,732 \times 10^{26}$	16	1	0,0005
1 ton =	$9,072 \times 10^{5}$	907,2	62,16	$5,465 \times 10^{29}$	$3,2 \times 10^{4}$	2000	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Laju

	ft/s	km/h	meter/sekon	mi/h	cm/s	knot
1 kaki per sekon =	1	1,097	0,3048	0,6818	30,48	0,5925
1 kilometer per jam =	0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78	0,5400
1 meter per sekon =	3,281	3,6	1	2,237	100	1,944
1 mile =	1,467	1,609	0,4470	1	44,70	0,8689
1 centimeter per sekon =	$3,281 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	0,01	$2,237 \times 10^{-2}$	1	$1,944 \times 10^{-2}$
1 knot =	1,688	1,852	0,5144	1,151	51,44	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Beberapa Konstanta Fisika yang Fundamental

Konstanta	Simbol	Nilai Komputasi	Nilai (1973) terbaik	
			Nilai	Ketidaktentuan
Laju cahaya dalam vakum	c	$3{,}00 \times 10^{8}$ m/s	2,99792458	0,004
Muatan elementer	e	$1{,}60 \times 10^{-19}$ C	1,6021892	2,9
Massa diam elektron	m_e	$9{,}11 \times 10^{-31}$ kg	9,109534	5,1
Konstanta permitivitas	ε_0	$8{,}85 \times 10^{-12}$ F/m	8,854187818	0,008
Konstanta permeabilitas	μ_0	$1{,}26 \times 10^{-6}$ H/m	4π (exactly)	–
Perbandingan muatan dan massa elektron	e/m_e	$1{,}76 \times 10^{11}$ C/kg	1,7588047	2,8
Massa diam proton	m_p	$1{,}67 \times 10^{-27}$ kg	1,6726485	5,1
Perbandingan massa proton dan massa elektron	m_p/m_e	1840	1836,15152	0,38
Massa diam neutron	m_n	$1{,}68 \times 10^{-27}$ kg	1,6749543	5,1
Massa diam muon	m_μ	$1{,}88 \times 10^{-28}$ kg	1,883566	5,6
Konstanta Planck	h	$6{,}63 \times 10^{-34}$ Js	6,626176	5,4
Panjang gelombang Compton elektron	λ_c	$2{,}43 \times 10^{-12}$ m	2,4263089	1,6
Konstanta gas molar	R	8,31 J/molK	8,31441	31
Bilangan Avogadro	N_A	$6{,}02 \times 10^{23}$/mol	6,022045	5,1
Konstanta Boltzmann	k	$1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K	1,380662	32
Volume molar gas ideal pada STP	V_m	$2{,}24 \times 10^{-2}$ m^3/mol	2,241383	31
Konstanta Faraday	F	$9{,}65 \times 10^{4}$ C/mol	9,648456	2,8
Konstanta Stefan-Boltzmann	σ	$5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^{2}K^4	5,67032	125
Konstanta Rydberg	R	$1{,}10 \times 10^{7}$/m	1,097373177	0,075
Konstanta gravitasi	G	$6{,}67 \times 10^{-11}$ m^3/s^{2}kg	6,6720	615
Jari–jari Bohr	a_0	$5{,}29 \times 10^{-11}$ m	5,2917706	0,82
Momen magnet elektron	μ_e	$9{,}28 \times 10^{-24}$ J/T	9,284832	3,9
Momen magnet proton	μ_p	$1{,}41 \times 10^{-26}$ J/T	1,4106171	3,9
Magneton Bohr	μ_B	$9{,}27 \times 10^{-24}$ J/T	9,274078	3,9
Magneton nuklir	μ_N	$5{,}05 \times 10^{-27}$ J/T	5,050824	3,9

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Sudut Bidang

	°	′	″	Radian	Putaran
1 derajat =	1	60	3.600	$1{,}745 \times 10^{-2}$	$2{,}778 \times 10^{-3}$
1 menit =	$1{,}667 \times 10^{-2}$	1	60	$2{,}909 \times 10^{-4}$	$4{,}630 \times 10^{-5}$
1 sekon =	$2{,}778 \times 10^{-4}$	$1{,}667 \times 10^{-2}$	1	$4{,}848 \times 10^{-6}$	$7{,}716 \times 10^{-7}$
1 radian =	57,30	3.438	$2{,}063 \times 10^{5}$	1	0,1592
1 putaran =	360	$2{,}16 \times 10^{4}$	$1{,}296 \times 10^{6}$	6,283	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Panjang

	cm	meter	km	in.	ft
1 centimeter =	1	10^{-2}	10^{-5}	0,3937	$3{,}281 \times 10^{-2}$
1 meter =	100	1	10^{-3}	39,3	3,281
1 kilometer =	105	1.000	1	$3{,}937 \times 10^{4}$	3.281
1 inci =	2,540	$2{,}540 \times 10^{-2}$	$2{,}540 \times 10^{-5}$	1	$8{,}333 \times 10^{-2}$
1 kaki =	30,48	0,3048	$3{,}048 \times 10^{-4}$	12	1
1 mil =	$1{,}609 \times 10^{5}$	1.609	1,609	$6{,}336 \times 10^{4}$	5.280

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Tekanan

	atm	dyne/cm²	cm-Hg	PASCAL
1 atmosphere =	1	$1{,}013 \times 10^{6}$	76	$1{,}013 \times 10^{5}$
1 dyne per cm² =	$9{,}869 \times 10^{-7}$	1	$7{,}501 \times 10^{-4}$	0,1
1 inci air pada 0°C =	$2{,}458 \times 10^{-3}$	2491	0,1868	249,1
1 centimeter of mercury at 0°C =	$1{,}316 \times 10^{-2}$	$1{,}333 \times 10^{4}$	1	1.333
1 pascal =	$9{,}869 \times 10^{-6}$	10	$7{,}501 \times 10^{-4}$	1
1 pon per inci² =	$6{,}805 \times 10^{-2}$	$6{,}895 \times 10^{4}$	5,171	$6{,}895 \times 10^{3}$
1 pon per fit² =	$4{,}725 \times 10^{-4}$	478,8	$3{,}591 \times 10^{-2}$	47,88

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Tenaga, Kerja, dan Kalor

	joule	cal	kWh	eV	MeV	kg
1 satuan kalor Inggris =	1055	252,0	$2{,}930 \times 10^{-4}$	$6{,}585 \times 10^{21}$	$6{,}585 \times 10^{15}$	$1{,}174 \times 10^{-14}$
1 erg =	10^{-7}	$2{,}389 \times 10^{-8}$	$2{,}778 \times 10^{-14}$	$6{,}242 \times 10^{11}$	$6{,}242 \times 10^{5}$	$1{,}113 \times 10^{-24}$
1 kaki-pon =	1,356	0,3239	$3{,}766 \times 10^{-7}$	$8{,}464 \times 10^{18}$	$8{,}464 \times 10^{12}$	$1{,}509 \times 10^{-17}$
1 daya kuda-jam =	$2{,}685 \times 10^{4}$	$6{,}414 \times 10^{5}$	0,7457	$1{,}676 \times 10^{25}$	$1{,}676 \times 10^{19}$	$2{,}988 \times 10^{-11}$
1 joule =	1	0,2389	$2{,}778 \times 10^{-7}$	$6{,}242 \times 10^{18}$	$6{,}242 \times 10^{12}$	$1{,}113 \times 10^{-17}$
1 kalori =	4,186	1	$1{,}163 \times 10^{-6}$	$2{,}613 \times 10^{19}$	$2{,}613 \times 10^{13}$	$4{,}659 \times 10^{-17}$
1 kilowatt-jam =	$3{,}6 \times 10^{8}$	$8{,}601 \times 10^{5}$	1	$2{,}247 \times 10^{25}$	$2{,}247 \times 10^{19}$	$4{,}007 \times 10^{-11}$
1 elektron volt =	$1{,}602 \times 10^{-19}$	$3{,}827 \times 10^{-20}$	$4{,}450 \times 10^{-26}$	1	10^{-6}	$1{,}783 \times 10^{-36}$
1 juta elektron volt =	$1{,}602 \times 10^{-13}$	$3{,}827 \times 10^{-14}$	$4{,}450 \times 10^{-20}$	10^{6}	1	$1{,}783 \times 10^{-30}$
1 kilogram =	$8{,}987 \times 10^{16}$	$2{,}147 \times 10^{16}$	$2{,}497 \times 10^{10}$	$5{,}610 \times 10^{35}$	$5{,}610 \times 10^{29}$	1
1 satuan massa atom terpadu =	$1{,}492 \times 10^{-10}$	3,564 × 10–11	$4{,}145 \times 10^{-17}$	$9{,}31 \times 10^{8}$	931,0	$1{,}660 \times 10^{-27}$

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Daya

	Btu/h	ftlb/s	hp	cal/s	kW	watt
1 satuan kalor Inggris per jam =	1	0,2161	$3{,}929 \times 10^{-4}$	$7{,}000 \times 10^{-2}$	$2{,}930 \times 10^{-4}$	0,2930
1 kaki-pon per sekon =	4,628	1	$1{,}818 \times 10^{-3}$	0,3239	$1{,}356 \times 10^{-3}$	1,356
1 daya kuda =	2545	550	1	178,2	0,7457	745,7
1 kalor per sekon =	14,29	3,087	$5{,}613 \times 10^{-3}$	1	$4{,}186 \times 10^{-3}$	4,186
1 kilowatt =	3.413	737,6	1,341	238,9	1	1000
1 watt =	3,413	0,7376	$1{,}341 \times 10^{-3}$	0,2389	0,001	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Muatan

	abcoul	Ah	coulomb	statcoul
1 abcoulomb =	1	$2{,}778 \times 10^{-3}$	10	$2{,}998 \times 10^{10}$
1 ampere-hour =	360	1	3.600	$1{,}079 \times 10^{13}$
1 coulomb =	0,1	$2{,}778 \times 10^{-4}$	1	$2{,}998 \times 10^{9}$
1 statcoulomb =	$3{,}336 \times 10^{-11}$	$9{,}266 \times 10^{-14}$	$3{,}336 \times 10^{-10}$	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Fluks Magnet

	maxwell	weber
1 maxwell =	1	10^{-8}
1 weber =	10^{8}	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tabel Medan Magnet

	gauss	tesla	milligauss
1 gauss =	1	10^{-4}	1000
1 tesla =	10^{4}	1	10^{7}
1 milligauss =	0,001	10^{-7}	1

Sumber: *Fisika*, 1996

Tanda dan Simbol Matematika

$=$	menyamai
$\cong$	kira-kira menyamai
$\neq$	tidak sama dengan
$\equiv$	identik dengan, didefinisikan sebagai
$>$	lebih besar daripada ($\gg$ jauh lebih besar daripada)
$<$	lebih kecil daripada ($\ll$ jauh lebih kecil daripada)
$\geq$	lebih daripada atau sama dengan (atau, tidak kurang daripada)
$\leq$	kurang daripada atau sama dengan (atau, tidak lebih daripada)
$+$	tambah atau kurang ($\sqrt{4} = \pm 2$)
$\sim$	sebanding dengan (hukum Hooke: $F \sim x$, atau $F = -kx$)
$\sum$	jumlah dari
$\bar{x}$	nilai x rata-rata

Alfabet Yunani

Alpha	A	α	Nu	N	ν
Beta	B	β	Xi	Ξ	ξ
Gamma	Γ	γ	Omicron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsilon	E	ε	Rho	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Theta	Θ	θ	Upsilon	Υ	υ
Lota	I	ι	Phi	Φ	ϕ, φ
Kappa	K	κ	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mu	M	μ	Omega	Ω	ω

Geometri

Lingkaran yang jari-jarinya r : keliling $= 2\pi r$
luas $= \pi r^2$

Bola yang jari-jarinya r : luas $= 4\pi r^2$

$$\text{volume} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Silinder lingkaran tegak yang jari-jarinya r dan tingginya h : luas $= 2\pi r^2 + 2\pi rh$
volume $= \pi r^2 h$

Identitas Trigonometri

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$
$$\sec^2\theta - \tan^2\theta = 1$$
$$\csc^2\theta - \cot^2\theta = 1$$
$$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$$
$$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta = 2\cos^2\theta - 1 = 1 - 2\sin^2\theta$$
$$\sin\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$
$$\cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2i}$$
$$e^{\pm i\theta} = \cos\theta \pm i\sin\theta$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \pm \sin\alpha\sin\beta$$
$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \pm \tan\alpha\tan\beta}$$
$$\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\frac{1}{2}(\alpha \pm \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha \pm \beta)$$

Turunan dan Integral tidak tentu

1.	$\frac{dx}{dx}=1$	1.	$\int dx = x$
2.	$\frac{d}{dx}(au)=a\frac{du}{dx}$	2.	$\int au\ dx = a\int u\ dx$
3.	$\frac{d}{dx}(u+v)=\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dx}$	3.	$\int (u+v)\ dx = \int u\ dx + \int v\, dx$
4.	$\frac{d}{dx}x^m = mx^{m-1}$	4.	$\int x^m\ dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} \qquad (m \neq -1)$
5.	$\frac{d}{dx}\ln x = \frac{1}{x}$	5.	$\int \frac{dx}{x} = \ln\lvert x\rvert$
6.	$\frac{d}{dx}(uv)=u\frac{dv}{dx}+v\frac{du}{dx}$	6.	$\int u\frac{dv}{dx}dx = uv - \int v\frac{du}{dx}dx$
7.	$\frac{d}{dx}e^x = e^x$	7.	$\int e^x\ dx = e^x$
8.	$\frac{d}{dx}\sin x = \cos x$	8.	$\int \sin x\, dx = -\cos x$
9.	$\frac{d}{dx}\cos x = -\sin x$	9.	$\int \cos x\, dx = \sin x$

Perkalian Vektor

Misalkan **i**, **j**, **k** adalah vektor-vektor satuan dalam arah-arah *x*, *y*, *z* maka

$$\mathbf{i}\cdot\mathbf{i} = \mathbf{j}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{k}\cdot\mathbf{k} = 1, \qquad \mathbf{i}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{j}\cdot\mathbf{k} = \mathbf{k}\cdot\mathbf{i} = 0,$$

$$\mathbf{i}\times\mathbf{i} = \mathbf{j}\times\mathbf{j} = \mathbf{k}\times\mathbf{k} = 0,$$

$$\mathbf{i}\times\mathbf{j} = \mathbf{k}, \qquad \mathbf{j}\times\mathbf{k} = \mathbf{i}, \qquad \mathbf{k}\times\mathbf{i} = \mathbf{j}.$$

Setiap vektor $\boldsymbol{a}$ dengan komponen-komponen a_x, a_y, a_z sepanjang sumbu-sumbu *x*, *y*, *z* dapat dituliskan

$$\boldsymbol{a} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$$

Misalkan $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}$ adalah vektor-vektor sebarang yang besarnya *a*, *b*, *c* maka

$$\boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} + \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{c}$$

$$(s\boldsymbol{a})\times\boldsymbol{b} = \boldsymbol{a}\times(s\boldsymbol{b}) = s(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}) \qquad (s = \text{sebuah skalar})$$

Misalkan θ adalah yang lebih kecil dari kedua sudut di antara **a** dan **b** maka

$$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b} = \boldsymbol{b}\cdot\boldsymbol{a} = a_xb_x + a_yb_y + a_zb_z = ab\cos\theta$$

$$\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = -\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{a} = \begin{vmatrix}\mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k}\\ a_x & a_y & a_z\\ b_x & b_y & b_z\end{vmatrix} = (a_yb_z - b_ya_z)\mathbf{i} + (a_zb_x - b_za_x)\mathbf{j} + (a_xb_y - b_xa_y)\mathbf{k}$$

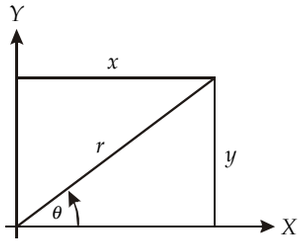
$$|\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}| = ab\sin\theta$$

$$\boldsymbol{a}\cdot(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{b}\cdot(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{a}) = \boldsymbol{c}\cdot(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})$$

$$\boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = (\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{c})\boldsymbol{b} - (\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b})\boldsymbol{c}$$

Teorema Pythagoras

$x^2 + y^2 = r^2$



Hadiah Nobel dalam Fisika

1901	Wilhelm Conrad Röntgen	1845–1923	untuk penemuan sinar yang mengagumkan yang selanjutnya dinamai sinar Röntgen
1902	Hendrik Antoon Lorentz Pieter Zeeman	1853–1928 1865–1943	untuk penelitian mereka ke dalam pengaruh magnetisma pada fenomena radiasi
1903	Antoine Henri Becquerel	1852–1908	untuk penemuannya mengenai radiasi dioaktivitas spontan
	Pierre Curie Marie Sklowdowska-Curie	1859–1906 1867–1934	untuk penelitian bersama mengenai fenomena radiasi yang ditemukan oleh Profesor Henri Becquerel
1904	Lord Rayleigh (John William Strutt)	1842–1919	untuk penyelidikannya mengenai kerapatan gas-gas yang paling penting dan untuk penemuan gas argon
1905	Philipp Eduard Anton	1862–1947	untuk karyanya mengenai sinar katoda
1906	Joseph John Thomson	1856–1940	untuk penyelidikan teoretis dan eksperimentalnya mengenai hantaran listrik oleh gas
1907	Albert Abraham Michelson	1852–1931	untuk alat presisi optiknya dan penyelidikan metrologis yang dilakukan dengan menggunakan alat tersebut
1910	Johannes Diderik van der Waals	1837–1923	untuk karyanya mengenai persamaan keadaan untuk gas dan cairan
1911	Wilhelm Wien	1864–1928	untuk penemuannya mengenai hukum yang mengatur radiasi kalor
1915	William Henry Bragg William Lawrence Bragg	1862–1942 1890–1971	untuk pelayanan mereka dalam analisis struktur kristal dengan menggunakan sinar Röntgen
1917	Charles Glover Barkla	1877–1944	untuk penemuannya mengenai karakteristik radiasi sinar Röntgen dari elemen-elemen
1918	Max Planck	1858–1947	untuk penemuan kuantum tenaga
1921	Albert Einstein	1879–1955	untuk pelayanannya dalam Fisika Teoretik, dan khususnya untuk penemuannya mengenai hukum efek fotolistrik
1922	Niels Bohr	1855–1962	untuk penyelidikan struktur atom, dan radiasi yang memancar keluar dari atom tersebut
1923	Robert Andrews Millikan	1868–1983	untuk karyanya mengenai muatan listrik elementer dan mengenai efek fotolistrik
1925	James Franck Gustav Hertz	1882–1964 1887–1975	untuk penemuan mereka mengenai hukum yang mengatur tumbukan sebuah elektron pada sebuah atom
1927	Arthuir Holly Compton	1892–1962	untuk penemuannya mengenai efek yang dinamakan seperti namanya
1929	Prince Louis Victor de Broglie	1892–1987	untuk penemuannya mengenai sifat gelombang elektron
1932	Werner Heisenberg	1901–1976	untuk terciptanya mekanika kuantum, yang pemakaiannya antara lain, menghasilkan penemuan bentuk alotropik dari hidrogen
1933	Erwin Schrodinger Paul Adrien Maurice Dirac	1887–1961 1902–1984	untuk penemuan bentuk baru yang produktif dari teori atom.
1936	Victor Franz Hess	1883–1964	untuk penemuan radiasi kosmis
1938	Enrico Fermi	1901–1954	untuk demonstrasi adanya elemen radioaktif baru yang dihasilkan oleh penyinaran neutron, dan untuk penemuan reaksi nuklir yang dihubungkan dengan hal tersebut yang dihasilkan oleh neutron lambat
1945	Wolfgang Pauli	1900–1958	untuk penemuan Prinsip Larangan yang juga dinamakan Prinsip Pauli
1954	Max Born	1882–1970	untuk penelitian dasar dalam mekanika kuantum, khususnya untuk interpretasi statistik dari fungsi gelombang

Kamus Fisika

A

Ammeter: Alat untuk mengukur arus listrik.
Ampere: Lambang A. Satuan SI untuk arus listrik.
Arus Listrik: Banyaknya muatan listrik yang mengalir pada suatu penghantar tiap satuan waktu.

B

Berat: Gaya yang menarik benda ke bumi.
Besaran: Sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka.
Besaran Pokok: Besaran yang tidak dapat diturunkan dari besaran lainnya.
Besaran Turunan: Besaran yang diturunkan dari beberapa besaran pokok.

C

Cahaya: Salah satu bentuk radiasi elektromagnetik.
Celsius: Skala temperatur yang titik-titik tetapnya adalah temperatur es pada keadaan setimbang dengan air (0°C) dan air pada keadaan setimbang dengan uap (100°C) pada tekanan standar.
Cermin: Permukaan yang memantulkan sebagian besar cahaya yang jatuh di atasnya.
Cermin Datar: Suatu permukaan datar yang menghasilkan bayangan nyata dan tegak dari sebuah benda nyata, namun bagian depan dan belakang menjadi terbalik.
Cermin Cekung: Suatu permukaan cermin yang berbentuk cekung.
Cermin Cembung: Suatu permukaan cermin yang berbentuk cembung.

D

Daya: Lambang P. Laju kerja yang dilakukan atau laju energi yang dipindahkan.
Dimensi: Hasil kali atau hasil bagi besaran fisis dasar, yang dipangkatkan dengan angka yang tepat, dalam besaran fisis turunan.
Dinamika: Bagian mekanika yang membahas mengenai gerak.

E

Elektromagnetik: Magnet sementara yang berupa besi lunak yang diletakkan di dalam suatu kumparan, kemudian kumparan tersebut dialiri arus listrik.
Energi: Ukuran kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja.

F

Fahrenheit: Skala temperatur dengan temperatur air mendidih ditetapkan sebagai 212 derajat dan temperatur es melebur sebagai 32 derajat.
Frekuensi: Lambang *f*. Jumlah siklus suatu gelombang atau osilasi perdetik yang dinyatakan dalam satuan hertz.

G

Galvanometer: Peralatan untuk mendeteksi dan mengukur arus listrik lemah.
Gaya: Sesuatu yang dapat mempengaruhi gerak dan bentuk suatu benda.
Gaya Gerak Listrik: Beda potensial antara kutub-kutub sumber arus pada saat sumber tidak terpakai.
Gaya Gesekan: Gaya yang melawan gerak pada suatu permukaan yang relatif satu dengan lainnya.
Gaya Reaksi: Suatu gaya yang setara besarnya, namun berlawanan arah dengan gaya lain yang sesuai dengan Hukum Ketiga Newton.
Gaya Sentripetal: Gaya yang bekerja pada benda yang bergerak melingkar dan arahnya selalu menuju pusat lingkaran.
Gelombang: Gangguan periodik dalam suatu medium atau ruang.
Gerak: Perubahan letak suatu benda atau sistem terhadap waktu, yang diukur oleh seorang pengamat tertentu.
Gerak Lurus: Gerak yang lintasannya berbentuk garis lurus.
Gerak Melingkar: Gerak yang lintasannya berbentuk melingkar.
Gyroscope: Piringan dengan pinggiran yang berat yang diletakkan pada gimbal ganda sebagai sumbu piringan yang dapat menyesuaikan setiap arah dalam ruang.
Gravitasi: Gaya tarik menarik antara dua buah benda yang masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

H

Hambatan: ukuran kemampuan bahan untuk melawan aliran arus listrik.

I

Indeks Bias: Perbandingan antara proyeksi sinar datang dengan sinar bias.

J

Joule: Lambang J. Satuan SI untuk kerja dan energi yang sama dengan kerja yang dilakukan jika sebuah titik mengalami gaya sebesar satu newton sehingga bergerak sejauh satu meter pada arah gaya.

K

Kalor: Perpindahan energi dari suatu zat ke zat lainnya dengan diikuti perubahan suhu.

Kalorimeter: Alat ukur untuk mengukur kalor.

Kalor Laten: Jumlah panas yang diserap atau dilepaskan pada suatu bahan yang mengubah fasa fasisnya pada temperatur tetap.

Kapasitas Kalor: Banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sebesar 1°C.

Katrol: Mesin sederhana untuk mengangkat suatu beban yang terdiri atas sebuah roda dengan lingkaran yang rata, bergigi, atau beralir untuk memuat sabuk, tali, atau rantai.

Kecepatan: Besaran yang menunjukkan cepat atau lambatnya gerak suatu benda pada arah tertentu.

Kelajuan: Besar kecepatan dan tidak memiliki arah.

Kelvin: Lambang K. satuan SI untuk temperatur termodinamik yang besarnya sama dengan $\frac{1}{273{,}16}$ temperatur termodinamik titik tripel air.

Konduksi: Perpindahan kalor melalui suatu bahan dari tempat yang memiliki temperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah.

Konduktor: Bahan yang mudah menghantarkan arus listrik.

Konveksi: Proses perpindahan kalor dari suatu bagian fluida ke bagian lainnya akibat fluida itu sendiri.

L

Lensa: Keping gelas, plastik cetakan, atau bahan transparan lain yang berbentuk melengkung, digosok, dan dipoles yang digunakan untuk pembiasan cahaya.

Lensa Cekung: Lensa yang membiaskan sinar-sinar sejajar menuju ke titik api utama nyata.

Lensa Cembung: Lensa yang menyebarkan sinar seolah-olah berasal dari titik api utama maya.

M

Massa: Ukuran kelembaman suatu benda.

Medan Listrik: Gaya yang ditimbulkan oleh suatu muatan listrik yang ditempatkan di dalam ruang.

Medan Magnet: Medan yang dihasilkan oleh suatu magnet.

Mekanika: Ilmu yang mempelajari interaksi antara materi dengan gaya yang bekerja padanya.

Muatan listrik: Sifat yang dimiliki beberapa partikel elementer yang menyebabkan interaksi antara partikel-pertikel tersebut dan menimbulkan fenomena bahan yang dinyatakan sebagai kelistrikan.

P

Pemantulan: Pengembalian seluruh atau sebagian dari suatu berkas partikel atau gelombang jika berkas tersebut bertemu dengan bidang batas antara dua medium.

Pembiasan: Perubahan arah yang dialami oleh muka gelombang pada saat melintas miring dari satu medium ke medium lainnya.

Percepatan: Lambang *a*. Laju pertambahan kelajuan atau kecepatan.

Periode: Waktu *T* yang dibutuhkan untuk melengkapi satu siklus suatu osilasi atau gerak gelombang.

Prisma: Polihedron dengan dua poligon sebangun sejajar sebagai alas dan jajargenjang sebagai sisi-sisi lainnya.

R

Rabun Dekat: Pada cacat mata ini, lensa mata tidak mampu berakomodasi secukupnya untuk membentuk bayangan benda-benda yang dekat pada retina.

Rabun Jauh: Cacat mata ini disebabkan karena lensa mata membiaskan sinar-sinar cahaya sejajar yang datang ke suatu titik api di depan mata.

Radiasi: Energi yang merambat dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau foton.

Reamur: Skala temperatur yang menganggap titik lebur es sebagai 0°R dan titik didih air sebagai 80°R.

S

Satuan: Besaran yang digunakan sebagai patokan untuk mengukur besaran lain yang sejenis dengan besaran tersebut.

Sekon: Satuan dari waktu.

T

Tegangan: Lambang V. Beda potensial yang dinyatakan dalam volt.

Temperatur: Sifat suatu benda atau daerah dalam ruang yang menentukan ada atau tidaknya aliran panas yang masuk dari atau keluar ke benda sekitarnya.

Termometer: Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur suatu bahan.

V

Vektor: Besaran yang memiliki besar dan arah.

Volt: Lambang V. Satuan SI untuk potensial listrik, beda potensial, atau GGL.

Voltmeter: Alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik.

Indeks

A

akomodasi maksimum 95, 97, 99
aksi 68
alat-alat optik 89
alat ukur 2, 4, 5, 8, 35, 40
ampere 9, 11
amperemeter 148
analitis 21, 22, 23
angka penting 8, 9
aquaeous humor 90
arah vektor 20, 21, 22, 25, 26
arus 9, 11, 12, 20
asas black 118
astigmatisma 91, 92

B

bayangan 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
beku 108, 116
besar vektor 20, 22, 26
besaran pokok 9, 10, 12, 13
  skalar 20, 34, 35, 36, 37, 39
  turunan 9, 11, 35
  vektor 34, 35, 36, 37, 39
Black, Joseph 118
Boltzman 121

C

cahaya 9, 10, 11, 12, 108
cair 108, 115, 116, 117, 120
celah diafragma 93
selcius 108, 109
cermin 98, 100
coulomb 11

D

daya 11
  lensa 91
  listrik 143, 144
didih 11, 109, 116
dimensi 9, 12, 13, 34, 35

E

elektromagnetik 121
emisivitas 121
energi 11, 35, 113, 114, 117, 118, 119, 121

F

fahrenheit 108, 109
faktor pengali 12, 13
frekuensi 52, 54

G

gas 115, 116, 117, 120
Galileo 77
gaya 66
  gesekan 73, 74
  gravitasi 70
  normal 70
gelombang
  mikro 162
  radio 163
gerak 38, 39, 41, 42, 44, 45, 52, 53, 54, 66
gerak vertikal 44, 45

H

hambatan jenis 133
  listrik 133
helikopter 57
Hertz, Henrich 52
hipermetropi 90, 91, 92
Hukum Arus Kirchhoff 138
Hukum Kedua Newton 67
Hukum Pertama Newton 66
Hukum Tegangan Kirchhoff 138

I

inframerah 158
interferensi 158
iris 90, 93

J

jangka sorong 2, 3, 5
jarak 2, 10, 20, 21, 34, 35, 36, 38, 40
  fokus 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 99
jatuh bebas 43, 44
joule 11, 113

K

kaca mata 92
kalor 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121
  laten 115, 116, 117

kalori 113
kalorimeter 118
kamera 89, 93
kapasitas 11, 113, 114
  kalor 114
katrol 75
kecepatan 20, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 52, 53, 55, 57, 117, 157, 158
  anguler 52, 53
  linear 52, 53, 55, 57
  rata-rata 36, 38, 42
  sesaat 37, 40
kelajuan 35, 36, 37, 54, 55
keliling lingkaran 52
kelvin 9, 108, 109
ketelitian 2, 3, 4, 5, 6, 8
ketidakpastian 2, 3, 4, 5, 6
koefisien
  gesekan statis 74
  gesekan kinetik 74
  muai luas 111
  muai panjang 110
  muai volume 112
konduksi 119
konduktivitas termal 119, 120
konduktor 130
konveksi 119, 120, 121
konversi satuan 13
kornea 90, 92
kuat arus 9, 20
kwh meter 151

L

lebur 11, 116, 117
lensa 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100
  cekung 91
  cembung 91
  kontak 93
  objektif 96, 97, 98, 99
  okuler 96, 97, 98, 99
  pembalik 99
loop 140, 141
lup 89, 94, 95, 96, 97

M

massa 2, 9, 11, 12, 13, 20, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120
mata 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100
Maxwell, Clerk 156
medan gravitasi 45
melingkar 52, 53
mikro 13, 158
mikrometer sekrup 2
mikroskop 89, 96, 97
miopi 90, 91, 92
mistar 2, 4, 5
muatan 11, 156, 158

N

neraca ohaus 4
Newton, Isaac 66
notasi 20

O

objek 93, 94, 95, 96, 98
ohm 11
Ohm, George Simon 132

P

padat 115, 116, 117, 119, 120
panas 108, 116, 119
peluru Jepang 40
pemantulan 158
pemuaian
  luas 111
  panjang 110
  volume 112
  zat 110
pembiasan 158
pengukuran 2, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 40, 108, 109, 117, 118
  berulang 4, 6
  tunggal 4, 5, 6
perbesaran
  sudut 95, 97, 99
  total 97
percepatan 20, 39, 40, 42, 66
percepatan rata-rata 42
percepatan sentripetal 55, 56
percepatan sesaat 40
periode 52, 53, 54
perpindahan 20, 21, 22, 34, 36, 39, 42, 53, 117, 119, 120, 121
perubahan sudut 54
poligon 23, 24, 25
poros 3
presbiopi 90, 91, 92
principia 66
punctum remotum 91
punctum proximum 92
pupil 90

R

radar 162
radiasi 119, 121

radio 156, 158
rahang pengatur garis tengah dalam 2
rahang pengatur garis tengah luar 2
raksa 108
reaksi 68
reamur 108, 109
resultan 21, 22, 23, 24, 26
retina 90, 91, 93
roket 65
roller coaster 51

S

satuan 2, 9, 10, 11, 12, 13, 35, 52, 54, 113, 114, 117, 119, 121
satuan intensitas cahaya 11
  jumlah zat 11
  massa 11, 117
  panjang 10, 12
  suhu 11
  waktu 11, 119, 121
selubung 3, 5
simpangan baku 6
sinar 158
sinar gamma 161
sinar-X 158
sistem Internasional 9, 11
skala 2, 3, 4, 5, 6, 108, 109
  nonius 2, 3, 5
  terkecil 2, 3, 4, 5, 6
  utama 2, 3, 4, 5
speedometer 35, 37
spektrum 158
Stefan, Josef 121
stopwatch 2, 4
suhu 10, 11, 12, 20, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121

T

tanpa akomodasi 90, 95, 97
tegangan 158
  tali 70
televisi 156, 158
temperatur 108, 109, 110, 111, 113
termometer 108
teropong bintang 98, 99
teropong bumi 99
teropong panggung 100
teropong pantul 98, 100
ticker timer 40
titik 11, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 40, 45, 108, 109, 116
  dekat 90, 91, 92, 95
  jauh 90, 91, 92

U

uap 115, 116, 117
ultraviolet 158
usaha 20

V

vektor 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 34, 35, 36, 37, 39
vektor komponen 25
vektor nol 24
volt 11
voltmeter 146

W

waktu 7, 9, 11, 13, 38, 40
wujud 113, 115, 116, 117

Z

zat 9, 11, 12, 108, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

Daftar Pustaka

Buche, F.J. 1975. *Introduction to Physics for Scientist and Engineers, Fourth Edition.* New York: McGraw-Hill Book Company.

Giancoli, Douglas C. 2000. *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall.

Halliday, David, Robert Resnick, dan Jearl Walker. 2001. *Fundamentals of Physics, Sixth Edition*. New York: John Wiley & Sons.

Hewitt, Paul G. 1998. *Conceptual Physics, Eight Edition*. New York: Addison Wesley Longman.

Jones, E.R. dan Chiulders, R.L. 1994. *Contemporary College Physics, Second Edition*. New York: Addison Wesley Longman.

Sears, F.W. et al. 1983. *University Physics*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.

Sears, F.W. dan Zemanski. 2002. *Fisika Universitas*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Sutrisno. 1983. *Seri Fisika Dasar*. Bandung: Seri Fisika Dasar, Penerbit ITB.

Tipler, Paul A. 1991. *Physics for Scientists and Engineers, Third Edition*. New Jersey: Worth Publisher.

Tim Redaksi Dorling Kindersley. 1997. *Jendela IPTEK, Cetakan Pertama.* Jakarta: Balai Pustaka.

Tim Redaksi Pustaka Setia. 2005. *Panduan SPMB IPA 2006*. Bandung: Pustaka Setia.

Tim Redaksi Usborne Publishing LTD. 2000. *Science Encyclopedia*. London: Usborne Publishing LTD.

Tim Widya Gamma. 2005. Pemantapan Menghadapi Ujian Nasional (UN) dan Ujian Sekolah (US) SMA IPA 2005/2006. Bandung: Yrama Widya.

www.wikipedia.com

Praktis Belajar Fisika

Disajikan untuk menambah pemahaman siswa tentang kehidupan manusia dan berbagai penemuan penting di bidang fisika. Buku ini dapat mengarahkan siswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam memecahkan masalah di lingkungan sekitar.

ISBN 978-979-068-812-4 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-813

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks palajaran 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) Rp12.980,--