

Karyono    Dwi Satya Palupi    Suharyanto



# FISIKA

untuk SMA dan MA Kelas X



Jilid

1



Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional

Karyono    Dwi Satya Palupi    Suharyanto

# **FISIKA**

untuk SMA dan MA Kelas X



Jilid

**1**



**Pusat Perbukuan**  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
dilindungi Undang-undang

**FISIKA**  
untuk Kelas X SMA dan MA

Penyusun : Karyono  
Dwi Satya Palupi  
Suharyanto  
Desain Sampul : Uzi Sulisty Adhi  
Lay out : Rini Pudyastuti  
Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

530.07

KAR

KARYONO

f

Fisika 1 : untuk SMA dan MA Kelas X / penyusun, Karyono,  
Dwi Satya Palupi, Suharyanto.

-- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
vi, 218 hlm. : ilus. ; 25 cm

Bibliografi : hlm. 205

Indeks

ISBN 978-979-068-802-5 (nomor jilid lengkap)

ISBN 978-979-068-805-6

I. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Dwi Satya Palupi  
III. Suharyanto

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit CV. Sahabat

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 2008, 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.

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

## Kata Pengantar

Buku Fisika ini disusun untuk membimbing peserta didik SMA/MA agar; (1) membentuk sikap positif terhadap fisika dengan menyadari keteraturan dan keindahan alam serta mengagungkan kebesaran Tuhan Yang Maha Esa, (2) memupuk sikap ilmiah yaitu jujur, obyektif, terbuka, ulet, kritis dan dapat bekerjasama dengan orang lain, (3) mengembangkan pengalaman untuk dapat merumuskan masalah, mengajukan dan menguji hipotesis melalui percobaan, merancang dan merakit instrumen percobaan, mengumpulkan, mengolah, dan menafsirkan data, serta mengkomunikasikan hasil percobaan secara lisan dan tertulis, (4) mengembangkan kemampuan bernalar dalam berpikir analisis induktif dan deduktif dengan menggunakan konsep dan prinsip fisika untuk menjelaskan berbagai peristiwa alam dan menyelesaikan masalah baik secara kualitatif maupun kuantitatif, dan (5) menguasai konsep dan prinsip fisika serta mempunyai keterampilan mengembangkan pengetahuan, dan sikap percaya diri sebagai bekal untuk melanjutkan pada jenjang yang lebih tinggi serta mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Cakupan materinya di samping sesuai dengan standar isi pendidikan juga disesuaikan dengan kemampuan siswa. Materi buku ini akurat, mutakhir, mengandung wawasan produktivitas, merangsang keingintahuan siswa, mengembangkan kecakapan hidup, dan kontekstual.

Penyajian materinya mudah dipahami karena bahasa yang digunakan dalam buku ini komunikatif dan interaktif, lugas, runtut, dan sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang baku. Lebih dari itu, buku ini disajikan secara sistematis, logis, dan seimbang; dan disertai contoh-contoh dan latihan untuk mendorong kecakapan siswa.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siswa-siswa SMA/MA untuk mencapai cita-cita luhurnya, yaitu menjadi putra bangsa yang terbaik, unggul, dan mempunyai daya saing secara global di masa datang.

Klaten, Mei 2007

Penyusun

## Daftar Isi

<b>Kata Sambutan</b> .....	iii
<b>Kata Pengantar</b> .....	iv
<b>Daftar Isi</b> .....	v
<b>Bab I Besaran dan Satuan</b>	
A. Pengukuran Besaran Fisika (Massa, Panjang, dan Waktu) .....	5
B. Penjumlahan Vektor .....	16
<b>Uji Kompetensi</b> .....	25
<b>Bab II Kinematika dan Dinamika Benda Titik</b>	
A. Analisis Besaran Fisika pada Gerak dengan Kecepatan dan Percepatan Konstan .....	32
B. Analisis Besaran Fisika pada Gerak Melingkar dengan Laju Konstan .....	46
C. Penerapan Hukum Newton sebagai Prinsip Dasar Dinamika untuk Gerak Lurus, Gerak Vertikal dan Gerak Melingkar Beraturan .....	50
<b>Uji Kompetensi</b> .....	68
<b>Uji Kompetensi Akhir Semester 1</b> .....	72
<b>Bab III Prinsip Kerja Alat-Alat Optik</b>	
A. Analisis Alat-Alat Optik Secara Kualitas dan Kuantitas.....	80
B. Penerapan Alat-Alat Optik dalam Kehidupan Sehari-hari .....	97
<b>Uji Kompetensi</b> .....	102
<b>Bab IV Kalor dan Konservasi Energi</b>	
A. Analisis Pengaruh Kalor terhadap Suatu Zat .....	107
B. Analisis Cara Perpindahan Kalor .....	120
C. Penerapan Azas Black dalam Pemecahan Masalah .....	130
<b>Uji Kompetensi</b> .....	134

Bab V Kelistrikan

A. Besaran-Besaran Listrik Rangkaian Sederhana (Satu Loop).....	141
B. Identifikasi Penerapan Listrik AC dan DC dalam Kehidupan Sehari-hari .....	149
C. Penggunaan Alat-Alat Ukur Listrik .....	160
Uji Kompetensi .....	169

Bab VI Gelombang Elektromagnetik

A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik .....	177
B. Aplikasi Gelombang Elektromagnetik pada Kehidupan Sehari-hari .....	186
Uji Kompetensi .....	192
Uji Kompetensi Akhir Semester 2 .....	196

Daftar Pustaka .....	205
----------------------	-----

Lampiran .....	206
----------------	-----

# Bab I

## Besaran dan Satuan

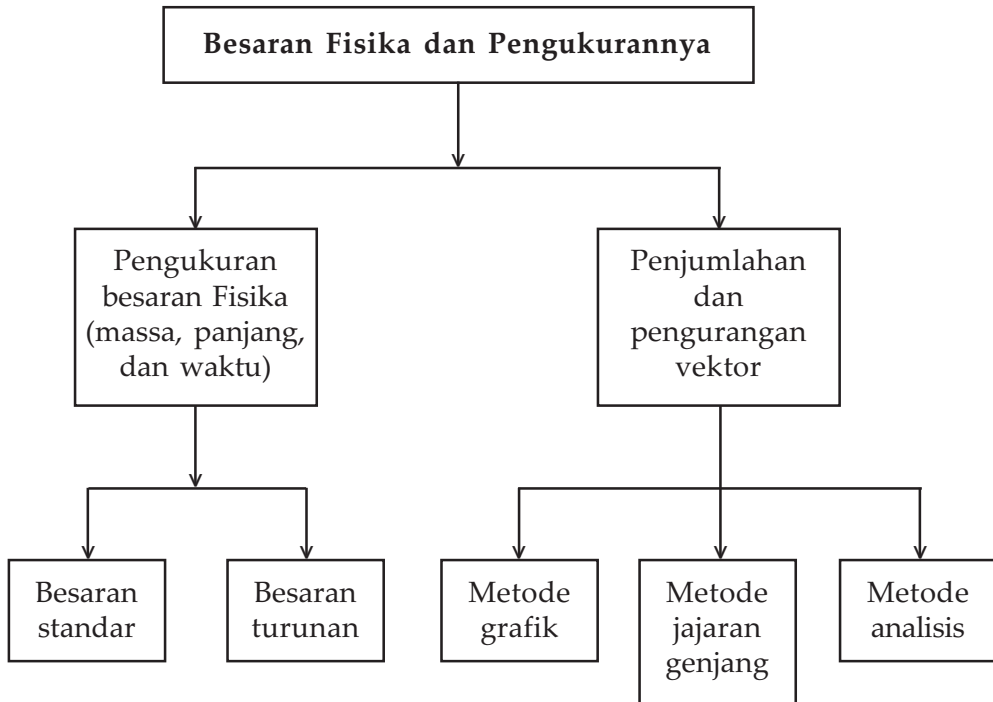


Sumber : [www.bikeracephotos.com](http://www.bikeracephotos.com)

*Fisika adalah ilmu yang mempelajari tentang fenomena alam, baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan matematika. Pengukuran-pengukuran yang teliti sangat diperlukan dalam fisika agar pengamatan gejala alam dapat dijelaskan dengan akurat. Pada lomba balap sepeda diukur dua besaran sekaligus yaitu besaran panjang dan besaran waktu.*



# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran:

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. mengukur besaran fisika (massa, panjang, dan waktu), dan
2. melakukan penjumlahan vektor.



## Motivasi Belajar

Tahukah kalian apa saja yang biasa diukur oleh orang pada zaman dahulu? Pada zaman dahulu orang biasanya hanya mampu mengukur panjang atau luas sesuatu. Di samping panjang dan luas suatu benda, mereka juga biasa menimbang massa suatu benda, misalnya massa satu karung padi.

Tahukah kalian bagaimana mereka menyatakan hal pengukuran ini? Mereka menyatakan hal pengukuran panjang tersebut dengan *jengkal*, atau *depa*. Begitu pula luas suatu benda dengan *tumbak* atau *bata*. Untuk massa suatu benda mereka pun sering menyatakan hasilnya dengan *pikul* atau *dacin*.

Nah, dalam fisika panjang dan massa disebut besaran, sedangkan jengkal, depa, tumbak, atau pun pikul dan dacin disebut *satuan*. Namun karena satuan yang digunakan berbeda-beda, maka satuan seperti itu tidak berkembang. Untuk dapat memahami tentang pengukuran lebih lanjut, pelajailah materi bab ini dengan seksama.



## Kata Kunci

akurat, signifikan, konversi, vektor.

Dalam fisika diperlukan pengukuran-pengukuran yang teliti agar pengamatan gejala alam dapat dijelaskan dengan akurat. Pada pengukuran-pengukuran kita berbicara tentang suatu besaran (kuantitas) yang dapat diukur, dan disebut *besaran fisis*. Contoh besaran fisis, antara lain: panjang, massa, waktu, gaya, simpangan, kecepatan, panjang gelombang, frekuensi, dan seterusnya. Kemampuan untuk mendefinisikan besaran-besaran tersebut secara tepat dan mengukurnya secara teliti merupakan suatu syarat dalam fisika.

*Pengukuran* adalah suatu proses perbandingan sesuatu dengan sesuatu yang lain yang dianggap sebagai patokan (standar) yang disebut *satuan*. Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar suatu satuan dapat digunakan sebagai satuan yang standar. Syarat tersebut antara lain :

1. Nilai satuan harus tetap, artinya nilai satuan tidak tergantung pada cuaca panas atau dingin, tidak tergantung tempat, tidak tergantung waktu, dan sebagainya.
2. Mudah diperoleh kembali, artinya siapa pun akan mudah memperoleh satuan tersebut jika memerlukannya untuk mengukur sesuatu.

3. Satuan dapat diterima secara internasional, dimanapun juga semua orang dapat menggunakan sistem satuan ini.

Sistem satuan yang digunakan saat ini di seluruh dunia adalah sistem satuan SI. SI adalah kependekan dari bahasa Perancis *Systeme International d'Unites*. Sistem ini diusulkan pada *General Conference on Weights and Measures of the International Academy of Science* pada tahun 1960.

Hasil pengukuran akan akurat jika kita mengukur dengan alat ukur yang tepat dan peka. Penggunaan alat ukur yang tidak tepat dan tidak peka, maka pembacaan nilai pada alat ukur yang tidak tepat akan memberi hasil pengukuran yang tidak akurat atau mempunyai kesalahan yang besar.

Gambar beberapa jenis alat ukur untuk besaran panjang, suhu, waktu dan massa ditunjukkan pada **Gambar 1.1**.

Ketepatan hasil ukur salah satunya ditentukan oleh jenis alat yang digunakan. Penggunaan suatu jenis alat ukur tertentu ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu: ketelitian hasil ukur yang diinginkan, ukuran besaran yang diukur, dan bentuk benda yang akan diukur.



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

**Gambar 1.1** Beberapa jenis alat ukur untuk besaran besaran panjang, suhu, waktu dan massa.

- Untuk mengukur besaran panjang sering digunakan mikrometer sekrup, jangka sorong, mistar, meteran gulung, dan sebagainya.
- Untuk mengukur besaran massa sering digunakan neraca pegas, neraca sama lengan, neraca tiga lengan, dan sebagainya.
- Untuk mengukur besaran waktu sering digunakan stopwatch, dan jam.
- Untuk mengukur besaran suhu sering digunakan termometer Celsius, Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin.

Ketelitian suatu pengukuran sangat ditentukan oleh ukuran besaran yang akan diukur dan alat ukur yang digunakan. Contoh jika kita akan menimbang sebuah cincin yang beratnya 5 gram tidak akan teliti jika diukur dengan alat ukur yang biasa dipakai untuk menimbang beras, jadi pengukuran cincin akan lebih teliti jika diukur menggunakan alat ukur perhiasan. Bentuk benda sangat menentukan jenis alat ukur yang akan digunakan.

Contohnya untuk mengukur diameter dalam sebuah silinder yang berongga lebih cocok digunakan jangka sorong daripada sebuah mistar.

## A. Pengukuran Besaran Fisika (Massa, Panjang, dan Waktu)

Fisika mempelajari gejala alam secara kuantitatif sehingga masalah pengukuran besaran fisis memiliki arti yang sangat penting. *Mengukur* adalah membandingkan suatu besaran fisis dengan besaran fisis sejenis sebagai standar (satuan) yang telah disepakati lebih dahulu. Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui nilai ukur suatu besaran fisis dengan hasil akurat. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk memperoleh hasil ukur yang akurat yaitu dengan melakukan pengukuran yang benar, membaca nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur dengan tepat, memperhitungkan aspek ketepatan, ketelitian, dan kepekaan alat ukur yang digunakan.

### 1. Pengukuran

Suatu kenyataan yang harus kita pahami bahwa pada setiap proses pengukuran tidak ada yang memberi hasil yang benar-benar tepat atau dengan kata lain bahwa setiap hasil ukur selalu ada ketidakpastiannya. Besar ketidakpastian bergantung pada keahlian pelaksana percobaan dan pada peralatan yang digunakan, yang sering kali hanya dapat ditaksir.

Sebagai contoh kalau kita mengukur panjang meja dengan batang meteran yang mempunyai skala terkecil 1 cm dan menunjukkan panjang meja tersebut 2,50 m, kita menyatakan secara tidak langsung bahwa panjang meja tersebut mungkin antara 2,495 m dan 2,505 m. Panjang meja berada dalam batas kira-kira  $\pm 0,005 \text{ m} = \pm 0,5 \text{ cm}$  dari panjang yang dinyatakan. Tetapi jika kita menggunakan meteran berskala milimeter dan kita mengukur dengan hati-hati, kita dapat memperkirakan panjang meja berada dalam batas  $\pm 0,5 \text{ mm}$  sebagai ganti  $\pm 0,5 \text{ cm}$ .

Untuk menunjukkan ketelitian ini, kita menggunakan empat angka untuk menyatakan panjang meja, misalnya 2,503 m. Digit yang diketahui yang dapat dipastikan (selain angka nol yang dipakai untuk menetapkan letak koma) disebut *angka signifikan*. Dari contoh di atas maka panjang meja 2,50 m dikatakan mempunyai tiga angka signifikan; sedangkan panjang meja 2,503 m dikatakan mempunyai empat angka signifikan. Contoh lain, misalnya kita menyajikan bilangan

0,00103 sebagai hasil ukur, maka bilangan 0,00103 ini mempunyai tiga angka signifikan (tiga angka nol yang pertama bukanlah angka signifikan tetapi hanyalah untuk menempatkan koma). Secara notasi ilmiah, bilangan ini dinyatakan sebagai  $1,03 \times 10^{-3}$ . Kesalahan siswa yang umum, khususnya sejak digunakannya kalkulator, yaitu menampilkan lebih banyak angka dalam jawaban daripada yang diperlukan.

Sebagai contoh, kalian akan mengukur suatu luas suatu lingkaran dengan menggunakan rumus  $L = \pi r^2$ . Jika kalian memperkirakan jari-jarinya 8 m, dengan kalkulator 10 digit maka diperoleh luas lingkaran yaitu  $\pi(8 \text{ m})^2 = 226,980092 \text{ m}^2$ . Angka-angka di belakang koma ini menyesatkan ketelitian pengukuran luas ini. Kalian memperoleh jari-jari hanya dengan melangkah sehingga berharap bahwa pengukuran kalian dengan ketelitian 0,5 m. Hal ini berarti bahwa jari-jari lingkaran tersebut paling panjang 8,5 m atau paling pendek 7,5 m sehingga hasil ukur luas untuk jari-jari paling panjang adalah  $\pi(8,5 \text{ m})^2 = 226,980092 \text{ m}^2$  dan hasil ukur luas untuk jari-jari paling pendek adalah  $\pi(7,5 \text{ m})^2 = 176,714587 \text{ m}^2$ . Aturan umum yang harus diikuti jika mengalikan atau membagi berbagai bilangan adalah:



### Konsep

*Angka signifikan pada hasil perkalian atau pembagian tidaklah lebih besar daripada jumlah terkecil angka signifikan dalam masing-masing bilangan yang terlibat dalam perkalian atau pembagian.*

Pada contoh di atas, jari-jari lapangan bermain yang hanya sampai satu angka signifikan, sehingga luasnya juga hanya diketahui sampai satu angka signifikan. Jadi hasil perhitungan luas harus ditulis sebagai  $2 \times 10^2 \text{ m}^2$ , yang menyatakan secara tidak langsung bahwa adalah antara  $150 \text{ m}^2$  dan  $250 \text{ m}^2$ .

Ketelitian suatu jumlahan atau selisih dua pengukuran hanyalah sebaik ketelitian paling tidak teliti dari kedua pengukuran itu. Suatu aturan umum yang harus diikuti adalah:



### Konsep

*Hasil dari penjumlahan atau pengurangan dua bilangan tidak mempunyai angka signifikan di luar tempat desimal terakhir dimana kedua bilangan asal mempunyai angka signifikan.*



## Contoh Soal

Hitunglah jumlah dari bilangan 1,040 dan 0,2134.

### Penyelesaian:

Bilangan pertama; 1,040 mempunyai tiga angka signifikan di belakang koma, sedangkan bilangan kedua; 0,2134 mempunyai empat angka signifikan. Menurut aturan tersebut di atas, jumlahan hanya dapat mempunyai tiga angka signifikan di belakang koma.

Jadi hasilnya adalah:  $1,040 + 0,2134 = 1,253$

Dalam kehidupan sehari-hari, kita mendapatkan benda-benda yang beraneka ragam baik bentuk, ukuran panjang maupun massanya. Contoh beberapa benda dengan berbagai ukuran panjang ditunjukkan pada **Tabel 1.1.** di bawah ini.

**Tabel 1.1. Orde magnitudo panjang beberapa benda (Tipler, 1991)**

Ukuran panjang	Meter
Jari-jari proton	$10^{-15}$
Jari-jari atom	$10^{-10}$
Jari-jari virus	$10^{-7}$
Jari-jari amuba raksasa	$10^{-4}$
Jari-jari biji kenari	$10^{-2}$
Tinggi manusia	$10^0$
Tinggi gunung-gunung tertinggi	$10^4$
Jari-jari bumi	$10^7$
Jarak bumi-matahari	$10^{11}$
Jari-jari tata surya	$10^{13}$
Jarak ke bintang terdekat	$10^{16}$
Jari-jari galaksi bimasakti (milky way)	$10^{21}$
Jari-jari alam semesta yang tampak	$10^{26}$

Contoh beberapa benda dengan berbagai ukuran massa ditunjukkan pada **Tabel 1.2.** di bawah ini.

**Tabel 1.2. Orde magnitudo massa beberapa benda (Tipler, 1991)**

Massa	Kg
Elektron	$10^{-30}$
Proton	$10^{-27}$
Asam amino	$10^{-25}$
Hemoglobin (darah merah)	$10^{-22}$
Virus flu	$10^{-19}$
Amuba raksasa	$10^{-8}$
Titik hujan	$10^{-6}$
Semut	$10^{-2}$
Manusia	$10^2$
Roket saturnus-5	$10^6$
Piramida	$10^{10}$
Bumi	$10^{24}$
Matahari	$10^{30}$
Galaksi bimasakti	$10^{41}$
Alam semesta	$10^{52}$

Contoh beberapa kejadian yang sering kita amati dengan berbagai ukuran waktu ditunjukkan pada **tabel 1.3.** di bawah ini.

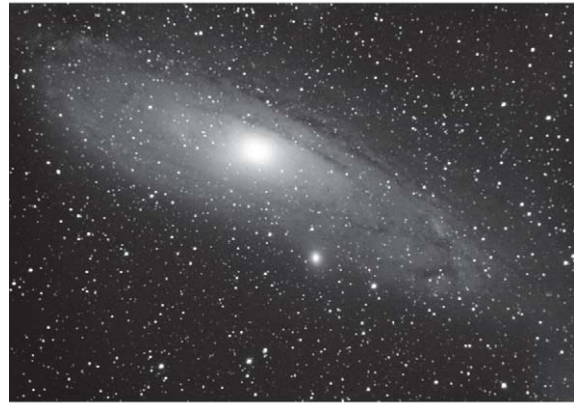
**Tabel 1.3. Orde magnitudo beberapa selang waktu (Tipler, 1991)**

Selang Waktu	Sekon
Waktu untuk cahaya menembus inti	$10^{-23}$
Periode radiasi cahaya tampak	$10^{-15}$
Periode gelombang mikro	$10^{-10}$
Waktu-paro moun	$10^{-6}$
Periode bunyi tertinggi yang masih dapat didengar	$10^{-4}$
Periode denyut jantung manusia	$10^2$
Periode rotasi bumi (1 hari)	$10^5$
Periode revolusi bumi (1 tahun)	$10^7$
Umur manusia	$10^9$
Umur jajaran gunung	$10^{15}$
Umur bumi	$10^{17}$
Umur alam semesta	$10^{18}$

Pada **Gambar 1.2.** di bawah ini ditunjukkan beberapa gambar dan ukuran diameternya.



(a)



(b)

Sumber : [www.kursus.net.gif](http://www.kursus.net.gif)

Sumber : [www.phobes-fi-jpg](http://www.phobes-fi-jpg)

**Gambar 1.2** Gambar ukuran beberapa benda: (a) Ukuran penampang lintang kromosom yang berorde  $10^{-6}$  m, (b) Galaksi Andromeda dengan diameter yang berorde  $10^{21}$  m

## 2. Besaran Pokok

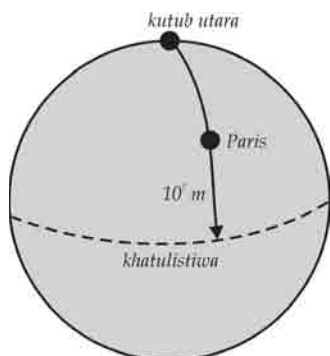
Besaran pokok adalah besaran yang satuannya ditetapkan terlebih dahulu dan besaran pokok ini tidak tergantung pada satuan-satuan besaran lain. Dalam fisika, besaran pokok dan satuan dalam SI (Satuan Internasional) ditunjukkan pada **tabel 1.4.**

**Tabel 1.4.** Besaran pokok, satuan, singkatan dan dimensinya dalam satuan Sistem Internasional (SI)

Besaran Pokok	Satuan	Singkatan	Dimensi
Panjang	meter	m	[L]
Massa	kilogram	kg	[M]
Waktu	sekon	s	[T]
Kuat arus listrik	ampere	A	[I]
Suhu	kelvin	K	[ $\theta$ ]
Jumlah zat	mole	Mol	[N]
Intensitas cahaya	candela	Cd	[J]



### 3. Panjang Baku



**Gambar 1.3** Jarak kutub utara ke khatulistiwa sepanjang meridian yang lewat Paris (Tipler, 1991)

Satuan standar untuk panjang dalam sistem SI adalah *meter*. Satuan meter ini berasal dari Perancis. Pada awalnya, satu meter standar ditetapkan sama dengan  $\frac{1}{10^7} \times$  jarak dari kutub utara ke khatulistiwa sepanjang meredian yang lewat Paris (ditunjukkan pada Gambar 1.3).

Definisi ini dinilai kurang praktis dan sekarang disepakati yang setara (Sumartono, 1994):



#### Konsep

Satu meter standar didefinisikan sebagai jarak yang sama dengan  $1.650.763,73 \times$  panjang gelombang radiasi:  $2P_{10} - 5D_5$  atom Krypton-86.

Dengan definisi ini setiap negara yang memiliki laboratorium standar dapat membuat meter standar turunan yang dapat dipakai di negara tersebut tanpa harus menstandarisasikannya ke Paris.



Sumber : [www.wikipedia](http://www.wikipedia)

**Gambar 1.4** Massa standar yang disimpan di Sevres

### 4. Massa Baku

Satuan standar untuk massa dalam sistem SI adalah *kilogram (kg)*. Massa standar adalah massa silinder platina Iridium yang disimpan di *The Internasional Bereau of Weight and Measures* di Sevres. Massa standar ini ditunjukkan pada **Gambar 1.4**.

Definisi ini dinilai kurang praktis dan sekarang disepakati yang setara satu kilogram standar dapat dihitung dari definisi massa atom isotop Carbon-12 yaitu:



#### Konsep

$$1 \text{ satuan massa atom (sma)} = \frac{1}{12} \times \text{massa atom } C^{12} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

## 5. Waktu Baku

Satuan waktu baku adalah *sekon*. Pada awalnya, sekon standar ditetapkan berdasarkan putaran bumi mengelilingi porosnya, yaitu waktu satu hari. Waktu putaran bumi mengelilingi porosnya tidak sama dari waktu ke waktu sehingga digunakan waktu rata-rata dalam satu tahun, disebut hari rata-rata matahari. Satu sekon standar diperoleh sama dengan  $\frac{1}{86.400} \times$  hari rata-rata matahari. Pengukuran yang lebih teliti menunjukkan bahwa hari rata-rata matahari itu berubah-ubah nilainya dari waktu ke waktu. Definisi ini dinilai kurang praktis dan sekarang disepakati yang setara (Sumartono, 1994).



### Konsep

Satu sekon sama dengan  $9.192.631.770 \times$  periode transisi aras-aras dasar hiperhalus atom Cs-133.

## 6. Kuat Arus Listrik

Satuan baku kuat arus listrik dalam sistem SI adalah *ampere* atau disingkat A.



### Konsep

Satu ampere ditetapkan sama dengan kuat arus listrik pada dua kawat terpisah dan berjarak satu meter satu dengan yang lain sehingga mengalami gaya interaksi  $2\pi \times 10^{-7}$  N.

## 7. Suhu

Satuan baku suhu dalam sistem SI adalah Kelvin atau disingkat K. Dalam kehidupan sehari-hari sering digunakan satuan suhu adalah derajat Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), derajat Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) dan derajat Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ). Suhu atau sering juga disebut temperatur adalah ukuran panas atau dinginnya suatu benda.

Alat untuk mengukur suhu suatu benda disebut *termometer*. Jenis termometer yang sering digunakan adalah termometer Celsius, Fahrenheit dan Reamur.

Skala suhu Celsius dibuat dengan mendefinisikan suhu titik es atau titik beku air normal sebagai nol derajat Celsius ( $0^{\circ}\text{C}$ ) dan suhu titik uap atau titik didih normal air sebagai  $100^{\circ}\text{C}$ . Skala suhu Fahrenheit dibuat dengan mendefinisikan suhu titik es sebagai  $32^{\circ}\text{F}$  dan suhu titik uap sebagai  $212^{\circ}\text{F}$ .

Skala suhu Reamur dibuat dengan mendefinisikan suhu titik es sebagai  $0^{\circ}\text{R}$  dan suhu titik uap sebagai  $80^{\circ}\text{R}$ .

Hubungan antara suhu Fahrenheit  $t_F$  dan suhu Celsius  $t_C$  adalah:

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32^{\circ}) \quad \dots (1.1)$$

Hubungan antara suhu Fahrenheit  $t_F$  dan suhu Reamur  $t_R$  adalah:

$$t_R = \frac{4}{9}(t_F - 32^{\circ}) \quad \dots (1.2)$$

Skala suhu absolut dinamakan skala Kelvin. Satuan suhu Kevin adalah kelvin (K). Perubahan suhu 1 K identik dengan perubahan suhu  $1^{\circ}\text{C}$ .

Hubungan antara suhu Kelvin  $T$  dan suhu Celsius  $t_C$  adalah:

$$T = t_C + 273,15 \quad \dots (1.3)$$

## 8. Jumlah Zat

Satuan baku jumlah zat dalam sistem SI adalah *mol*.



### Konsep

Satu mol didefinisikan sebagai jumlah zat suatu unsur elementer sebanyak jumlah atom yang ada pada  $0,012$  kg karbon yang nilainya kira-kira  $6,0221413 \times 10^{23}$ .

## 9. Intensitas Cahaya

Satuan baku intensitas cahaya dalam sistem SI adalah *kandela*. Kandela berasal dari kata *Candle* (bahasa Inggris) yang berarti lilin.



## Konsep

Satu kandela didefinisikan sebagai intensitas cahaya dalam arah tegak lurus dari suatu benda hitam yang luasnya sama dengan  $\frac{1}{600.000} m^2$  yang memijar pada suhu yang sama dengan suhu platina yang memijar.

Sistem desimal lain yang masih digunakan dalam kehidupan masyarakat kita adalah **sistem cgs**, yang berdasarkan pada sentimeter, gram, dyne, erg, dan sekon. Sebagai contoh: sentimeter (cm) didefinisikan sebagai 0,01 meter (m) dan gram didefinisikan sebagai 0,001 kg.

Dalam praktiknya sering dijumpai penggunaan awalan-awalan di depan satuan-satuan tersebut di atas. Awalan untuk kelipatan-kelipatan sederhana dapat dilihat pada **Tabel 1.5**.

**Tabel 1.5.** Awalan-awalan untuk pangkat dari 10

Kelipatan	Awalan	Singkatan
$10^{18}$	eksa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hekto (+)	h
$10^1$	deka (+)	da
$10^{-1}$	desi (+)	d
$10^{-2}$	senti	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	Atto	a

+ bukan awalan untuk  $10^3$  atau  $10^{-3}$  dan jarang digunakan.

Semua kelipatan tersebut semuanya merupakan pangkat 10 yang disebut *sistem desimal*. Contoh 0,001 sekon sama dengan 1 milisekon (ms); 0,001 A sama dengan 1 mA.

### 3. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang dapat diturunkan dari besaran pokok. Demikian pula satuan besaran turunan adalah satuan yang dapat diturunkan dari satuan besaran pokok. Misalnya, satuan luas dari suatu daerah empat persegi panjang. Luas daerah empat persegi panjang adalah panjang kali lebar. Jadi satuan luas adalah satuan panjang dikalikan satuan lebar atau satuan panjang dipangkatkan dua,  $m^2$ . Satuan volume suatu balok adalah satuan panjang dikalikan satuan lebar dikalikan satuan tinggi atau satuan panjang dipangkatkan tiga,  $m^3$ . Satuan kecepatan adalah satuan panjang dibagi satuan waktu,  $m/s$  atau  $ms^{-1}$ . Contoh beberapa besaran turunan, satuan, singkatan dan dimensinya dalam satuan SI ditunjukkan pada **Tabel 1.5**.

**Tabel 1.5. Beberapa besaran turunan, satuan, singkatan dan dimensinya dalam satuan Sistem Internasional (SI)**

Besaran Turunan	Satuan	Singkatan	Dimensi
Volume	$m^3$	$V$	$[L^3]$
Kecepatan	$m/s$	$v$	$[LT^{-1}]$
Percepatan	$m/s^2$	$a$	$[LT^{-2}]$
Gaya	newton (= N)	$F$	$[MLT^{-2}]$
Tekanan	pascal (= Pa)	$P$	$[ML^{-1}T^{-2}]$
Massa jenis	$kg/m^3$	$\rho$	$[ML^{-3}]$

Kadang-kadang kita perlu untuk melakukan suatu konversi dari sistem satuan ke sistem yang lain. Sebagai contoh kita harus mengonversi suatu satuan luas dari sistem  $10000 \text{ cm}^2$  (cgs) ke satuan luas sistem SI yaitu:

$$10000 \text{ cm}^2 = 10000 \text{ cm}^2 \times (0,01 \text{ m/cm}) \times (0,01 \text{ m/cm}) = 1 \text{ m}^2.$$

Pada umumnya kita melakukan konversi satuan dari sistem satuan bukan SI ke sistem satuan SI. Sebagai contoh, konversikan kelajuan suatu mobil Jaguar (mobil buatan Inggris) yang besarnya  $80 \text{ mil/jam}$  ke satuan meter/sekon atau  $m/s$  yaitu:

$$80 \text{ mil/jam} = 80 \text{ mil/jam} \times 5280 \text{ kaki/mil} \times 0,3048 \text{ m/kaki} \times 1 \text{ jam}/3600 \text{ s} = 35,763 \text{ m/s}.$$

Dengan catatan kita menggunakan tabel konversi yaitu:

$$1 \text{ mil} = 5280 \text{ kaki},$$

$$1 \text{ kaki} = 0,3048 \text{ m},$$

$$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s}.$$



## Keingintahuan

Jika kalian menjual minyak, dan hanya mempunyai alat ukur gayung 1 liter, padahal minyak tersebut tidak ada 1 liter. Bagaimana cara kalian untuk mengetahui banyaknya minyak secara tepat?

Tabel 1.6. Konversi Besaran Panjang, Massa, dan Waktu

Panjang	Massa	Waktu
1 m = 39,37 inchi = 3,281 kaki	1 amu = $1,66 \times 10^{-27}$ kg	1 jam = 3.600 s
1 yard = 0,9144 m	1 ton = 1000 kg	1 hari = 86.400 s
1 inci = 2,54 cm	1 g = $10^{-3}$ kg	1 tahun = $3,16 \times 10^7$ s
1 km = 0,621 mil = 103 m	1 slug = 14,59 kg	
1 mil = 5280 kaki		
1 cm = $10^{-2}$ m		
1 Å = $10^{-10}$ m		



## Contoh Soal

Kelajuan suara di udara adalah  $340 \text{ ms}^{-1}$ . Berapa kelajuan suara bila dinyatakan dalam km/jam?

**Penyelesaian:**

Dari tabel faktor konversi diperoleh hubungan:

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}, \rightarrow \frac{1 \text{ km}}{10^3 \text{ m}} = 1$$

$$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s} \rightarrow \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ jam}} = 1$$

$$\begin{aligned}
 v &= 340 \text{ m/s} = \frac{340 \text{ m}}{1 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ km}}{10^3 \text{ m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ jam}} \\
 &= 340 \times \frac{3600}{10^3} \text{ km/jam} \\
 &= 1224 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$



## Kewirausahaan : Inovatif

Perhatikan cerita di bawah ini!

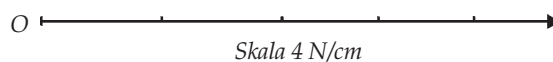
Pada suatu hari Minggu, Shinta seorang murid SMA kelas X di Kota Bandung diajak ibu dan kakaknya yang bernama Ratih yang sudah kuliah di Fakultas Biologi Universitas Gajah Mada Semester III ke Pasar Beringharjo di Kota Yogyakarta. Ibu Shinta ingin membeli kain batik di Pasar Beringharjo tersebut. Setelah selesai mereka belanja, Ratih mengajak Ibu dan adiknya untuk singgah di kedai lotek di Pasar Beringharjo tersebut. Di kedai tersebut dijual suatu jenis makanan tradisional yang disebut lotek. Lotek disajikan dengan aroma/rasa pedas dengan cara menambah cabai pada bumbunya. Setelah sampai di kedai lotek, Ratih memesan 1 porsi lotek pedas dengan jumlah cabai merah 6 biji, sedang ibunya juga memesan 1 porsi lotek pedas dengan jumlah cabai 4 biji dan 1 porsi lotek dengan jumlah cabai 2 biji untuk saya karena ibu mengetahui bahwa saya tidak suka yang pedas-pedas.

Diskusikan dengan teman-temanmu dan laporkan hasil diskusi kamu itu secara tertulis kepada guru bidang Fisika:

1. Pikirkan bagaimana cara mengukur kepedasan cabai merah tersebut?
2. Dari penggalan cerita tersebut di atas, pikirkan apa satuan kepedasan sebuah cabai merah tersebut di atas atau cabai yang pernah kamu rasakan?

## B. Penjumlahan Vektor

Besaran dalam fisika dibedakan menjadi besaran vektor dan besaran skalar. *Besaran vektor* adalah suatu besaran yang mempunyai *nilai* dan *arah*, contoh: gaya, tekanan, kecepatan, percepatan, momentum dan sebagainya. Besaran skalar adalah suatu besaran yang mempunyai nilai tetapi tidak mempunyai arah, contoh: suhu, volume, massa, dan sebagainya. Pada besaran skalar berlaku operasi-operasi aljabar, tetapi pada besaran vektor operasi-operasi aljabar tidak berlaku. Penulisan besaran vektor secara internasional disepakati dengan tanda panah di atas lambang atau dicetak tebal sedangkan untuk besaran skalar dicetak biasa. Di samping hal ini, besaran vektor digambarkan dengan anak panah. Panjang anak panah menyatakan nilai besar vektor, sedangkan arah mata panah menyatakan arah vektor. Pada **Gambar 1.3.** ditunjukkan sebuah vektor gaya  $\vec{F}$  sepanjang  $OA = 5 \text{ cm}$ . Setiap 1 cm menyatakan gaya sebesar 4 N, maka besar gaya  $F = 5 \text{ cm} \times 4 \text{ N/cm} = 20 \text{ N}$ . Titik O disebut pangkal vektor sedangkan titik A disebut ujung vektor.



**Gambar 1.3** Sebuah vektor gaya  $\vec{F} = 20 \text{ N}$ .

Sebuah vektor dinyatakan berubah jika besar atau arah vektor atau keduanya berubah. Besar vektor ditulis dengan harga mutlak atau cetak biasa. Contoh  $\vec{F} = 20 \text{ N}$  maka besar vektor  $\vec{F}$  ditulis  $F$  atau  $|F| = 20$  satuan.

## 1. Metode Penjumlahan Vektor

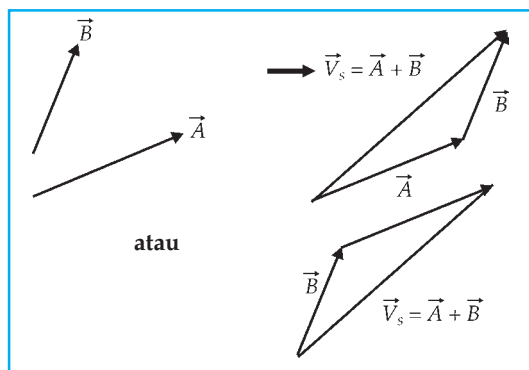
Dua buah vektor atau lebih dapat dijumlahkan. Hasil penjumlahan tersebut disebut *vektor resultan*.

### a. Penjumlahan Vektor dengan Metode Grafis (Poligon)

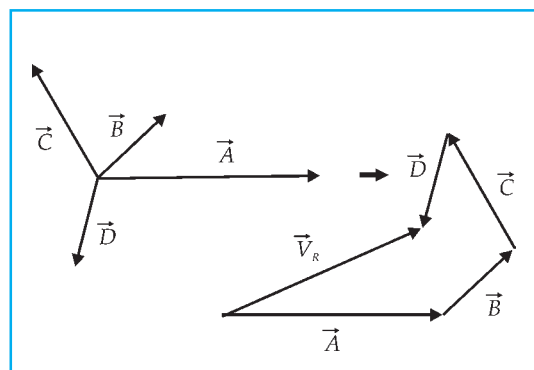
Sebagai contoh suatu vektor  $\vec{A}$  ditambah dengan suatu vektor  $\vec{B}$  maka vektor resultannya  $\vec{V}_R$ .

Langkah-langkah penjumlahan vektor secara grafis (metode poligon) adalah sebagai berikut:

1. Gambar vektor  $\vec{A}$  sesuai dengan skala dan arahnya.
2. Gambar vektor  $\vec{B}$  sesuai dengan skala dan arahnya dengan menempelkan pangkal vektor  $\vec{B}$  pada ujung vektor  $\vec{A}$ .



**Gambar 1.4.** Penjumlahan dua buah vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan metode grafis (poligon)



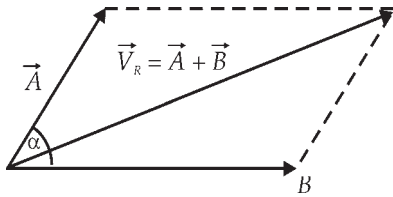
**Gambar 1.5.** Penjumlahan empat buah vektor  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{C}$  dan  $\vec{D}$  secara grafis (metode poligon)  $\vec{V}_R = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$

Penjumlahan dengan metode poligon maka vektor resultan  $\vec{V}_R$  adalah segmen garis berarah dari pangkal vektor  $\vec{A}$  ke ujung vektor  $\vec{B}$  yang menyatakan hasil penjumlahan vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ .

### b. Penjumlahan Vektor dengan Metode Jajaran Genjang

Penjumlahan dua buah vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan metode jajaran genjang yaitu dengan cara menyatukan pangkal kedua vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ , kemudian dari titik ujung vektor  $\vec{A}$  ditarik garis





**Gambar 1.6** Penjumlahan dua buah vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan metode jajar genjang.

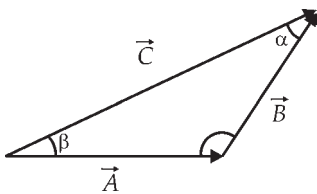
sejajar dengan vektor  $\vec{B}$  dan juga dari titik ujung vektor  $\vec{A}$  ditarik garis sejajar dengan vektor  $\vec{B}$ . Vektor resultan  $\vec{V}_R$  diperoleh dengan menghubungkan titik pangkal ke titik perpotongan kedua garis sejajar tersebut di atas.

Besar vektor resultan  $\vec{V}_R$  yang ditunjukkan pada **Gambar 1.6.** di atas dapat dicari dengan persamaan cosinus berikut ini:

$$V_R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha} \quad \dots (1.4)$$

dengan  $V_R$  = besar vektor resultan,  
 $A$  dan  $B$  = besar vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ ,  
 $\alpha$  = sudut antara vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ .

Arah vektor resultan terhadap salah satu vektor secara matematis dapat ditentukan dengan menggunakan aturan sinus. Contoh suatu vektor  $\vec{A}$  ditambah vektor  $\vec{B}$  dan hasil penjumlahan ini adalah vektor  $\vec{C}$ .



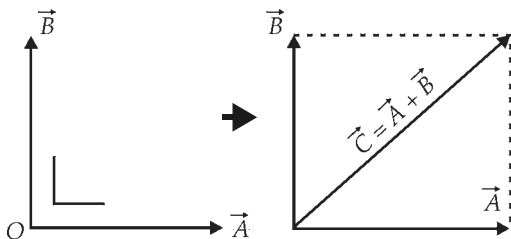
**Gambar 1.7** Penjumlahan dua vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  menjadi vektor  $\vec{C}$ .

$$\frac{A}{\sin \alpha} = \frac{B}{\sin \beta} = \frac{C}{\sin \gamma} \quad \dots (1.5)$$

dengan  $\alpha, \beta, \gamma$  merupakan sudut-sudut yang terbentuk antara dua vektor seperti **gambar 1.7.**

Jika vektor  $\vec{A}$  dan vektor  $\vec{B}$  saling tegak lurus maka besar vektor penjumlahannya  $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$  dapat ditentukan dengan dalil Phytagoras yaitu:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \dots (1.6)$$



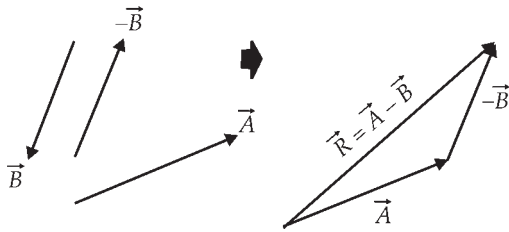
**Gambar 1.8** Penjumlahan dua vektor yang saling tegak lurus.

dengan :  $A$  = besar vektor  $\vec{A}$ ,  
 $B$  = besar vektor  $\vec{B}$ ,  
 $C$  = besar vektor  $\vec{C}$ .

## 2. Metode Pengurangan Vektor

Seperti pada penjumlahan vektor, suatu vektor bisa dikurangkan dengan vektor lain. Pengurangan suatu vektor  $\vec{A}$  dengan vektor  $\vec{B}$  sama dengan penjumlahan vektor  $\vec{A}$  dengan negatif vektor  $\vec{B}$  (atau  $-\vec{B}$ ).

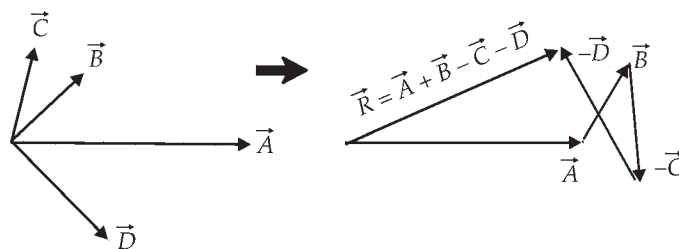
### a. Pengurangan Vektor dengan Metode Grafis (Metode Poligon)



Gambar 1.9 Pengurangan dua buah vektor.

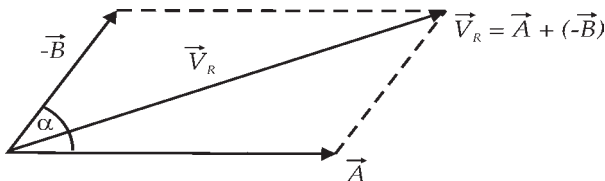
Pengurangan vektor pada dasarnya sama dengan penjumlahan vektor negatif. Pengurangan vektor pada Gambar 1.9 dilakukan dengan cara membuat vektor  $-\vec{B}$  (vektor yang besarnya sama dengan vektor  $\vec{B}$ , sejajar, tetapi arahnya berlawanan). Suatu vektor  $\vec{A}$  dikurangi dengan vektor  $\vec{B}$  dan hasilnya vektor  $\vec{R}$  yaitu:

$$\vec{R} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) \quad \dots (1.4)$$



Gambar 1.10 Penjumlahan dan pengurangan empat buah vektor

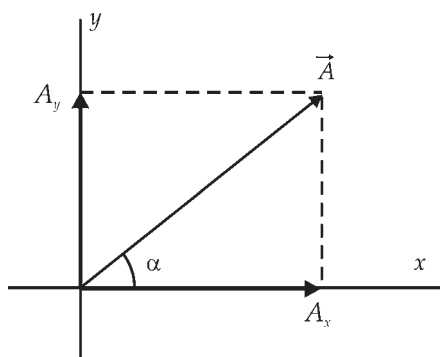
### b. Pengurangan Vektor dengan Metode Jajar Genjang



Gambar 1.11 Pengurangan dua buah vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan metode jajar genjang.

Pengurangan vektor  $\vec{A}$  dengan vektor  $\vec{B}$  dengan metode jajar genjang yaitu sama dengan penjumlahan vektor  $\vec{A}$  dengan vektor  $-\vec{B}$ .

### 3. Penguraian Vektor



**Gambar 1.12** Penguraian sebuah vektor  $\vec{A}$  menjadi dua buah vektor  $\vec{A}_x$  dan  $\vec{A}_y$  yang saling tegak lurus

Penguraian suatu vektor adalah kebalikan dari penjumlahan dua vektor. Contoh sebuah vektor  $\vec{A}$  dengan titik tangkap di O diuraikan menjadi dua buah vektor yang terletak pada garis  $x$  dan  $y$ .

Suatu vektor  $\vec{A}$  diuraikan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus terletak pada sumbu  $x$  dengan komponen  $A_x$  dan pada sumbu  $y$  dengan komponen  $A_y$ . Penguraian sebuah vektor  $\vec{A}$  menjadi dua buah vektor  $A_x$  dan  $A_y$  yang saling tegak lurus ditunjukkan pada **Gambar 1.12**. Dari gambar tersebut dapat diperoleh hubungan:

$$A_x = A \cos \alpha \quad \dots (1.8)$$

$$A_y = A \sin \alpha \quad \dots (1.9)$$

Sebaliknya jika diketahui dua buah vektor  $A_x$  dan  $A_y$  maka arah vektor resultan ditentukan oleh sudut antara vektor tersebut dengan sumbu  $x$  yaitu dengan persamaan:

$$\tan \alpha = \frac{A_y}{A_x} \quad \dots (1.10)$$



#### Contoh Soal

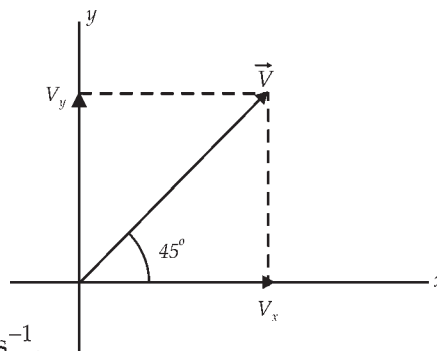
Sebuah vektor kecepatan  $\vec{V} = 10 \text{ m/s}$  bersudut  $45^\circ$  terhadap sumbu  $x$ . Tentukan besar komponen vektor  $\vec{V}$  tersebut pada sumbu  $x$  dan  $y$ .

**Penyelesaian:**

Dengan menggunakan persamaan (1.5) dan (1.9) diperoleh:

$$V_x = V \cos \alpha = 10 \cos 45^\circ = 10 \times \frac{1}{2}\sqrt{2} = 5\sqrt{2} \text{ ms}^{-1}.$$

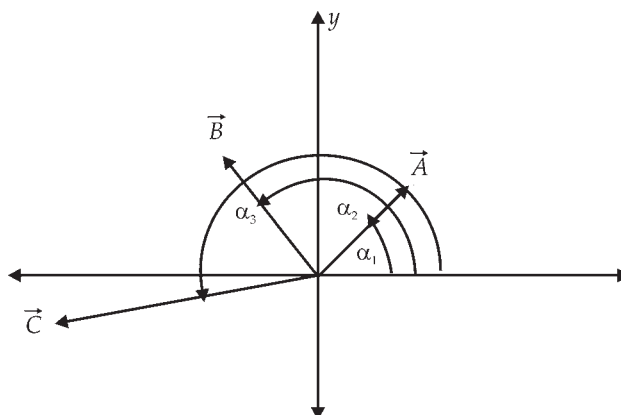
$$V_y = V \sin \alpha = 10 \sin 45^\circ = 10 \times \frac{1}{2}\sqrt{2} = 5\sqrt{2} \text{ ms}^{-1}.$$



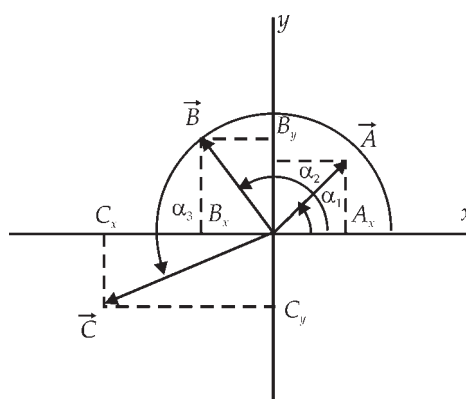
## 4. Penjumlahan Vektor dengan Cara Analisis

Penjumlahan atau pengurangan dua buah vektor atau lebih dengan metode grafis kadang tidak praktis dan kita banyak mengalami kesulitan, misalnya kita tidak mempunyai mistar atau busur derajat. Penjumlahan atau pengurangan dua buah vektor atau lebih yang setitik tangkap dapat diselesaikan dengan metode analisis. Metode analisis ini dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Membuat koordinat yang saling tegak lurus (sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ) pada titik tangkap vektor-vektor tersebut.
2. Menguraikan masing-masing vektor menjadi komponen-komponen pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .
3. Menjumlahkan semua komponen pada sumbu  $x$  menjadi  $R_x$  dan semua komponen pada sumbu  $y$  menjadi  $R_y$ .
4. Vektor resultan hasil penjumlahan tersebut diperoleh dengan menjumlahkan komponen vektor  $R_x$  dan  $R_y$ .



Gambar 1.13. Penjumlahan tiga vektor setitik tangkap dengan metode analisis.



Gambar 1.14. Penguraian tiga vektor setitik tangkap pada sumbu  $x$  dan  $y$ .

Dari **gambar 1.14** diperoleh bahwa jumlah komponen pada sumbu  $x$  ( $= R_x$ ) dan pada sumbu  $y$  ( $= R_y$ ):

$$R_x = A_x + B_x + C_x = A \cos \alpha_1 + B \cos \alpha_2 + C \cos \alpha_3$$

$$R_y = A_y + B_y + C_y = A \sin \alpha_1 + B \sin \alpha_2 + C \sin \alpha_3$$

Nilai vektor resultannya diperoleh dengan menggunakan analog dengan persamaan (1.6) yaitu:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \dots (1.11)$$

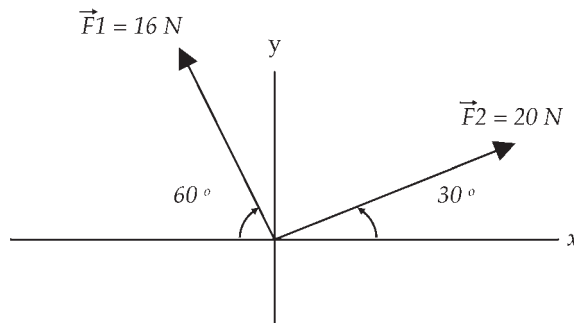
Arah vektor resultan  $\vec{R}$  terhadap sumbu  $x$  positif dapat dihitung dengan persamaan:

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} \quad \dots (1.12)$$



### Contoh Soal

1. Diketahui dua buah vektor gaya  $\vec{F}_1 = 20 \text{ N}$  dan  $\vec{F}_2 = 16 \text{ N}$  dengan arah seperti ditunjukkan pada gambar 1.15. Hitunglah besar vektor resultan dari kedua vektor tersebut dan sudut antara vektor resultan dengan sumbu  $x$ .



Gambar 1.15

#### Penyelesaian:

Jumlah komponen-komponen gaya ke arah sumbu  $x$ :

$$R_x = F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 60^\circ = 20 \times 0,87 - 16 \times 0,50 = 17,4 - 8,0 = 9,4 \text{ N}$$

Jumlah komponen-komponen gaya ke arah sumbu  $y$ :

$$\begin{aligned} R_y &= F_1 \sin 30^\circ + F_2 \sin 60^\circ = 20 \times 0,5 + 16 \times 0,87 = 10,0 + 13,92 \\ &= 23,92 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai vektor resultannya diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.11) yaitu:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \\ &= \sqrt{(9,4)^2 + (23,92)^2} \\ &= \sqrt{88,36 + 572,17} \end{aligned}$$

$$R = \sqrt{660,53} = 25,7 \text{ N}$$

Arah vektor resultan  $\vec{R}$  terhadap sumbu x positif dapat dihitung dengan persamaan (1.9) yaitu:

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{23,92}{9,4} = 2,54$$

Jadi sudut antara vektor resultan dengan sumbu x adalah  $68,5^\circ$ .



## Life Skills : Kecakapan Akademik

*Perhatikan penggalan cerita di bawah ini!*

Amat dan Rita adalah murid sebuah SMA Negeri di Kota Yogyakarta. Amat tinggal bersama orang tuanya di daerah Yogyakarta bagian barat dan berjarak 7 km dari sekolah. Setiap hari Amat ke sekolah naik sepeda motor. Sekolah Amat setiap hari masuk pukul 7.00 WIB dan dia selalu berangkat dari rumah pukul 6.45 WIB. Rita tinggal di tempat pamannya yang berjarak 400 m dari sekolahnya. Dia berangkat ke sekolah dengan berjalan kaki dan selalu berangkat pukul 6.45 WIB. Amat dan Rita selalu sampai di sekolah pukul 6.55 WIB. Amat berangkat ke sekolah dengan kelajuan rata-rata 42 km/jam, sedangkan Rita berangkat ke sekolah dengan kelajuan rata-rata 2,4 km/jam. Diskusikan tugas di bawah ini dengan salah satu temanmu dan laporkan hasil diskusi itu secara tertulis kepada guru bidang Fisika:

1. Setelah membaca penggalan cerita di atas, tuliskan alamat sekolah dan tempat tinggal kamu. Buatlah sebuah peta dengan skala 1 : 100.000, kemudian gambarlah vektor posisi sekolah kamu jika dibuat dari tempat tinggal kamu (sebagai pusat koordinat) dalam kertas grafik.
2. Gambarlah dan mintalah pendapat teman kamu tentang vektor posisi sekolah kamu tersebut jika pusat koordinatnya adalah tempat tinggal teman diskusimu pada peta yang kamu buat pada soal 1 di atas.



## Ringkasan

1. Pengukuran adalah suatu proses perbandingan sesuatu dengan sesuatu yang lain yang dianggap sebagai patokan (standar) yang disebut satuan.
2. Ketepatan hasil ukur salah satunya ditentukan oleh jenis alat yang digunakan.
3. Mengukur adalah membandingkan suatu besaran fisis dengan besaran fisis sejenis sebagai standar (satuan) yang telah disepakati lebih dahulu.
4. Besaran pokok adalah besaran yang satuannya ditetapkan terlebih dahulu dan besaran pokok ini tidak tergantung pada satuan-satuan besaran lain.
5. Besaran turunan adalah besaran yang dapat diturunkan dari besaran pokok.
6. Penjumlahan atau pengurangan dua buah vektor atau lebih yang setitik tangkap dapat diselesaikan dengan metode analisis.
7. Pengurangan suatu vektor adalah kebalikan dari penjumlahan dua vektor.
8. Besar vektor resultan  $V_R$  dari penjumlahan dua buah vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  yang membentuk sudut  $\alpha$  dapat dicari dengan persamaan cosinus:  
$$V_R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2 AB \cos \alpha}$$
9. Metode analisis ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:
  - a. Membuat koordinat yang saling tegak lurus (sumbu x dan sumbu y) pada titik tangkap vektor-vektor tersebut.
  - b. Menguraikan masing-masing vektor menjadi komponen-komponen pada sumbu x dan sumbu y.
  - c. Menjumlahkan semua komponen pada sumbu x menjadi  $R_x$  dan semua komponen pada sumbu y menjadi  $R_y$ .Vektor resultan hasil penjumlahan tersebut diperoleh dengan menjumlahkan komponen vektor  $R_x$  dan  $R_y$ . Nilai vektor resultannya diperoleh dengan menggunakan persamaan:  
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$



## Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

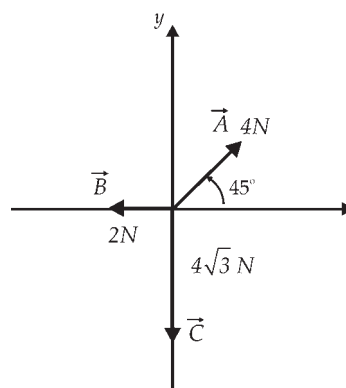
1. Suatu pipa berbentuk silinder berongga dengan diameter dalam 1,8 mm dan diameter luar 2,2 mm. Alat yang tepat untuk mengukur diameter dalam pipa tersebut adalah ....
  - a. mistar
  - b. mikrometer
  - c. jangka sorong
  - d. tachometer
  - e. spirometer
2. Besaran-besaran di bawah ini yang merupakan besaran pokok adalah ....
  - a. massa, panjang, luas
  - b. massa, panjang, jumlah zat
  - c. waktu, suhu, volume
  - d. kuat arus, tegangan, daya
  - e. gaya, percepatan, massa
3. Suatu mobil bergerak dengan kecepatan 54 km/jam. Jika dinyatakan dalam satuan SI, maka kecepatan mobil tersebut adalah ....
  - a. 0,67 m/s
  - b. 1,5 m/s
  - c. 15 m/s
  - d. 67 m/s
  - e. 150 m/s
4. Suhu badan seorang anak yang sedang demam adalah 35 °C. Jika dinyatakan dalam skala Reamur maka suhu badan anak tersebut adalah ....
  - a. 28 °R
  - b. 60 °R
  - c. 67 °R
  - d. 87,5 °R
  - e. 120,5 °R
5. Jika suhu suatu benda adalah 40 °C maka dalam skala Fahrenheit suhu benda tersebut adalah ....
  - a. 32 °F
  - b. 50 °F
  - c. 72 °F
  - d. 104 °F
  - e. 122 °F



6. Seorang peternak ayam setiap hari menghasilkan 25 telur. Jika rata-rata sebutir telur massanya  $(62,5 \pm 2,0)$  gram jika diukur dengan neraca/lengan sama, maka massa 95 telur tersebut adalah ....
  - a. 5937 gram
  - b. 5937,0 gram
  - c. 5937,5 gram
  - d. 5938,0 gram
  - e. 5985 gram
7. Dimensi tekanan adalah ....
  - a.  $[ ML^2T^{-2}]$
  - b.  $[ ML^1T^{-2}]$
  - c.  $[ ML^1T^{-1}]$
  - d.  $[ ML^{-1}T^{-2}]$
  - e.  $[ ML^{-1}T^{-1}]$
8. Dimensi massa jenis adalah ....
  - a.  $[ ML^{-2}]$
  - b.  $[ ML^{-3}]$
  - c.  $[ MLT^{-1}]$
  - d.  $[ MLT^{-2}]$
  - e.  $[ MLT^{-1}]$
9. Jika hasil pengukuran suatu meja adalah panjang 1,50 m dan lebarnya 1,20 m maka luas meja tersebut menurut aturan penulisan angka penting adalah ....
  - a. 1,8 m<sup>2</sup>
  - b. 1,80 m<sup>2</sup>
  - c. 1,8000 m<sup>2</sup>
  - d. 1,810 m<sup>2</sup>
  - e. 1,820 m<sup>2</sup>
10. Pada pengukuran panjang suatu benda diperoleh hasil pengukuran 0,7060 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran tersebut ....
  - a. dua
  - b. tiga
  - c. empat
  - d. lima
  - e. enam

**B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas dan singkat!**

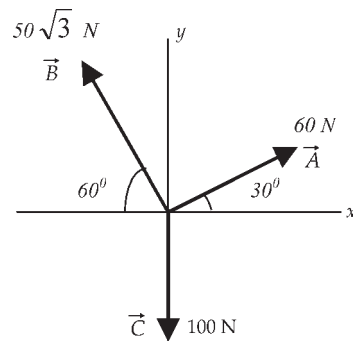
1. Dua buah vektor  $a$  dan  $b$  ( $a < b$ ) resultannya adalah  $R$ . Bila  $R = 3a$  dan sudut antara  $R$  dan  $a$  adalah  $30^\circ$ , hitung besar sudut apit antara  $a$  dan  $b$ .
2. Tuliskan dengan aturan notasi ilmiah dan sebutkan orde besarnya.
  - a. 1.250.000 m
  - b. 8.500.000 Hz
  - c. 0,0000250 F
  - d. 0,0000087 H
3. Dua buah vektor saling tegak lurus, resultannya adalah 40 N. Resultan ini membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap vektor kedua. Berapa besar vektor kedua ini?
4. Hasil pengukuran di bawah ini terdiri dari berapa angka penting?
  - a. 0,250 A
  - b. 1,25 m
  - c. 240 m
  - d. 0,0050 s
  - e. 2,0205 A
5. Dua buah gaya  $F_1$  dan  $F_2$  masing-masing mengapit 10 N dan 5 N mengapit sudut sebesar  $30^\circ$ , hitung besarnya  $|F_1 - F_2|$  (selisih kedua gaya tersebut).
6. Dua buah gaya  $F_1$  dan  $F_2$  mengapit sudut  $\alpha$ . Jika  $F_1 = 3 F_2$  dan  $|F_1 - F_2| = 2$ , hitung  $\alpha$ .
7. Dua buah vektor  $a$  dan  $b$  membentuk sudut  $60^\circ$  satu dengan yang lain dan resultannya 7 N. Bila  $a = 3$  N hitung besar vektor  $b$ .
8. Tiga buah vektor  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ , dan  $\vec{C}$  setitik setangkap, besar dan arah seperti gambar di samping ini. Hitunglah:
  - a. Komponen pada sumbu  $x$  dan  $y$ ,  $R_x$  dan  $R_y$ .
  - b. Resultan  $R$ .



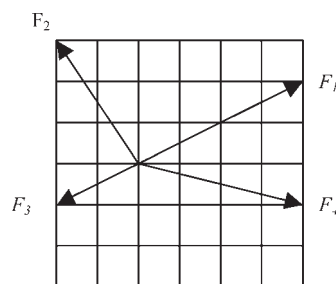
9. Tiga buah vektor  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ , dan  $\vec{C}$  setitik setangkap, besar dan arah seperti gambar di samping ini.

Hitunglah:

- Komponen pada sumbu  $x$  dan  $y$ ,  $R_x$  dan  $R_y$ .
- Resultan  $R$ .



10. Empat buah vektor seperti pada gambar di bawah ini, 1 skala = 2 N.



Hitunglah:

- $R_x$ .
- $R_y$ .
- $R$ .
- Arah  $R$ .



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

- pengukuran dan besaran dalam fisika,
- pengertian besaran pokok dan macamnya,
- pengertian besaran turunan dan macamnya,
- penjumlahan vektor dengan metode grafik, metode jajargenjang, dan metode analisis.

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajarilah kembali sebelum melanjutkan pada bab berikutnya.

## Bab II

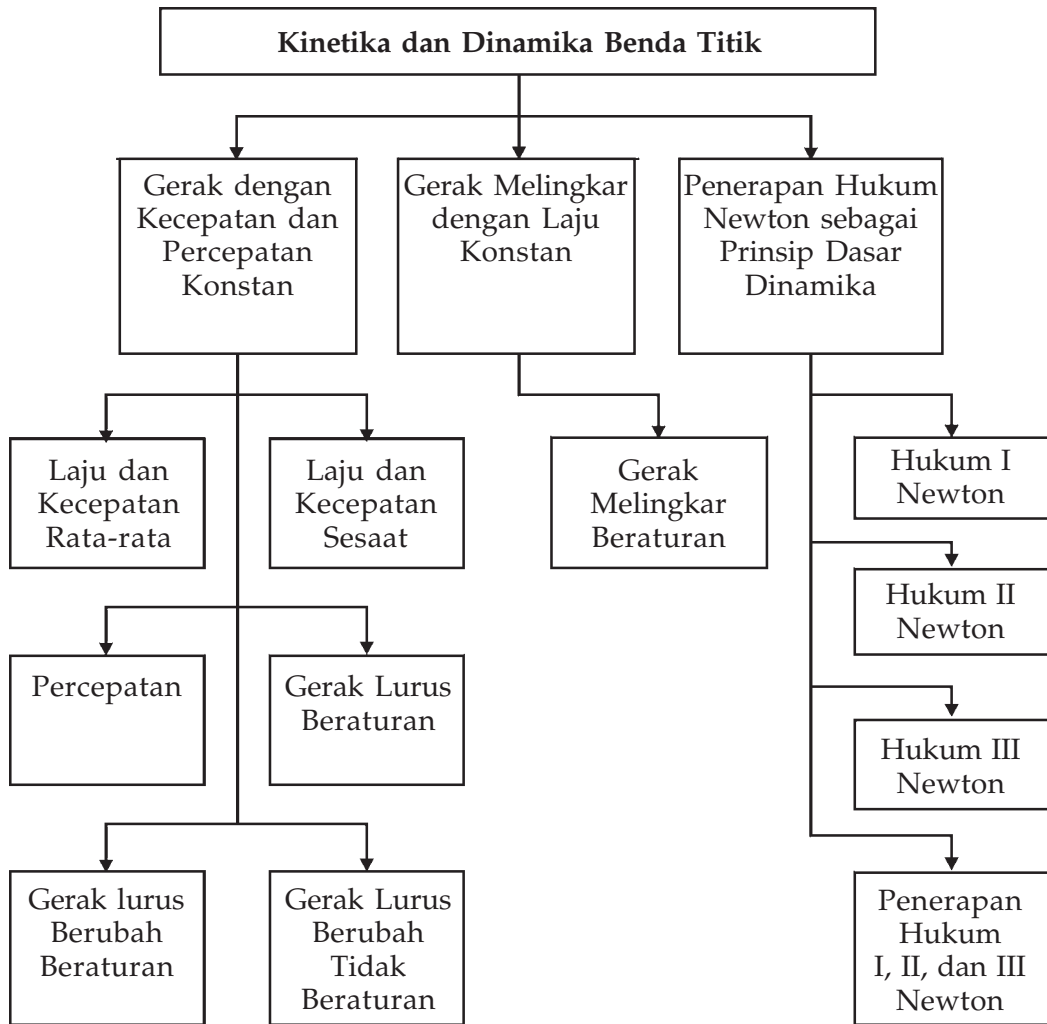
# Kinematika dan Dinamika Benda Titik



Sumber : [www.wallpaper.box.com](http://www.wallpaper.box.com)

Suatu benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya senantiasa berubah terhadap suatu titik acuan tertentu. Seorang pembalap sepeda motor yang sedang melaju pada lintasan dikatakan bergerak terhadap orang yang menonton di pinggir lintasan.

# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. menganalisis besaran fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan,
2. menganalisis besaran fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan, dan
3. menerapkan Hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.



## Motivasi Belajar

Dalam kehidupan sehari-hari, kita melihat orang berjalan, orang naik sepeda, orang naik sepeda motor, orang mengendarai mobil, orang naik pesawat terbang atau dengan cara lain dalam rangka bepergian dari suatu tempat ke tempat lain. Pengamatan tentang hal tersebut di atas menggambarkan adanya peristiwa perpindahan orang tersebut dari satu tempat ke tempat lain atau dengan kata lain orang tersebut bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Semua benda dalam alam semesta ini bergerak, burung-burung terbang, planet berputar, pohon-pohon tumbang, dan elektron-elektron bergerak dalam lintasannya. Konsep gerak sangat penting dalam ilmu fisika, maka kalian harus mempelajari materi bab ini dengan sungguh-sungguh!



## Kata Kunci

kecepatan, percepatan, kelajuan, konstan, GLB, GLBB, gerak jatuh bebas, GMB.

Ilmu yang mempelajari tentang gerak suatu benda dalam ilmu fisika disebut *mekanika*. Mekanika pada prinsipnya dibagi menjadi dua bagian.

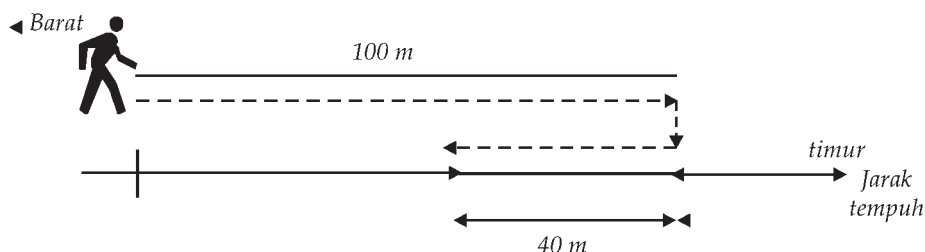
- Kinematika yaitu ilmu yang mempelajari gerak suatu benda tanpa memerhatikan penyebab gerak tersebut.
- Dinamika yaitu ilmu yang mempelajari gerak suatu benda dengan memerhatikan penyebab gerak benda tersebut.

Gerak suatu benda dibagi menjadi dua bagian yaitu gerak lurus dan gerak lengkung. *Gerak lurus* adalah gerak yang lintasannya berupa garis lurus, sedangkan *gerak lengkung* adalah gerak yang lintasannya mempunyai pusat kelengkungan. Gerak lurus dikelompokkan menjadi gerak lurus beraturan (*GLB*), gerak lurus berubah beraturan (*GLBB*) dan gerak lurus berubah tidak beraturan (*GLBTB*). Demikian juga gerak lengkung yang lebih khusus yaitu gerak lengkung yang radius kelengkungannya tetap, disebut *gerak melingkar*. Gerak melingkar dikelompokkan menjadi gerak melingkar beraturan (*GMB*), gerak melingkar berubah beraturan (*GMBB*) dan gerak melingkar berubah tidak beraturan (*GMBTB*).

## A. Analisis Besaran Fisika pada Gerak dengan Kecepatan dan Percepatan Konstan

Dalam kehidupan sehari-hari, jika kita berdiri di stasiun kereta api, kemudian ada kereta api melintas di depan kita maka dapat dikatakan kereta api tersebut bergerak terhadap kita. Kereta api diam jika dilihat oleh orang yang berada di dalam kereta api tetapi jika dilihat oleh orang yang ada di stasiun tersebut maka kereta api tersebut bergerak. Oleh karena itu kereta api bergerak atau diam adalah relatif. Benda disebut bergerak jika kedudukan benda itu mengalami perubahan terhadap acuannya.

Seorang anak bergerak lurus ke arah timur sejauh 100 m, kemudian anak tersebut berbalik arah bergerak ke arah barat sejauh 40 m (lihat **Gambar 2.1**).



**Gambar 2.1** Seorang anak bergerak lurus

Jarak yang ditempuh oleh anak tersebut adalah  $100\text{ m} + 40\text{ m} = 140\text{ m}$ . Jarak tempuh ini disebut juga panjang lintasan. Anak tersebut mengalami perpindahan sejauh 60 m.



### Konsep

Secara umum:

- Jarak didefinisikan sebagai panjang lintasan sesungguhnya yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak.
- Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan kedudukan suatu benda.

### 1. Laju Rata-Rata dan Kecepatan Rata-Rata

Jarak adalah suatu besaran *skalar*, sedangkan perpindahan adalah suatu besaran *vektor*. Jika kita mengendarai mobil selama tiga jam perjalanan dan menempuh jarak 180 km maka dapat dikatakan bahwa kelajuan rata-rata adalah  $180\text{ km}/3\text{ jam}$  atau  $60\text{ km/jam}$ .



## Konsep

Secara umum:

Kelajuan rata-rata didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh suatu benda dibagi waktu yang diperlukan.

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{jarak tempuh total}}{\text{waktu yang diperlukan}}$$

$$v_{\text{rata-rata}} = \frac{s}{t} \quad \dots (2.1)$$

dengan :  $v_{\text{rata-rata}}$  = kelajuan rata-rata  $\text{ms}^{-1}$ ,  
 $s$  = jarak tempuh total (m),  
 $t$  = waktu yang diperlukan (s).

Konsep kecepatan serupa dengan konsep kelajuan, tetapi berbeda karena kecepatan mencakup arah gerakan.



## Konsep

Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perpindahan suatu benda dibagi waktu yang diperlukan benda tersebut untuk berpindah.

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

$$\bar{v}_{\text{rata-rata}} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \quad \dots (2.2)$$

dimana:

$s_2 - s_1$  = Perpindahan dari kedudukan 1 ke-2 (m);  
= Interval waktu (s);

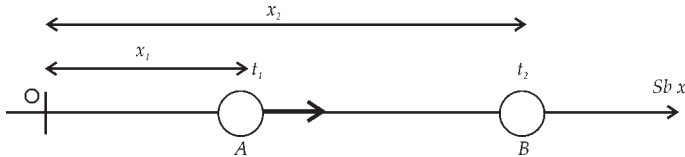
$\bar{v}_{\text{rata-rata}}$  = Kecepatan rata-rata (m/s)





## Contoh Soal 1

Suatu benda bergerak di sepanjang sumbu  $x$ . Pada saat awal  $t_1 = 2$  sekon benda berada di titik A. Titik A berada pada posisi 10 m terhadap titik 0. Pada saat akhir  $t_2 = 10$  sekon benda berada di titik B. Titik B berada pada posisi 30 m terhadap titik 0. Hitunglah kecepatan rata-rata benda tersebut!



**Gambar 2.2.** Gerakan benda sepanjang sumbu  $x$  dari titik A ke B

**Penyelesaian:**

Kecepatan rata-rata ditulis:

$$\begin{aligned}\vec{v}_{\text{rata-rata}} &= \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{\Delta x}{\Delta t}\end{aligned}$$

dengan:

$\vec{v}_{\text{rata-rata}}$  = kecepatan rata-rata (m/s).

$\Delta x = x_2 - x_1$  = perpindahan (m).

$x_1$  = kedudukan di A.

$x_2$  = kedudukan di B.

$\Delta t = t_2 - t_1$  = waktu yang diperlukan

Untuk contoh ini diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.2) yaitu:

$$\vec{v}_{\text{rata-rata}} = \frac{(30 - 10)}{10 - 2} = \frac{20}{8} = 2,5.$$

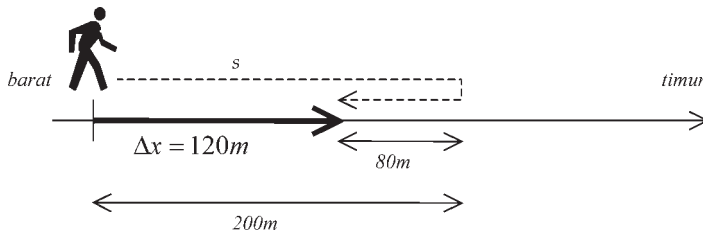
Jadi kecepatan rata-rata = 2,5 m/s.



## Contoh Soal 2

Seseorang berjalan ke timur sejauh 200 m, kemudian orang tersebut berbalik ke barat sejauh 80 m. Waktu total yang diperlukan orang tersebut adalah 140 sekon. Berapa laju rata-rata dan kecepatan rata-rata orang tersebut?

**Penyelesaian:**



Laju rata-rata =

$$\begin{aligned} v_{\text{rata-rata}} &= \frac{\text{jarak yang ditempuh}}{\text{waktu yang diperlukan}} \\ &= \frac{s}{t} \\ &= \frac{200 + 80}{140} \\ &= 2 \end{aligned}$$

Jadi laju rata-rata = 2 m/s

$$\begin{aligned} \vec{v}_{\text{rata-rata}} &= \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu yang diperlukan}} \\ &= \frac{\Delta x}{t} \\ &= \frac{200 - 80}{140} \\ &= \frac{120}{140} \end{aligned}$$

Jadi kecepatan rata-rata = 0,8 m/s.

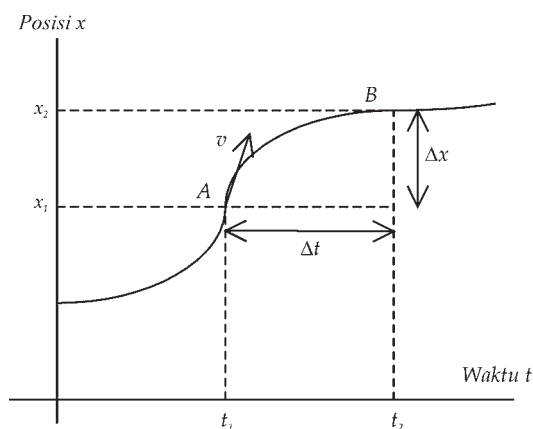
### Life Skills : Kecakapan Vokasional

Setelah kalian mempelajari laju rata-rata dan kecepatan rata-rata, coba buatlah rancangan penerapan pengetahuan tersebut dalam kegiatan jasa pengiriman barang. Kumpulkan hasilnya kepada bapak/ibu guru kalian!

## 2. Laju Sesaat dan Kecepatan Sesaat

Jika kita mengendarai sepeda motor ke sekolah yang jaraknya 10 km dalam waktu 15 menit maka kecepatan rata-rata kita mengendarai sepeda motor adalah  $10 \text{ km}/0,25 \text{ jam} = 40 \text{ km/jam}$ . Kecepatan kita selama dalam perjalanan ini kadang 60 km/jam tetapi pada saat yang lain kecepatan kita hanya 20 km/jam bahkan jika lampu pengatur lalu lintas menyala merah kita berhenti (artinya kecepatan kita adalah nol). Jadi kecepatan kita saat mengendarai sepeda motor selalu berubah-ubah. Kecepatan yang terjadi pada saat itu disebut *kecepatan sesaat*, dan besar kecepatan sesaat ini sama dengan *laju sesaat*.

Suatu benda bergerak dari titik A ke titik B, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Grafik posisi  $x$  terhadap waktu pada suatu benda yang bergerak lurus sembarang

Kecepatan rata-rata benda dari titik A ke titik B adalah  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ . Jika titik B mendekati titik A, maka waktu yang diperlukan  $\Delta t$  semakin kecil. Pada kondisi titik B hampir berhimpit titik A maka waktu yang diperlukan  $\Delta t$  mendekati nol. Kecepatan pada saat ini disebut kecepatan sesaat yang merupakan suatu besaran vektor dan dituliskan sebagai berikut:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \dots (2.3)$$

Pada umumnya untuk menyederhanakan, kecepatan sesaat disebut kecepatan dengan arah kecepatan adalah searah dengan arah garis singgung di titik itu.

## 3. Percepatan

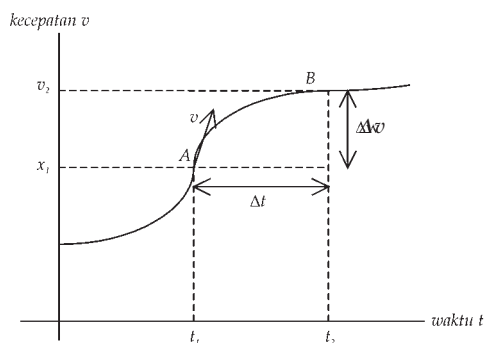
Kalau kita mengendarai sepeda motor pada saat awal, mesin motor dihidupkan tetapi sepeda motor masih belum bergerak. Pada saat sepeda motor mulai bergerak maka kecepatannya makin lama makin besar. Hal ini berarti telah terjadi perubahan kecepatan. Pada saat sepeda motor diam kecepatan nol, baru kemudian kecepatan sepeda motor tersebut makin lama makin cepat. Sepeda motor tersebut mengalami perubahan kecepatan dalam selang waktu

tertentu. Dengan kata lain, sepeda motor tersebut mengalami *percepatan*. Percepatan adalah besaran vektor. Percepatan ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{perubahan waktu}}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \dots (2.4)$$

dengan  $\Delta \vec{v}$  adalah perubahan kecepatan selama waktu  $\Delta t$ . Percepatan suatu benda dibedakan menjadi dua yaitu *percepatan rata-rata* dan *percepatan sesaat*.



**Gambar 2.5** Grafik kecepatan terhadap waktu pada suatu benda yang bergerak lurus sembarang

### Percepatan Rata-Rata dan Percepatan Sesaat

Suatu benda bergerak dari titik A ke titik B dengan kecepatan  $\vec{v}$  yang bergantung pada waktu. Grafik kecepatan terhadap waktu ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.

Jika gerak benda dari titik A ke titik B adalah sembarang maka percepatan benda selang waktu dari  $t_1$  dan  $t_2$  dinyatakan dengan *percepatan rata-rata*. Percepatan rata-rata dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{perubahan waktu}}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad \dots (2.5)$$

dengan:

$\vec{a}$  = percepatan ( $\text{ms}^{-2}$ ),

$\vec{v}_2$  = kecepatan pada saat  $t_2$  ( $\text{ms}^{-1}$ ),

$\vec{v}_1$  = kecepatan pada saat  $t_1$  ( $\text{ms}^{-1}$ ),



## Contoh Soal

Seseorang mengendarai sepeda motor bergerak dengan kecepatan awal 54 km/jam. Orang tersebut mempercepat laju kendaraannya sehingga dalam waktu 10 sekon kecepatannya menjadi 72 km/jam. Berapa percepatan sepeda motor tersebut?

**Penyelesaian:**

Kecepatan awal  $\vec{v}_1 = 54 \text{ km/jam} = 15 \text{ m/s}$ .

Kecepatan akhir  $\vec{v}_2 = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$ .

Percepatan orang tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \\ &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{(20 - 15)}{(10 - 0)} \\ &= \frac{5}{10} = 0,5\end{aligned}$$

Jadi percepatan sepeda motor = 0,5 m/s<sup>2</sup>

Pada contoh di atas percepatan yang dialami oleh orang yang mengendarai sepeda motor tersebut tidak sama selama waktu 10 s. Jika selang waktu  $\Delta t$  makin kecil (mendekati nol atau ) maka titik A dan B hampir berimpit dan percepatan orang tersebut disebut *percepatan sesaat*. Percepatan sesaat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \dots (2.6)$$

Jika seseorang mengendarai mobil makin lama kecepatan mobil makin cepat maka suatu waktu tertentu kecepatan mobil tidak akan bertambah lagi bahkan kecepatan mobil tersebut akan berkurang dan mobil tersebut akan berhenti setelah sampai ditempat tujuan. Gerak suatu benda yang kecepatannya makin lama makin kecil disebut *benda diperlambat*.

*Perlambatan* adalah suatu percepatan yang bertanda negatif. Pembahasan suatu benda yang diperlambat sama dengan pembahasan pada suatu benda yang dipercepat tetapi dengan mengganti tanda percepatan dari positif ke negatif.



### Contoh Soal

Seseorang mengendarai sepeda motor dengan kecepatan mula-mula 72 km/jam. Orang tersebut mengurangi kecepatannya menjadi 36 km/jam dalam waktu 10 sekon karena akan melewati suatu pasar. Berapa perlambatan yang telah dilakukan oleh orang tersebut dalam satuan m/s<sup>2</sup>?

**Penyelesaian:**

Kecepatan mula-mula  $v_1 = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$ ,

Kecepatan akhir  $v_2 = 36 \text{ km/jam} = 10 \text{ m/s}$ ,

Waktu yang diperlukan untuk mengubah kecepatan tersebut adalah 10 sekon.

Jadi perlambatan sepeda motor tersebut adalah

$$\bar{a} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{\Delta t} = \frac{10 - 20}{10} = \frac{-10}{10} = -1$$

(tanda negatif artinya benda mengalami perlambatan).

Jadi perlambatan sepeda motor adalah -1 m/s

## 4. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Suatu benda dikatakan bergerak lurus adalah jika lintasan geraknya berupa garis lurus. Ketika kita mengendarai mobil di jalan tol yang lurus maka kecepatan mobil yang kita naiki bisa berubah-ubah tetapi pada saat tertentu bisa tetap. Sebagai contoh, sebuah mobil sedang bergerak dengan kelajuan 60 km/jam, mobil tersebut harus menambah kelajuannya saat akan mendahului mobil lain di depannya. Pada saat yang lain mobil tersebut harus mengurangi kelajuannya ketika ada lampu lalu lintas yang menyala merah di depannya. *Gerak lurus beraturan adalah gerak suatu benda yang lintasannya berupa garis lurus dan memiliki kecepatan yang tetap. Kecepatan tetap artinya besar dan arah kecepatan tidak berubah.*

Suatu mobil yang bergerak lurus beraturan maka *percepatannya adalah nol*. Berapa jarak yang ditempuh oleh mobil tersebut setelah bergerak selang waktu  $t$ ? Jika kecepatan mobil tersebut  $v$  maka setelah bergerak selang waktu  $t$  dapat dihitung jarak yang ditempuh dengan menggunakan persamaan (2.1) yaitu:

$$v = \frac{s}{t} \text{ atau } s = vt \quad \dots (2.7)$$

dengan:

$v$  = kecepatan (m/s),

$s$  = jarak yang ditempuh (m),

$t$  = waktu yang ditempuh (s).



### Contoh Soal 1

Suatu mobil bergerak menempuh jarak 200 km dengan kecepatan tetap 40 km/jam. Jika mobil tersebut berangkat pada pukul 10.00 WIB maka pada pukul berapa mobil tersebut sampai di tempat tujuan?

**Penyelesaian:**

Waktu yang diperlukan mobil tersebut menempuh jarak 200 km dapat menggunakan persamaan (2.7) yaitu:

$$v = \frac{s}{t} \text{ atau } t = \frac{s}{v}$$

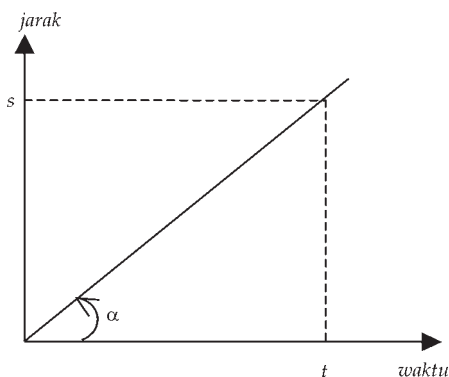
$$t = \frac{200 \text{ km}}{40 \text{ km/jam}} = 5 \text{ jam}$$

$$10.00 \text{ WIB} + 5 \text{ jam} = 15.00 \text{ WIB}$$

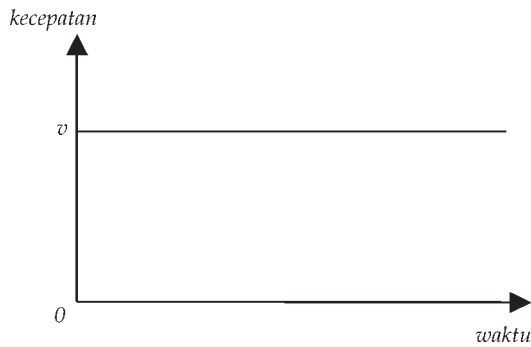
Jadi, mobil tersebut akan sampai ditempat tujuan pada pukul 15.00 WIB

Hubungan antara jarak yang ditempuh dengan waktu untuk benda yang bergerak lurus beraturan ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.

Dari **gambar 2.6**, ditunjukkan bahwa:  $\tan \alpha = \frac{s}{t} = v$



**Gambar 2.6** Jarak yang ditempuh sebagai fungsi waktu



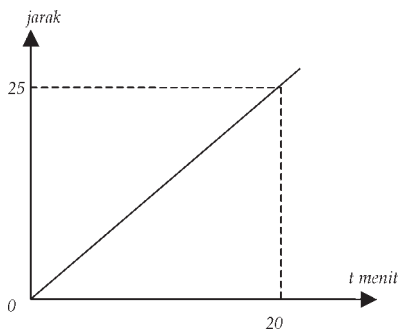
Hubungan antara kecepatan  $v$  dengan waktu  $t$  untuk benda yang bergerak lurus beraturan ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

**Gambar 2.7** Kecepatan sebagai fungsi waktu  $t$



## Contoh Soal 2

Seseorang mengendarai mobil dengan lintasan yang ditempuh sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Jarak yang ditempuh sebagai fungsi waktu pada gerak lurus beraturan

- Berapa kecepatan mobil tersebut?
- Berapa jarak yang ditempuh setelah berjalan selama 30 menit dari keadaan diam?

**Penyelesaian:**

- Kecepatan mobil dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$v = \tan \alpha = \frac{25 \text{ km}}{20 \text{ menit}} = \frac{25 \text{ km}}{\left(\frac{1}{3}\right) \text{ jam}} = 75 \text{ km/jam.}$$

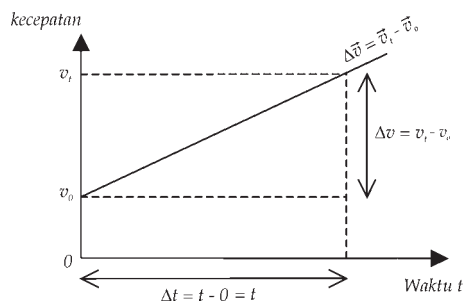
- Jarak yang ditempuh oleh mobil selama 30 menit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8) yaitu:

$$s = (75 \text{ km/jam}) \times 0,5 \text{ jam} = 37,5 \text{ km.}$$



## 5. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Jika seseorang yang mengendarai sebuah mobil yang lintasan gerakanya berupa garis lurus dan bergerak dengan perubahan kecepatannya setiap saat tetap, maka gerak mobil tersebut disebut *gerak lurus berubah beraturan*. Perubahan kecepatan per satuan waktu disebut *percepatan*, sehingga gerak lurus berubah beraturan disebut juga sebagai gerak yang lintasannya lurus dan percepatan yang tetap.



Gambar 2.9 Gerak lurus berubah beraturan

Sebagai contoh, seseorang yang mengendarai mobil yang lintasannya lurus dan percepatannya tetap. Pada saat  $t = 0$ , mobil tersebut bergerak dengan kecepatan  $v_0$  dan pada  $t$  kecepatan mobil menjadi  $v_t$  seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.9**. Berapa jarak yang ditempuh pada saat  $t$ ?

Pada persamaan (2.6) dirumuskan percepatan adalah:

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} \rightarrow \Delta \bar{v} = \bar{v}_t - \bar{v}_0 = \bar{a} \Delta t$$

$$\bar{v}_t = \bar{v}_0 + \bar{a} \Delta t \quad \dots (2.8)$$

dengan:

$\bar{v}_t$  = kecepatan pada waktu  $t$  ( $\text{ms}^{-1}$ ),

$\bar{v}_0$  = kecepatan awal ( $t = 0$ ) ( $\text{ms}^{-1}$ ),

$\bar{a}$  = percepatan ( $\text{ms}^{-2}$ ),

$\Delta t = t$  waktu (s), untuk  $t_0 = 0$

Pada gerak lurus berubah beraturan, besar jarak yang ditempuh adalah sama dengan luas bidang yang dibatasi oleh garis grafik  $v$  terhadap  $t$  dengan sumbu  $t$ . Jarak yang ditempuh pada gerak lurus berubah beraturan sama dengan luas bidang arsiran yang berbentuk trapesium:

$\Delta s$  = luas trapesium

$$= \text{jumlah kedua sisi sejajar} \times \frac{1}{2} \text{tinggi}$$

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

Karena  $v_t = v_0 + at$  maka luas trapesium  $\Delta s$

$$\begin{aligned}\Delta s &= (v_0 + (v_0 + at)) \frac{1}{2} t \\ &= (2v_0 + at) \frac{1}{2} t \\ &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2\end{aligned}$$

Jarak yang ditempuh oleh benda adalah posisi benda pada saat  $t$  dikurangi posisi benda pada saat awal atau  $\Delta s = s_t - s_0$ . sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

$$s_t - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots (2.9)$$

dengan:

$s_t$  = posisi benda saat  $t$  (m),

$s_0$  = posisi benda saat awal atau  $t = 0$  (m).

jika posisi benda saat awal atau saat  $t = 0$  adalah nol, maka  $s_0 = 0$  sehingga persamaan (2.9) menjadi:

$$s_t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots (2.10)$$

dengan:

$s_t$  = jarak yang ditempuh dalam waktu  $t$  (m).



## Keingintahuan

*Kerjakan soal-soal di bawah ini dan kemudian diskusikan dengan guru.*

Di sekeliling kamu ada bermacam-macam benda, seperti batu, kelereng, bola kaki, buah mangga, buah jeruk, buah matoa, dan sebagainya. Buatlah contoh tentang gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan sebesar percepatan gravitasi bumi dengan menggunakan buah mangga dan matoa. Apa massa benda (mangga dan matoa) berpengaruh pada gerakan tersebut? Jelaskan secara ringkas.

## Gerak Benda yang Dilempar Tegak Lurus ke Atas

Lintasan suatu benda yang dilempar tegak lurus ke atas adalah berupa garis lurus. Suatu benda yang dilempar tegak lurus ke atas akan mengalami perlambatan sebesar percepatan gravitasi bumi tetapi dengan arah berlawanan dengan arah gerak benda. Gerakan semacam ini disebut dengan gerak lurus diperlambat beraturan.

Analog dengan persamaan (2.8) untuk gerak lurus dipercepat beraturan maka persamaan umum untuk gerak diperlambat beraturan adalah:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_0 - \bar{a}t \quad \dots (2.11)$$

Jarak yang ditempuh oleh suatu benda yang dilempar tegak lurus ke atas  $s_t$  (sering diberi notasi  $h$  yaitu ketinggian yang dicapai oleh benda) adalah analog dengan persamaan (2.10), tetapi hanya dengan mengganti tanda  $a$  dari positif ke negatif sehingga persamaan (2.10) menjadi:

$$s_t = h = v_0t - \frac{1}{2}at^2 \quad \dots (2.12)$$

Suatu benda dilempar tegak lurus ke atas dengan kecepatan awal  $v_0$ . Jika benda tersebut mengalami perlambatan sebesar  $-g$ , hitunglah tinggi maksimum yang dicapai oleh benda tersebut. Untuk mencari tinggi maksimum yang telah dicapai oleh benda tersebut dapat digunakan persamaan (2.12):

$$h_{maks} = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \dots (2.13)$$

dengan  $t$  pada persamaan (2.13) ini adalah waktu yang diperlukan oleh benda tersebut untuk mencapai tinggi maksimum. Persamaan (2.11) menunjukkan bahwa tinggi maksimum yang dicapai oleh suatu benda yang dilempar tegak lurus ke atas terjadi pada saat  $v_t = v_0 - gt = 0$  sehingga  $t$  diberikan oleh persamaan (2.14) berikut:

$$t = \frac{v_0}{g} \quad \dots (2.14)$$

Tinggi maksimum yang dicapai oleh benda tersebut adalah dengan memasukkan persamaan (2.14) ke dalam persamaan (2.13) sehingga diperoleh:

$$h_{maks} = v_0 \left( \frac{v_0}{g} \right) - \frac{g}{2} \left( \frac{v_0}{g} \right)^2 = \frac{1}{2g} v_0^2 \quad \dots (2.15)$$



### Contoh Soal 1

Sebuah bola dilempar tegak lurus ke atas dengan kecepatan 8 m/s. Carilah tinggi maksimum yang dicapai oleh bola tersebut (dalam m) jika bola mengalami perlambatan sebesar 10 m/s<sup>2</sup>.

**Penyelesaian:**

Tinggi maksimum yang dicapai oleh bola tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$h_{maks} = \frac{1}{2g} (v_0)^2 = \frac{1}{2 \times 10} (8)^2 = \frac{64}{20} = 3,2 \text{ m}$$

= 15 m



### Contoh Soal 2

Sebuah peluru ditembak tegak lurus ke atas dengan kecepatan 20 m/s. Jika peluru mengalami perlambatan sebesar 10 m/s<sup>2</sup> maka hitunglah:

- kecepatan peluru pada saat  $t = 1$  s (dalam m/s),
- tinggi yang dicapai oleh peluru pada saat  $t = 1$  s (dalam m),
- tinggi maksimum yang dicapai oleh peluru tersebut (dalam m).

**Penyelesaian:**

- kecepatan peluru pada saat  $t = 1$  s dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.11) yaitu:  $v_t = v_0 - at \rightarrow a = 10 \text{ m/s}^2$

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

- tinggi yang dicapai oleh peluru pada saat  $t = 1$  s (dalam m), dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.12) yaitu:

$$\begin{aligned} h_{maksimum} &= v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \\ &= (20 \text{ m/s})(1 \text{ s}) - \left( \frac{1}{2} \right) (10 \text{ m/s}^2) (1 \text{ s})^2 \end{aligned}$$



## Keingintahuan

Di sekeliling kamu ada bermacam-macam benda, seperti batu, kelereng, bola kaki, buah mangga, buah jeruk dan sebagainya. Buatlah contoh tentang gerak lurus berubah beraturan dengan perlambatan sebesar percepatan gravitasi bumi dengan menggunakan sebuah bola kaki dan sebuah batu. Apa massa benda (bola kaki dan batu) berpengaruh pada gerakan tersebut? Jelaskan secara ringkas!

## 6. Gerak Lurus Berubah Tidak Beraturan (GLBTB)

Untuk menghitung suatu benda yang bergerak lurus berubah tidak beraturan tidak bisa menggunakan rumus-rumus di atas. Untuk menyelesaikan soal kita harus mengetahui bagaimana ketergantungan percepatan suatu benda terhadap waktu.



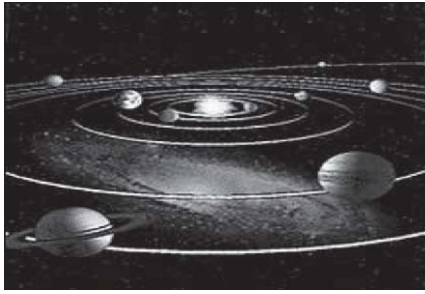
## Kejar Ilmu

Kerjakan soal-soal di bawah ini dan kemudian diskusikan dengan guru kalian!

1. Bola A terletak pada ketinggian 60 m vertikal di atas bola B. Pada saat yang bersamaan A dilepas dan bola B dilempar ke atas dengan kecepatan  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Hitunglah waktu pada saat bola A dan B bertemu!
2. Sebuah perahu menyeberang sungai yang lebarnya 180 meter dengan kecepatan arusnya  $4 \text{ ms}^{-1}$ . Arah perahu tegak lurus dengan sungai pada kecepatan  $3 \text{ ms}^{-1}$  maka hitunglah jarak tempuh perahu tersebut untuk sampai di seberang sungai!

## B. Analisis Besaran Fisika Pada Gerak Melingkar dengan Laju Konstan

*Gerak melingkar* adalah gerak yang lintasannya mempunyai pusat kelengkungan dengan radius kelengkungan tetap. Dalam kehidupan sehari-hari kita sering melihat contoh gerak melingkar, antara lain: bumi mengitari matahari, bulan mengitari bumi, jarum jam yang berputar, roda kendaraan yang berputar, baling-baling kipas angin yang berputar, dan sebagainya.



a



b



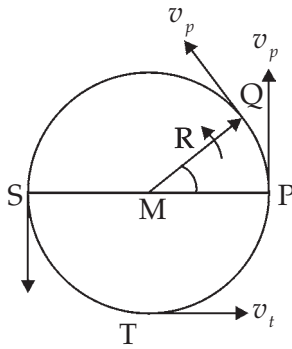
c

Sumber : <http://www.astro.cf>.

Sumber : [www.artm-friends.at](http://www.artm-friends.at)

**Gambar 2.7** (a) Planet melakukan gerak melingkar di sekitar matahari, (b) jarum jam melakukan gerak melingkar, dan (c) baling-baling melakukan gerak melingkar.

## 1. Gerak Melingkar Beraturan (GMB)



**Gambar 2.11.** Sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan.

Vektor kecepatan benda yang bergerak melingkar selalu berubah-ubah dan arah vektor kecepatannya adalah sesuai dengan arah garis singgung dari titik di mana benda tersebut berada. Contoh sebuah benda yang melakukan gerak melingkar dengan laju tetap sepanjang busur lingkaran yang beradius  $R$  seperti ditunjukkan pada **gambar 2.11** disebut *gerak melingkar beraturan (GMB)*.

### a. Laju linear

Gerak melingkar lintasannya adalah lingkaran maka jarak tempuh benda adalah busur lingkaran. Jika dalam selang waktu  $t$  benda menempuh busur lingkaran  $s$  maka dikatakan benda mempunyai laju linear sebesar  $v$  yang besarnya adalah:

$$v = \frac{s}{t} \quad \dots (2.20)$$

dengan:

$v$  = laju linear (m/s),

$s$  = adalah panjang busur lingkaran sebagai lintasan (m),

$t$  = adalah waktu tempuh (s).

Waktu yang diperlukan oleh benda untuk berputar satu kali putaran sempurna disebut *periode* dan dinyatakan dengan lambang  $T$ . Satuan periode dalam sistem SI adalah sekon (s). Jumlah putaran yang dilakukan oleh benda tiap satu satuan waktu disebut *frekuensi* dan diberi lambang  $f$ . Satuan frekuensi dalam sistem SI adalah  $s^{-1}$  atau **hertz** (Hz). Hubungan periode dan frekuensi dinyatakan sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad \dots (2.21)$$

Keliling lingkaran yang beradius  $R$  adalah  $2\pi R$ . Jika benda untuk berputar satu kali memerlukan waktu  $T$  maka laju linear benda adalah:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \text{ atau } v = 2\pi Rf \quad \dots (2.22)$$

dengan:

$v$  = laju linear (m/s),

$T$  = periode (s).

$R$  = radius lingkaran (m),

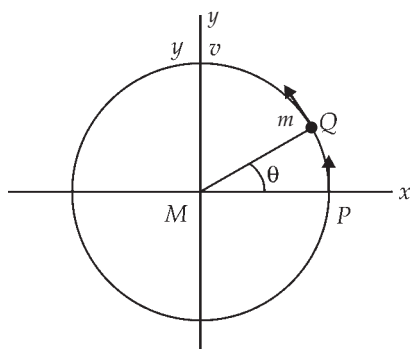
$f$  = frekuensi (Hz).



### Kebinekaan : Wawasan Kontekstual

Pada waktu malam hari pada saat bulan kelihatan di langit, amatilah gerakan bulan tersebut. Kemudian saat siang hari amatilah gerakan matahari. Menurut pendapatmu apakah jenis gerakan bulan dan matahari tersebut?

#### b. Kecepatan Sudut



Kecepatan sudut dalam gerak melingkar adalah analog dengan kecepatan linear dalam gerak lurus. Suatu benda bermassa  $m$  bergerak melingkar telah menempuh sudut  $\theta$  seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.

Benda yang bergerak melingkar mempunyai *kecepatan sudut* sebesar  $\omega$  (dibaca omega). Kecepatan sudut didefinisikan sebagai sudut yang ditempuh tiap satuan waktu  $t$  dan dirumuskan:

**Gambar 2.12.** Lintasan benda yang bergerak melingkar beraturan

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \dots (2.23)$$

Benda yang berputar dalam waktu satu periode ( $t = T$ ) maka sudut yang ditempuh adalah  $2\pi$  radian sehingga kecepatan sudut dapat dirumuskan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{atau} \quad \omega = 2\pi f \quad \dots (2.24)$$

Sudut yang ditempuh oleh benda yang bergerak melingkar beraturan analog dengan persamaan (2.7) tentang jarak yang ditempuh oleh benda yang bergerak lurus beraturan, sehingga sudut yang ditempuh dapat diperoleh melalui persamaan:

$$\theta = \theta_0 + \omega t \quad \dots (2.25)$$

dengan:

$\theta$  = sudut yang ditempuh pada saat  $t$  (radian),

$\theta_0$  = sudut yang ditempuh pada saat awal ( $t=0$ ) (radian),

$\omega$  = kecepatan sudut pada saat  $t$  (radian/sekon),

$t$  = waktu (s).

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

Suatu benda yang menempuh sudut  $2\pi$  radian maka lintasan linier benda tersebut adalah sama dengan keliling lingkaran tersebut yaitu  $s = 2\pi R$  sehingga kecepatan linier dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{atau} \quad v = \omega R \quad \dots (2.26)$$



### Life Skills : Kecakapan Personal

Pada saat tertentu kamu ke sekolah naik motor. Pada saat awal motor diam, kemudian motor berjalan perlahan-lahan lalu motor bergerak dengan kelajuan tetap dan pada saat mau sampai di sekolah motor perlahan-lahan baru berhenti. Pikirlah gerakan-gerakan mana yang menggambarkan gerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan positif, gerak melingkar beraturan dan gerak melingkar berubah beraturan dengan percepatan negatif?





## Contoh Soal

Suatu benda bergerak melingkar beraturan dengan radius lintasannya 100 cm. Benda ini berputar 5 kali dalam waktu 15 menit.

*Hitunglah:*

- periode putaran benda,
- kecepatan sudut benda, dan
- kecepatan linear benda.

*Penyelesaian:*

- periode putaran benda

$$T = \frac{15 \text{ menit}}{5} = 3 \text{ menit} = 180 \text{ sekon}$$

- kecepatan sudut benda

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{180 \text{ sekon}} = \frac{\pi}{90} \text{ rad/s}$$

- kecepatan linear benda:

$$v = \omega R = \frac{\pi}{90} (\text{rad/s})(1\text{m}) = \frac{\pi}{90} (\text{m/s})$$

## C. Penerapan Hukum Newton sebagai Prinsip Dasar Dinamika untuk Gerak Lurus, Gerak Vertikal, dan Gerak Melingkar Beraturan

### 1. Hukum I Newton

Sir Isaac Newton dilahirkan di *Woolsthorpe Inggris*, pada tanggal 25 Desember 1642. Beliau adalah salah satu ilmuwan yang paling hebat dalam sejarah. Newton merumuskan konsep dasar dan hukum mekanika, mengembangkan teori kedua kalkulus diferensial dan integral, dan teori gravitasi. Beliau juga menyusun teori tentang gaya berat, pembiasan cahaya. Sebagai kelanjutan karyanya dalam hal cahaya, ia merancang teleskop pantulan yang pertama.

## Seputar Tokoh



Issac Newton (1642 - 1727)

*Mekanika klasik atau mekanika Newton adalah teori tentang gerak yang didasarkan pada massa dan gaya. Semua gejala dalam mekanika klasik dapat digambarkan dengan menggunakan hanya tiga hukum sederhana yang disebut hukum Newton tentang gerak. (www.wikipedia)*

Newton mampu menjelaskan gerak planet, aliran pasang surut, dan berbagai hal tentang gerak Bumi dan Bulan. Ia menyusun teorinya dalam buku *Principia* yang merupakan salah satu buku ilmu pengetahuan paling hebat yang pernah ada. Berikut ini beberapa teori yang dikemukakannya.

Pada saat mobil dijalankan agak cepat pertama kali dan kita tidak menyadari maka kita akan terdorong ke belakang. Pada saat mobil mendadak berhenti maka kita terdorong ke depan. Terdorongnya ke belakang pada saat mobil dijalankan agak cepat pada saat awal dan terdorongnya kita ke depan pada saat mobil mendadak berhenti ini menunjukkan bahwa kita berusaha untuk tetap mempertahankan posisi kita semula. Sifat suatu benda untuk mempertahankan keadaan semula itu disebut *sifat kelembaman suatu benda*. Sifat kelembaman suatu benda ini oleh Newton disebut sebagai *Hukum I Newton*.



### Konsep

*Hukum I Newton: Sebuah benda tetap pada keadaan awalnya yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan, jika tidak ada suatu gaya eksternal netto yang memengaruhi benda tersebut.*

Hukum I Newton disebut juga sebagai hukum *kelembaman* atau *hukum inersi* dan dirumuskan sebagai berikut:



### Konsep

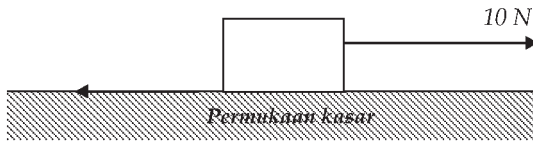
*Jika  $\Sigma F = 0$  maka benda yang diam tetap diam atau benda yang bergerak dengan kecepatan konstan tetap bergerak dengan kecepatan konstan.*



## Contoh Soal

Suatu kotak kayu berada di atas lantai. Kotak tersebut kemudian ditarik oleh seorang anak dengan gaya luar sebesar  $F = 10 \text{ N}$  sejajar permukaan lantai tetapi kotak tersebut tetap diam. Kotak tetap diam ini disebabkan ada gaya gesekan antara kotak dan lantai. Hitunglah besar gaya gesekan yang melawan gaya luar tersebut!

*Penyelesaian:*



**Gambar 2.13.** Suatu benda berada di permukaan kasar dikenai suatu gaya

Benda tetap diam meskipun dikenai gaya luar sebesar  $\vec{F} = 10$  sehingga berlaku hukum I Newton:

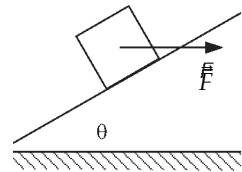
$$\Sigma F = 0 \text{ sehingga } \vec{F}_{\text{luar}} - \vec{F}_{\text{gesek}} = 0 \text{ atau } \vec{F}_{\text{luar}} = \vec{F}_{\text{gesek}}$$



## Kejar Ilmu

*Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru kalian!*

Sebuah gaya  $\vec{F}$  bekerja horisontal pada sebuah benda yang berada pada bidang yang licin sempurna dengan sudut kemiringan  $\theta$ . Hitung resultan gaya yang bekerja pada benda.

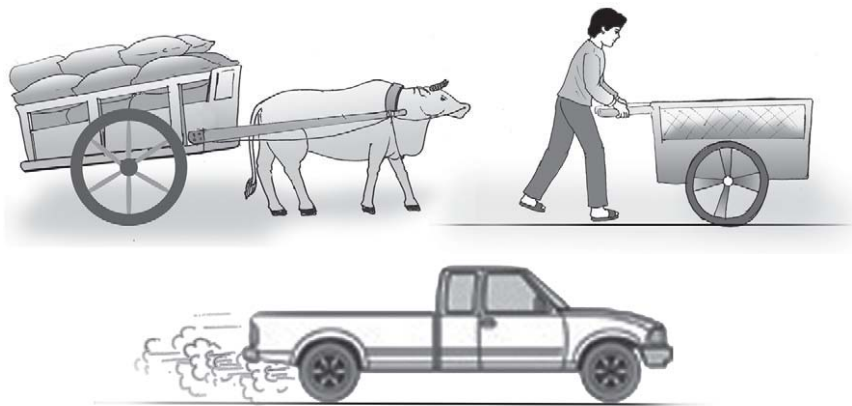


## Life Skills : Kecakapan Personal

Diskusikan dengan guru kalian, mungkinkah Hukum I Newton dapat direalisasikan dalam kehidupan sehari-hari?

## 2. Hukum II Newton

Dalam kehidupan sehari-hari kita melihat sebuah gerobak ditarik oleh seekor sapi, seseorang mendorong kereta sampah, dan mobil bergerak makin lama makin cepat.



Gambar 2.10. Gerobak ditarik oleh seekor sapi, seseorang mendorong kereta sampah, mobil bergerak

Dari fenomena-fenomena di atas akan muncul suatu pertanyaan bagaimana hubungan antara kecepatan, percepatan terhadap gaya sebagai penyebab adanya gerakan-gerakan tersebut? Pertanyaan ini dijelaskan oleh Newton yang dikenal sebagai *Hukum II Newton*. Definisi *Hukum II Newton* adalah sebagai berikut:



### Konsep

*Hukum II Newton: Percepatan sebuah benda berbanding terbalik dengan massa dan sebanding dengan gaya eksternal netto yang bekerja pada benda tersebut.*

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \dots (2.27)$$

Persamaan (2.27) disebut persamaan Hukum II Newton atau dinyatakan sebagai berikut:



### Konsep

*Percepatan yang ditimbulkan oleh suatu gaya besarnya berbanding lurus dan searah dengan gaya tersebut dan berbanding terbalik dengan massa benda.*

Persamaan (2.28) dapat juga ditulis menjadi:

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad \dots (2.28)$$

dengan:

$\vec{F}$  = gaya yang bekerja pada benda (N),

= massa benda (kg),

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

Satuan gaya menurut sistem SI adalah *newton* (N), sedang kadang-kadang satuan gaya menurut sistem cgs adalah *dyne*.



## Konsep

Gaya 1 newton adalah gaya yang bekerja pada benda yang massanya 1 kg sehingga menimbulkan percepatan pada benda sebesar  $1 \text{ m/s}^2$ .



## Contoh Soal

1. Sebuah mobil bermassa 2000 kg dan dikenakan gaya sebesar 10.000 N. berapa percepatan yang dialami oleh mobil tersebut?

**Penyelesaian:**

Percepatan pada mobil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.27).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{10.000 \text{ N}}{2000 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan yang dialami oleh mobil tersebut adalah  $5 \text{ m/s}^2$ .

2. Sebuah mobil bermassa 2000 kg, selama 10 sekon mobil yang awalnya bergerak dengan kecepatan 36 km/jam bertambah cepat menjadi 54 km/jam. Berapa gaya yang diperlukan untuk mempercepat mobil tersebut?

**Penyelesaian:**

Kecepatan mobil saat awal  $v_0 = 36 \text{ km/jam} = 36.000 \text{ m}/3600 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$ .

Kecepatan mobil saat akhir  $v_t = 54 \text{ km/jam} = 54.000 \text{ m}/3600 \text{ s} = 15 \text{ m/s}$ .

$$\text{Percepatan mobil} = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{15 - 10}{10} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

Gaya yang diperlukan untuk mempercepat mobil tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (2.28).

$$F = m a = 2000 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m/s}^2 = 1000 \text{ N.}$$



## Kewirausahaan : Inovatif

Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan sebuah benda berbanding terbalik dengan massa dan berbanding lurus dengan gaya eksternal netto yang bekerja pada benda tersebut. Coba kalian lakukan percobaan untuk membuktikan kebenaran teori tersebut!

Susunlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas. Berkonsultasilah dengan guru kalian!

### a. Gerak Jatuh Bebas

Aplikasi nyata dari gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan  $a$  positif (gerak lurus dipercepat dengan percepatan  $a$  tetap) ini adalah suatu benda yang dijatuhkan dari ketinggian  $h$  meter dengan kecepatan awal nol atau tanpa kecepatan awal. Percepatan yang dialami oleh benda tersebut adalah percepatan gravitasi bumi  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ). Lintasan gerak benda ini berupa garis lurus. Gerak benda semacam ini yang disebut *gerak jatuh bebas*.



## Konsep

*Gerak jatuh bebas didefinisikan sebagai gerak suatu benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu di atas tanah tanpa kecepatan awal dan dalam geraknya hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi.*

Suatu benda dilepaskan dari ketinggian  $h$  meter di atas permukaan tanah tanpa kecepatan awal. Kecepatan pada saat  $t$  dapat dihitung dari persamaan (2.29) yaitu:

$$v_t = v_0 + at$$

Karena  $v_0 = 0$  dan percepatan gravitasi  $a = g$ , maka kecepatan benda pada saat  $t$  adalah:

$$v_t = 0 + gt = gt \quad \dots (2.29)$$

dengan :

$v_t$  = kecepatan pada waktu  $t$  (m/s),

$v_0$  = kecepatan awal ( $t = 0$ ) (m/s),

$g$  = percepatan gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>),

$t$  = waktu (s).

Ketinggian yang dicapai oleh benda  $h$  adalah analog dengan persamaan (2.10) dengan  $s_t$  adalah  $h$ , dan  $v_0 = 0$ ,

$$h = 0 + \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}gt^2 \quad \dots (2.30)$$

Waktu yang diperlukan oleh benda untuk mencapai tanah dari ketinggian  $h$  dengan persamaan (2.30).

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \dots (2.31)$$

Kecepatan benda pada saat  $t$  dapat diperoleh dengan memasukkan persamaan  $t$  dari persamaan (2.32) ke persamaan (2.11) yaitu:

$$v_t = gt = g \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh} \quad \dots (2.32)$$

dengan:

$v_t$  = kecepatan pada waktu  $t$  (m/s),

$g$  = percepatan gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>),

$h$  = ketinggian benda (m).



## Contoh Soal

Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian  $h = 20$  m di atas permukaan tanah tanpa kecepatan awal. Gerak benda hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi (gaya tarik-menarik bumi) sehingga benda bergerak dengan percepatan sama dengan percepatan gravitasi bumi  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>. Berapa kecepatan benda saat mencapai tanah dalam m/s?

### Penyelesaian:

Kecepatan benda  $v$  dapat dihitung menggunakan persamaan (2.30) yaitu:  $v_t = v_0 + at = gt = 10$  (m/s<sup>2</sup>)  $\times$  t(s).

Waktu yang diperlukan  $t$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.31):

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

dengan :

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

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

$$\text{Waktu yang diperlukan: } t = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = \sqrt{4} = 2 \text{ s}$$

Kecepatan benda saat mencapai tanah:

$$v = gt = 10 \text{ m/s}^2 \times 2(\text{s}) = 20 \text{ m/s.}$$



## Life Skills : Kecakapan Akademik

Jelaskan contoh-contoh aplikasi yang nyata dari Hukum II Newton dalam kehidupan sehari-hari. Diskusikan dengan guru kalian, berilah contoh yang nyata dan dengan berbagai pendekatan!



## Kejar Ilmu

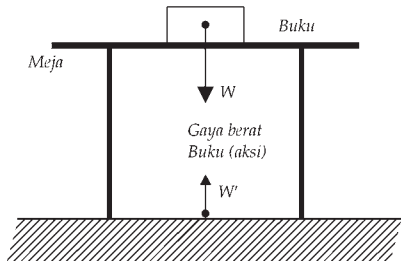
*Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru kalian!*

Sebuah elevator bermassa 400 kg bergerak vertikal ke atas dari keadaan diam dengan percepatan tetap sebesar 2m/s<sup>2</sup>. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s<sup>2</sup>, maka hitunglah besar tegangan tali penarik elevator tersebut (Soal Proyek Perintis 1981).



### 3. Hukum III Newton

Kalau kita meletakkan sebuah buku di atas meja dalam kondisi tertentu buku tersebut diam di atas meja. Buku mempunyai massa dan gaya berat. Jika buku diam tentu ada sesuatu yang mengimbangi gaya berat buku tersebut. Gaya apa yang mengimbangi gaya berat buku tersebut? Masalah ini oleh Newton dijelaskan dalam Hukum III Newton.



$W$  adalah gaya berat buku karena gaya tarik bumi.

$W' = -W$  dikerjakan oleh buku pada bumi.

$W$  dan  $W'$  adalah pasangan aksi dan reaksi.

$W' = -W$ .

**Gambar 2.15** Gaya aksi-reaksi  $w$  gaya yang dikerjakan pada buku oleh bumi. Gaya reaksi yang sama dan berlawanan arah yang dikerjakan pada buku dan bumi adalah  $W' = W$

Apabila sebuah benda pertama mengerjakan gaya pada benda kedua, maka benda kedua mengerjakan gaya pada benda pertama sama besar dan arahnya berlawanan dengan arah gaya pada benda pertama tersebut.

Hubungan antara gaya aksi dan reaksi dirumuskan sebagai berikut:

$$\vec{F}_{aksi} = -\vec{F}_{reaksi} \quad \dots (2.33)$$

(tanda negatif menunjukkan arah aksi berlawanan dengan arah reaksi).



#### Contoh Soal

Sebuah buku diletakkan di atas meja. Meja diletakkan di atas bumi. Massa buku adalah 2 kg jika percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$  maka hitunglah besar gaya reaksi bumi terhadap buku.

**Penyelesaian:**

Gaya berat buku  $\vec{W} = m \cdot g = 2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 20 \text{ N}$

Gaya aksi buku ke bumi  $\vec{W} = 20 \text{ N}$ . Gaya reaksi bumi terhadap buku dapat digunakan persamaan (2.28) yaitu:

$\vec{F}_{aksi} = -\vec{F}_{reaksi} = -20 \text{ N}$  (dengan arah dari bumi menuju buku).



## Kejar Ilmu

Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru kalian!

Bila diketahui bahwa radius bumi  $6,4 \times 10^6$  m, maka hitunglah kelajuan lepas suatu roket yang diluncurkan vertikal dari permukaan bumi (UMPTN 2001 Rayon C).



## Keingintahuan

Jelaskan contoh-contoh aplikasi yang nyata dari Hukum III Newton dalam kehidupan sehari-hari. Diskusikan dengan guru kalian!

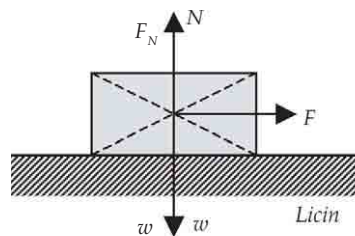
## 4. Penerapan Hukum-Hukum Newton

Penerapan hukum-hukum Newton dalam kehidupan sehari-hari dengan menganggap dalam proses gerakan benda tidak ada gesekan antara benda dan papan/lantai. Dalam rangka membantu/mempercepat pemahaman siswa maka dalam penyelesaian hukum-hukum Newton digunakan sistem koordinat 2 dimensi (sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ), kemudian kita tinjau untuk masing-masing koordinat.

### a. Gerak Benda pada Bidang Licin

Sebuah balok berada pada papan yang licin sempurna (tidak ada gesekan antara papan dan benda). Balok ditarik oleh sebuah gaya yang besarnya  $F$  ke arah mendatar. Berapa percepatan benda tersebut?

Untuk menyelesaikan persoalan ini dibuat sistem koordinat  $x - y$  (sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ). Peninjauan gaya-gaya yang bekerja pada sistem sumbu  $y$  (Lihat **Gambar 2.16**):



**Gambar 2.16.** Gaya  $F$  bekerja pada benda yang berada pada papan yang licin sempurna.

$$\Sigma \vec{F}_y = \vec{F}_N - W \quad \dots (2.34)$$

dengan:

$\vec{F}_y$  = gaya yang sejajar dengan sumbu y (N),

$\vec{W}$  = berat benda (N),

$\vec{F}_N$  = gaya yang tegak lurus bidang dimana benda berada, disebut gaya normal (N).

Benda tidak bergerak sepanjang sumbu y, maka:

$$\Sigma \vec{F}_y = 0 \quad \dots (2.35)$$

$$\vec{F}_N - \vec{W} = 0 \quad \dots (2.36)$$

sehingga persamaan (2.32) menjadi:

$$\vec{F}_N = \vec{W} \text{ atau } \vec{F}_N = mg \quad \dots (2.37)$$

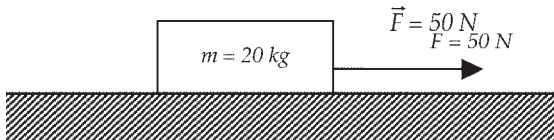
Peninjauan gaya-gaya yang bekerja pada sistem sumbu x:

$$\Sigma F_x = F = m \cdot a \quad \dots (2.38)$$



### Contoh Soal

1. Suatu benda bermassa 20 kg berada di papan yang licin sempurna. Benda tersebut ditarik oleh suatu gaya sebesar 50 N ke arah mendatar, hitunglah percepatan dan kecepatan yang dialami oleh benda tersebut setelah gaya tersebut bekerja selama 10 sekon?



**Gambar 2.17.** Gaya = 50 N bekerja pada benda yang massanya 20 kg dan berada pada bidang datar licin

**Penyelesaian:**

- a. Percepatan benda dihitung dengan menggunakan persamaan (2.27):

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{50 \text{ N}}{20 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

b. kecepatan setelah gaya bekerja selama 10 sekon:

$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + at$$

$$\vec{v}_{10} = 0 + 2,5 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$$

2. Sebuah balok bermassa 10 kg terletak pada bidang datar yang licin. Balok tersebut ditarik dengan gaya 40 N yang membentuk sudut  $40^\circ$  dengan bidang datar. Jika percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$  maka hitunglah percepatan dan jarak perpindahan benda setelah gaya  $F$  bekerja selama 8 sekon (diketahui pada  $t = 0$  benda diam).

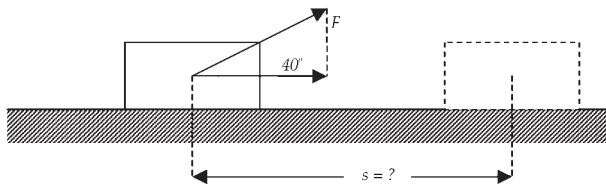
**Penyelesaian:**

- a. komponen gaya  $F$  pada sumbu  $x$  (lihat Gambar 2.18):

$$F_x = F \cos 40 = 40 \times 0,8 = 32 \text{ N}$$

- b. percepatan benda adalah =

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{40 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$$



**Gambar 2.18.** Gaya  $F = 40 \text{ N}$  bekerja pada benda yang massanya 10 kg dan berada pada bidang datar licin.

Pergeseran yang dialami oleh benda tersebut di atas (lihat gambar 2.18) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} s &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ &= 0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 8^2 = 128 \text{ m} \end{aligned}$$

### **b. Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB)**

Kalau kita melihat dalam kehidupan sehari-hari, orang mengendarai sepeda motor terlihat roda kendaraan berputar dari keadaan diam kemudian berputar makin lama makin cepat sampai akhirnya laju perputaran roda tersebut tetap. Gerak melingkar roda kendaraan tersebut berputar makin lama makin cepat jika perubahan kecepatan sudutnya tetap maka gerakan tersebut disebut *gerak melingkar berubah beraturan*.

Analog dengan persamaan (2.6) untuk gerak lurus maka percepatan sudut sesaat untuk benda yang bergerak melingkar dirumuskan oleh persamaan:

$$\vec{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} \quad \dots (2.39)$$

Suatu benda yang berputar dengan kecepatan sudut awal  $\omega_0$  dan mempunyai percepatan sudut sehingga dalam waktu  $t$  kecepatan sudut benda tersebut adalah:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \alpha t \quad \dots (2.40)$$

Sudut yang ditempuh oleh benda adalah posisi sudut pada saat  $t$  dikurangi posisi sudut pada saat awal atau  $\Delta\theta = \theta_t - \theta_0$ , persamaan (2.9) dapat ditulis menjadi:

$$\theta_t = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \dots (2.41)$$

dengan  $\theta_t$  = posisi sudut benda pada saat  $t$  (rad),  
 $\theta_0$  = posisi benda saat awal atau  $t = 0$  (rad).

Jika posisi sudut benda saat awal atau saat  $t = 0$  adalah nol, maka  $\theta_0 = 0$  sehingga persamaan (2.13) menjadi:

$$\theta_t = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \dots (2.42)$$

dengan:  $\theta_t$  = sudut yang ditempuh dalam waktu  $t$  (rad).

Suatu benda yang bergerak melingkar berubah tidak beraturan (GMBTB) tidak bisa menggunakan rumus-rumus di atas tetapi untuk menyelesaikan kita harus mengetahui bagaimana ketergantungan percepatan sudut benda tersebut terhadap waktu.

### c. Percepatan Sentripetal

Suatu benda yang bergerak melingkar maka vektor kecepatan benda tersebut terus menerus berubah baik arah maupun besarnya. Kondisi ini berlaku juga untuk benda yang bergerak melingkar dengan kelajuan tetap yaitu dengan memerhatikan posisi dan

kecepatannya seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.19**. Pada **Gambar 2.19** terlihat bahwa vektor kecepatan awal benda adalah  $v_1$  yang tegak lurus vektor posisi awal  $r_1$  dan sesaat kemudian, vektor kecepatannya adalah  $v_2$  yang tegak lurus vektor posisi awal  $r_2$ . Sudut antara vektor-vektor kecepatan adalah  $\Delta\theta$  adalah sama dengan sudut antara vektor-vektor posisi. Jika selang waktu  $\Delta t$  diambil sangat kecil, besar perpindahan hampir sama dengan jarak yang ditempuh sepanjang busur.

*Percepatan rata-rata* adalah rasio perubahan kecepatan terhadap selang waktu  $\Delta t$ . Untuk  $\Delta t$  yang sangat kecil maka perubahan kecepatan mendekati tegak lurus terhadap vektor kecepatan dan arahnya menuju ke pusat lingkaran. Pada **Gambar 2.17** terlihat dua segitiga sebangun yang mempunyai sudut  $\Delta\theta$ , dari dua segitiga ini diperoleh:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{|\Delta v|}{v} \quad \dots (2.43)$$

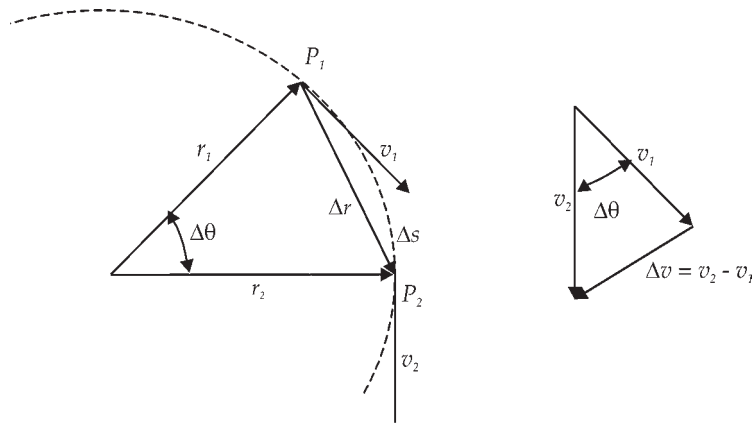
dengan:

$r$  = radius lingkaran (m),  $v$  = kelajuan benda (m/s), Jarak yang ditempuh  $\Delta s = v \Delta t$  sehingga persamaan (2.43) menjadi:

$$\Delta\theta = \frac{v\Delta t}{r} = \frac{|\Delta v|}{v} \text{ atau } \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} \quad \dots (2.44)$$

dengan  $\frac{|\Delta v|}{\Delta t} = a_s$  (percepatan sentripetal), sehingga persamaan bisa dituliskan:

$$a_s = \frac{v^2}{r} \quad \dots (2.45)$$



**Gambar 2.19.** Vektor posisi dan kecepatan untuk sebuah benda yang bergerak dalam sebuah lingkaran (Tipler, 1991).

Persamaan (2.45) inilah yang dikenal dengan percepatan sentripetal yang arahnya selalu menuju ke pusat kelengkungan (lingkaran). Benda yang bergerak melingkar dengan kelajuan konstan  $v$  dinyatakan:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad \dots (2.46)$$

dengan:

$v$  = kelajuan (m/s)

$r$  = radius lingkaran (m)

$T$  = periode (s)



### Contoh Soal

Sebuah benda bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan konstan. Radius lingkaran adalah 50 cm. Benda berputar sekali dalam waktu 5 s. Carilah kecepatan dan percepatan sentripetalnya.

**Penyelesaian:**

Kecepatan benda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.46).

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \cdot (3,14) \cdot (0,5)}{5} = 0,628 \text{ m/s}$$

Percepatan sentripetal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.46) yaitu:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(0,628 \text{ m/s})^2}{0,5 \text{ m}} = 0,79 \text{ m/s}^2$$



## Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak melewati sebuah tikungan yang mempunyai radius kelengkungan 100 m. Jika kelajuan mobil tersebut pada saat melewati tikungan adalah 54 km/jam maka hitunglah percepatan sentripetalnya.

### Penyelesaian:

Percepatan sentripetal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-32) yaitu:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(15 \text{ m/s})^2}{100 \text{ m}} = 2,25 \text{ m/s}^2$$



## Kejar Ilmu

Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru kalian!

1. Sebuah balok dengan massa 1 kg ikut bergerak melingkar pada dinding sebuah dalam sebuah tong yang berputar dengan koefisien gesek statis 0,4. Jika radius tong 1 m, maka hitunglah kelajuan minimal balok bersama tong agar tidak terjatuh. (UMPTN 2001 Rayon B).
1. Sebuah benda melakukan gerak melingkar, apabila frekuensinya diperbesar 3 kali dari frekuensi semula maka hitunglah besar peningkatan gaya sentripetal sekarang dibandingkan dengan gaya sentripetal sebelumnya.
2. Sebuah bola bermassa 0,2 kg diikat dengan tali sepanjang 0,5 m. Kemudian bola diputar sehingga melakukan gerak melingkar beraturan dalam bidang vertikal. Jika saat mencapai titik terendah kelajuan bola adalah  $5 \text{ ms}^{-1}$  maka hitunglah berapa newton tegangan tali pada saat itu.





## Ringkasan

1. Mekanika klasik adalah teori tentang gerak yang didasarkan pada massa dan gaya.
2. Sifat kelembaman suatu benda adalah sifat suatu benda untuk mempertahankan keadaan semula.
3. Sifat kelembaman suatu benda ini oleh Newton disebut sebagai Hukum I Newton.
4. Hukum I Newton: Sebuah benda tetap pada keadaan awalnya yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan, jika tidak ada suatu gaya eksternal netto yang memengaruhi benda tersebut.
5. Jika  $\Sigma F = 0$  maka benda yang diam tetap diam atau yang bergerak dengan kecepatan konstan tetap bergerak dengan kecepatan konstan.
6. Percepatan yang ditimbulkan oleh suatu gaya besarnya berbanding lurus dan searah dengan gaya tersebut dan berbanding terbalik dengan massa benda.
7. Gaya 1 newton adalah gaya yang bekerja pada benda yang massanya 1 kg sehingga menimbulkan percepatan pada benda sebesar  $1 \text{ m/s}^2$ .
8. Gerak jatuh bebas didefinisikan sebagai gerak suatu benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu di atas tanah tanpa kecepatan awal dan dalam geraknya hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi.
9. Kecepatan pada saat  $t$  dari suatu benda dilepaskan dari ketinggian  $h$  m di atas permukaan tanah tanpa kecepatan awal adalah:  
$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + at.$$
10. Jika  $v_0 = 0$  dan percepatan gravitasi  $a = g$ , maka kecepatan benda pada saat  $t$  adalah  $v_t = gt$ , dengan  $v_t =$  kecepatan pada waktu  $t$  (m/s),  $v_0 =$  kecepatan awal ( $t = 0$ ) (m/s), dan  $g =$  percepatan gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ ).
11. Hukum III Newton: Apabila sebuah benda pertama mengerjakan gaya pada benda kedua, maka benda kedua mengerjakan gaya pada benda pertama sama besar dan arahnya berlawanan dengan arah gaya pada benda pertama tersebut.
12. Hubungan antara gaya aksi dan reaksi dirumuskan sebagai berikut:  
$$\vec{F}_A = -\vec{F}_R$$

(tanda negatif menunjukkan arah gaya reaksi berlawanan dengan arah gaya aksi).
13. Gaya normal ( $N$ ) adalah gaya reaksi bidang terhadap benda yang arahnya tegak lurus bidang.
14. Gerak melingkar berubah beraturan adalah gerak melingkar suatu benda dengan perubahan kecepatan sudutnya tetap.
15. Percepatan sudut sesaat untuk benda yang bergerak melingkar adalah: 
$$\vec{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$$
16. Kecepatan sudut  $\omega$  suatu benda yang berputar dengan kecepatan sudut awal  $\omega_0$  dan percepatan sudut  $\alpha$  adalah .
17. Sudut yang ditempuh oleh benda adalah  $\theta_t = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$ , dengan  $\theta_t$  dan  $\theta_0$  berturut-turut adalah posisi benda saat  $t$  dan  $t = 0$ .

18. Percepatan sentripetal  $a_s$  suatu benda yang bergerak melingkar adalah  $\frac{v^2}{r}$ .
19. Benda disebut bergerak jika kedudukan benda itu mengalami perubahan terhadap acuannya.
20. Gerak suatu benda dibagi menjadi dua bagian yaitu gerak lurus dan gerak lengkung.
21. Jarak didefinisikan sebagai panjang lintasan sesungguhnya yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak.
22. Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan kedudukan suatu benda.
23. Kelajuan rata-rata didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh suatu benda dibagi waktu yang diperlukan.
24. Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perpindahan suatu benda dibagi waktu yang diperlukan benda tersebut untuk berpindah.
25. Percepatan rata-rata dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut: percepatan:
- $$\bar{a} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{perubahan waktu}}$$
- $$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t_2 - t_1}$$
- Percepatan sesaat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:
- $$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}$$
26. Gerak lurus beraturan adalah gerak suatu benda yang lintasannya berupa garis lurus dan memiliki kecepatan yang tetap.
27. Gerak suatu benda yang kecepatannya makin lama makin kecil disebut benda diperlambat.
28. Jarak yang ditempuh oleh benda yang bergerak lurus beraturan adalah  $s = vt$  dengan  $v$  adalah kecepatan benda dan  $t$  adalah waktu benda bergerak.
29. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) adalah gerak suatu benda yang lintasan gerakanya berupa garis lurus dan bergerak dengan perubahan kecepatan setiap saat tetap.
30. Kecepatan suatu benda yang bergerak lurus berubah beraturan adalah  $v_t = v_0 + at$ , dengan  $v_0$  adalah kecepatan awal,  $a$  adalah percepatan benda dan  $t$  adalah waktu yang digunakan oleh benda untuk bergerak.
31. Jarak yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak lurus berubah beraturan adalah  $s_t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ , dengan  $v_0$  adalah kecepatan awal benda.
32. Gerak melingkar adalah gerak yang lintasannya mempunyai pusat kelengkungan dengan radius kelengkungan tetap.
33. Kecepatan sudut  $\omega$  didefinisikan sebagai sudut yang ditempuh tiap satuan waktu  $t$  dan dirumuskan:
- $$\omega = \frac{\theta}{t}$$
34. Benda yang berputar dalam waktu satu periode ( $t = T$ ) maka sudut yang ditempuh adalah  $2\pi$  radian. sehingga kecepatan sudut dapat dirumuskan:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  atau  $\omega = 2\pi f$
35. Sudut yang ditempuh oleh benda yang bergerak melingkar beraturan adalah:  $\theta = \theta_0 + \omega t$ .
36. Hubungan antara kecepatan linier  $v$  dengan kecepatan sudut  $\omega$  adalah:  $v = \omega R$ .



Kerjakan di buku tugas kalian!

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

- Sebuah mobil bermassa 1500 kg bergerak dengan percepatan  $5 \text{ m/s}^2$ . Gaya yang harus diberikan oleh mesin mobil tersebut adalah sebesar ....
  - 300 N
  - 750 N
  - 3000 N
  - 7500 N
  - 75000 N
- Dalam sistem cgs satuan gaya adalah dyne, sedang dalam sistem SI satuan gaya adalah newton (N). Konversi satuannya adalah 1 N sama dengan ....
  - $10^{-5}$  dyne
  - $10^1$  dyne
  - $10^2$  dyne
  - $10^3$  dyne
  - $10^5$  dyne
- Sebuah benda jatuh bebas (tanpa kecepatan awal) dari ketinggian  $h = 40 \text{ m}$  di atas permukaan tanah. Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka kecepatan benda setelah bergerak selama 4 sekon adalah ....
  - 10 m/s
  - 30 m/s
  - 40 m/s
  - 70 m/s
  - 160 m/s
- Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian  $h = 30 \text{ m}$  di atas permukaan tanah dengan kecepatan awal 2 m/s. Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka kecepatan benda setelah bergerak selama 2 sekon adalah ....
  - 2 m/s
  - 18 m/s
  - 20 m/s
  - 22 m/s
  - 30 m/s
- Sebuah benda tegak lurus ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka kecepatan benda setelah bergerak selama 2 sekon adalah ....
  - 0 m/s
  - 10 m/s
  - 20 m/s
  - 40 m/s
  - 60 m/s

6. Suatu benda bermassa 10 kg berada di papan yang licin sempurna. Benda tersebut ditarik oleh suatu gaya sebesar 40 N ke arah mendatar sehingga percepatan yang dialami oleh benda tersebut adalah ....
- 4 m/s<sup>2</sup>
  - 10 m/s<sup>2</sup>
  - 40 m/s<sup>2</sup>
  - 100 m/s<sup>2</sup>
  - 400 m/s<sup>2</sup>
7. Sebuah benda diletakkan di atas bidang miring yang mempunyai kemiringan 30°. Massa benda adalah 4 kg jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s<sup>2</sup> maka besar gaya normal bidang terhadap buku adalah ....
- 10 N
  - 
  - 25 N
  - 30 N
  -
8. Suatu benda bermassa 5 kg berada di papan yang licin sempurna. Benda tersebut ditarik oleh suatu gaya sebesar 50 N yang membentuk sudut 60° dengan arah mendatar. Percepatan yang dialami oleh benda tersebut adalah ....
- 5 m/s<sup>2</sup>
  - 
  - 10 m/s<sup>2</sup>
  - 
  - 50 m/s<sup>2</sup>
9. Suatu benda bermassa 5 kg berada di papan yang licin sempurna. Benda tersebut ditarik oleh suatu gaya sebesar 50 N yang membentuk sudut 60° dengan arah mendatar. Jika gaya tersebut bekerja pada benda selama 4 sekon dan benda diam pada saat awal maka kecepatan benda tersebut adalah ....
- 10 m/s
  - 20 m/s
  - 25 m/s
  - 40 m/s
  - 50 m/s
10. Sebuah benda tegak lurus ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka ketinggian yang dicapai oleh benda setelah bergerak selama 3 sekon adalah ....
- 20 m
  - 30 m
  - 40 m
  - 45 m
  - 60 m

**B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan jelas!**

1. Sebuah mobil bergerak pada lintasan lurus, apabila jarum speedometer menunjukkan angka:  
10 km/jam selama 15 menit  
20 km/jam selama 30 menit  
30 km/jam selama 15 menit  
Hitunglah jarak tempuh dan laju rata-rata dari mobil tersebut.
2. Balok kayu dengan massa 2 kg pada bidang datar yang besar, ditarik gaya 12 N mendatar ternyata percepatannya  $4 \text{ ms}^{-2}$ . Karena kekasaran bidangnya terdapat gaya gesek yang melawan gaya tarik tersebut.  
Hitunglah besarnya gaya gesek tersebut!
3. Sebuah benda bermassa 4 kg, mula-mula dalam keadaan diam pada lantai yang licin. Kemudian benda ditarik oleh sebuah gaya konstan sebesar 20 N dengan arah mendatar selama 2 sekon.  
Hitunglah jarak yang ditempuh oleh benda tersebut!
4. Seseorang yang massanya 60 kg berada dalam sebuah lift yang bergerak dengan percepatan konstan sebesar  $5 \text{ ms}^{-2}$ . Hitunglah gaya tekan orang tersebut terhadap lantai lift jika lift dipercepat ke atas dan jika lift bergerak ke bawah!
5. Sebuah benda bergerak dari posisi diam, setelah 4 sekon kecepatan benda menjadi 20 m/s.  
Hitunglah percepatannya!
6. Sebuah benda bermassa 5 kg dalam keadaan diam. Pada benda bekerja gaya konstan yang mengakibatkan benda bergerak dengan kecepatan  $2 \text{ ms}^{-1}$  maka hitunglah usaha yang telah dilakukan gaya tersebut! (*EBTANAS'94*)
7. Sebuah titik berada pada tepi roda yang berjari-jari 10 cm. dalam dua menit dapat berputar 240 kali.  
Hitunglah kelajuan linear titik tersebut!

8. Seseorang bersepeda mempunyai gerak sebagai berikut:  
Gerak 1: dengan kecepatan  $2 \text{ ms}^{-2}$  selama 10 detik  
Gerak 2: pada detik ke 10 kecepatan tetap selama 20 detik  
Gerak 3: direm sampai berhenti dengan perlambatan  $4 \text{ ms}^{-2}$
- Jarak dan kecepatan pada detik ke 10
  - Jarak dan kecepatan pada gerak 2
  - Jarak dan waktu yang diperlukan sampai benda berhenti pada gerak 3.
9. Sebuah kelereng dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal  $10 \text{ ms}^{-1}$  dari ketinggian 15 m di atas tanah. Apabila percepatan gravitasi  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ , hitunglah waktu yang diperlukan untuk sampai ke tanah kembali!
10. Kecepatan kereta api diperbesar beraturan dari  $20 \text{ ms}^{-1}$  menjadi  $30 \text{ ms}^{-1}$  selama menempuh jarak 0,5 kilometer. Hitunglah percepatan kereta api tersebut!



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

- pengertian laju dan kecepatan rata-rata,
- pengertian laju dan kecepatan sesaat,
- pengertian percepatan,
- besaran-besaran fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan serta memberikan contohnya,
- besaran-besaran fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan,
- hukum I, hukum II, dan hukum III Newton.
- contoh penerapan hukum I, II, III dalam kehidupan sehari-hari

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajarilah kembali sebelum kalian melanjutkan pada bab berikutnya.

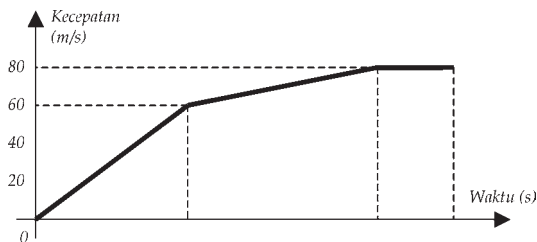
## Uji Kompetensi Akhir Semester 1

Kerjakan di buku tugas kalian!

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

1. Sebuah mobil balap direm dengan perlambatan konstan dari kelajuan  $25\text{ m/s}$  dalam jarak  $40\text{ m}$ . Jarak total (dalam meter) yang ditempuh mobil tersebut sampai berhenti adalah .... (*UM-UGM 2003*).

- a.  $40\text{ m}$
- b.  $62,5\text{ m}$
- c.  $85\text{ m}$
- d.  $107,5\text{ m}$
- e.  $130\text{ m}$



2. Perhatikan grafik kecepatan terhadap waktu kereta yang bergerak menurut garis lurus dalam waktu  $5\text{ detik}$ . Dari grafik di samping dapat ditentukan jarak yang ditempuh dalam waktu  $4\text{ detik}$ , yaitu .... (*PP I 1982*)

- a.  $60\text{ m}$
- b.  $140\text{ m}$
- c.  $170\text{ m}$
- d.  $200\text{ m}$
- e.  $260\text{ m}$

3. Sebuah mobil bergerak dengan kelajuan  $10\text{ m/s}$ , tiba-tiba mobil tersebut direm sehingga mengalami perlambatan  $5\text{ m/s}^2$ . Jarak yang ditempuh mobil sampai berhenti adalah ....

- a.  $10\text{ m}$
- b.  $15\text{ m}$
- c.  $20\text{ m}$
- d.  $25\text{ m}$
- e.  $30\text{ m}$

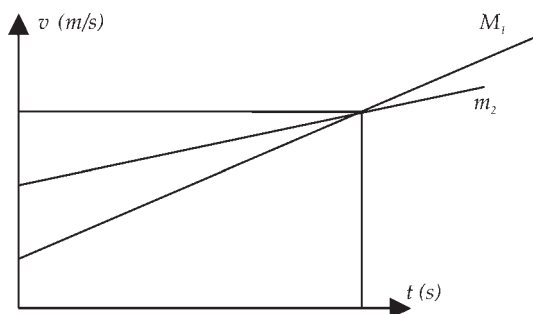
4. Sebuah mobil mula-mula diam. Kemudian mobil dihidupkan dan mobil bergerak dengan percepatan tetap  $2\text{ m/s}^2$ . Setelah mobil bergerak selama  $10\text{ s}$  mesinnya dimatikan, mobil mengalami perlambatan tetap dan mobil berhenti  $10\text{ detik}$  kemudian. Jarak yang masih ditempuh mobil mulai dari saat mesin dimatikan sampai berhenti adalah .... (*SPMB 2002 Regional I*)

- a.  $20\text{ m}$
- b.  $100\text{ m}$
- c.  $195\text{ m}$
- d.  $200\text{ m}$
- e.  $210\text{ m}$

5. Sebuah benda 2 kg diikat dengan seutas tali yang panjangnya 1,5 m lalu diputar menurut lintasan lingkaran vertikal dengan kecepatan sudut tetap. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan pada saat benda berada di titik terendah tali mengalami tegangan sebesar 47 newton, maka kecepatan sudutnya (dalam rad/s) adalah ....

(UMPTN 1995 Rayon A)

- a. 2  
b. 3  
c. 4  
d. 5  
e. 6



6. Dua buah benda pada gambar di samping masing-masing bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  bergerak sepanjang sumbu  $x$  dan kecepatan kedua benda terhadap waktu diberikan oleh gambar di atas. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa ....  
(UM UGM 2004)

- a.  $m_1 > m_2$   
b.  $m_1 < m_2$   
c. pada  $t = 10 \text{ s}$  kedua benda bertumbukan  
d. selama 10 s pertama menempuh jarak yang sama  
e.  $m_1$  menempuh jarak lebih jauh
7. Sebuah partikel bergerak sepanjang sumbu  $x$ , dimana posisinya dinyatakan oleh persamaan  $x = 5t^2 + 1$ ,  $x$  dalam meter dan  $t$  dalam sekon. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu antara 2 sekon dan 3 sekon adalah ....
- a. 5 m/s  
b. 15 m/s  
c. 25 m/s  
d. 40 m/s  
e. 50 m/s
8. Sebuah benda ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 200 m/s. Bila percepatan gravitasi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka tinggi maksimum yang dicapai benda adalah ....
- a. 2000 m  
b. 2500 m  
c. 3000 m  
d. 3500 m  
e. 4000 m

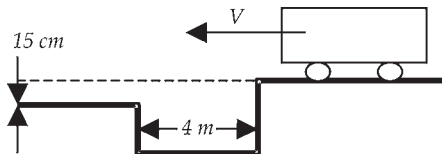






**B. Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan jawaban yang benar!**

1. Suatu benda dilempar vertikal ke atas dari permukaan bumi dengan kecepatan awal  $v_0 \text{ ms}^{-1}$ . Jika percepatan gravitasi  $g$  maka tinggi maksimum yang dicapai adalah  $h$ . Sekarang benda tersebut dilempar vertikal ke atas dari permukaan sebuah planet dengan kecepatan awal  $2 v_0 \text{ ms}^{-1}$  dan percepatan gravitasi  $2 g$ , hitunglah tinggi maksimum yang dicapai oleh benda tersebut!
2. Sebuah mobil bergerak pada lintasan lurus, apabila jarum speedometer menunjukkan angka:  
10 km/jam selama 15 menit  
20 km/jam selama 30 menit  
30 km/jam selama 15 menit  
Hitunglah jarak tempuh dan laju rata-rata dari mobil tersebut!
3. Sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan dengan melakukan 120 putaran tiap 3 menit. Bila jari-jari putaran 1 m. Hitunglah kecepatan linear benda tersebut!
4. Sebuah mobil hendak menyeberangi sebuah parit yang lebarnya 4 meter. Perbedaan tinggi antara kedua sisi parit itu adalah 15 cm, seperti yang ditunjukkan oleh gambar.

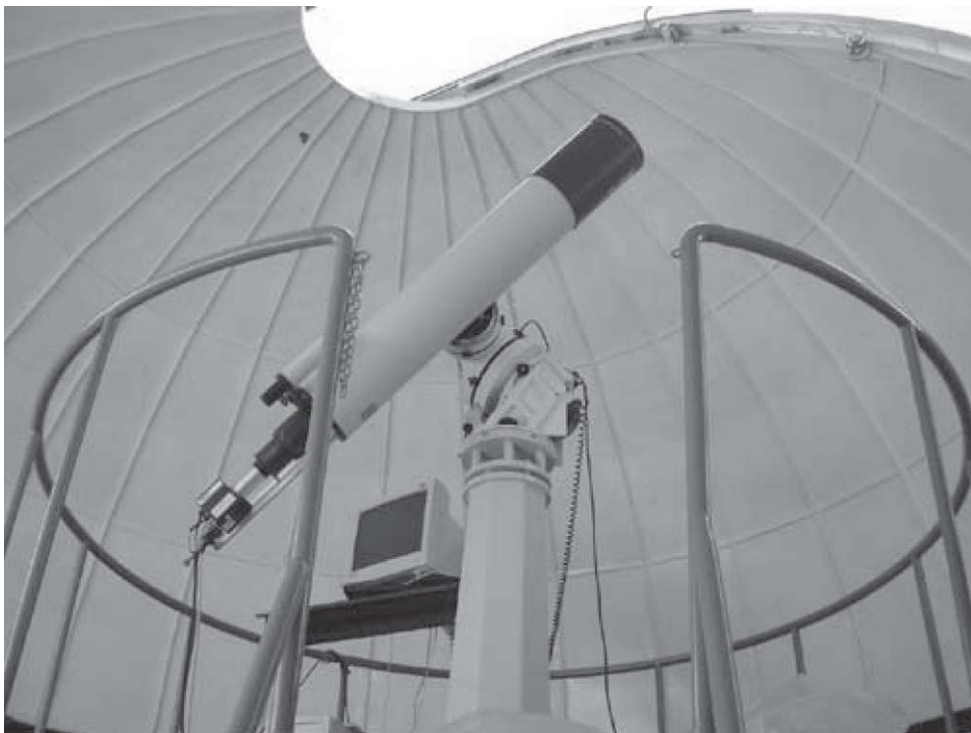


Percepatan grafitasi  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Agar penyeberangan mobil itu tetap dapat berlangsung maka hitunglah besarnya kelajuan minimum yang diperlukan oleh mobil tersebut!

5. Seorang anak melempar bola vertikal ke atas dari sebuah gedung yang tingginya 10 m dengan kelajuan awal  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Tentukan kelajuan bola saat akan menyentuh tanah ( $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ).

## Bab III

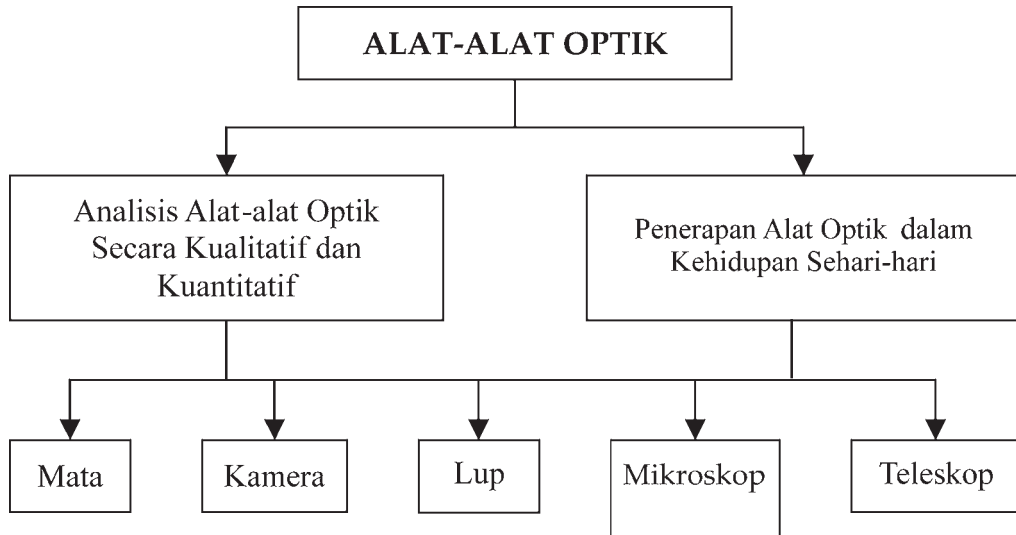
# Prinsip Kerja Alat-Alat Optik



Sumber : <http://www.agrupacioastrenomika.com>

Alat-alat optik digunakan untuk meningkatkan daya penglihatan manusia. Teleskop Astronomi untuk mengamati benda-benda angkasa. Di kubah observatorium yang dapat digerakkan, didalamnya terdapat sebuah teleskop modern yang digunakan untuk mengamati benda-benda angkasa

# PETA KONSEP



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. menganalisis alat-alat optik secara kualitatif dan kuantitatif, dan
2. menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.



## Motivasi Belajar

Alat optik dibuat dengan bermacam tujuan, tetapi fungsi alat optik yang utama adalah untuk meningkatkan daya penglihatan manusia. Contohnya kacamata, mikroskop dan teleskop. Mikroskop dan teleskop digunakan untuk melihat benda-benda yang tak terlihat dengan mata telanjang. Bagaimana prinsip kerja alat-alat optik tersebut dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari? Untuk dapat mengetahuinya maka pelajarilah materi bab ini dengan seksama!



## Kata Kunci

aberasi	titik dekat	lensa obyektif
akomodasi	iris	lensa okuler
retina	pupil	titik jauh

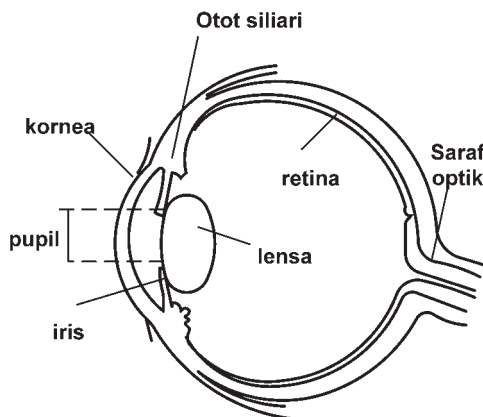
Banyak orang yang bisa melihat dengan jelas pada kondisi normal tanpa menggunakan kacamata. Dalam kondisi ini orang-orang tersebut menggunakan mata untuk melihat suatu benda. Jika dengan mata kita tidak dapat melihat dengan jelas maka kita dapat menggunakan alat bantu penglihatan. Alat bantu untuk mengamati benda-benda yang tidak jelas dilihat oleh mata disebut *alat optik*.

Mata adalah suatu alat optik yang memiliki banyak sekali keterbatasan. Mata kita tidak dapat melihat benda yang sangat kecil, misal bakteri, virus, dan sebagainya. Juga tidak bisa melihat benda yang tempatnya sangat jauh dengan jelas, seperti bulan, matahari, atau pesawat yang terbang tinggi, dan sebagainya. Beberapa jenis alat optik yang diciptakan untuk membantu kesulitan manusia dalam hal melihat benda-benda kecil atau yang jauh tempatnya yaitu lup, kamera, mikroskop dan teropong. Kita akan mempelajari alat-alat optik tersebut, dan akan kita mulai dengan alat optik yang dianugerahkan oleh Tuhan kepada kita semua yaitu mata kita.

# A. Analisis Alat-Alat Optik Secara Kualitatif dan Kuantitatif

## 1. Mata

Sistem optik yang paling penting bagi manusia adalah mata. Bagian-bagian dari mata ditunjukkan pada **Gambar 3.1**. Di depan lensa mata terdapat selaput yang membentuk suatu celah lingkaran. Selaput inilah yang disebut *iris* dan berfungsi memberi warna pada mata. Celah lingkaran disebut *pupil*. Lebar pupil dikendalikan oleh iris sesuai dengan intensitas cahaya yang mengenainya. Jumlah cahaya yang memasuki mata dikendalikan oleh *iris*. Iris mengatur ukuran biji mata, sedang tebal lensa dikendalikan oleh *otot siliari*. *Kornea mata* adalah bagian depan mata memiliki lengkung yang lebih tajam yang dilapisi oleh *selaput bening*. Di belakang kornea terdapat cairan (*aqueous humor*). Cairan ini berfungsi untuk membiaskan cahaya yang masuk ke dalam mata. Di bagian yang lebih dalam lagi terdapat lensa yang dibuat dari bahan bening, berserat dan kenyal. Lensa inilah yang disebut *lensa mata* atau *lensa kristalin*.



**Gambar 3.1** Bagian-bagian dari mata (Tipler, 1991)

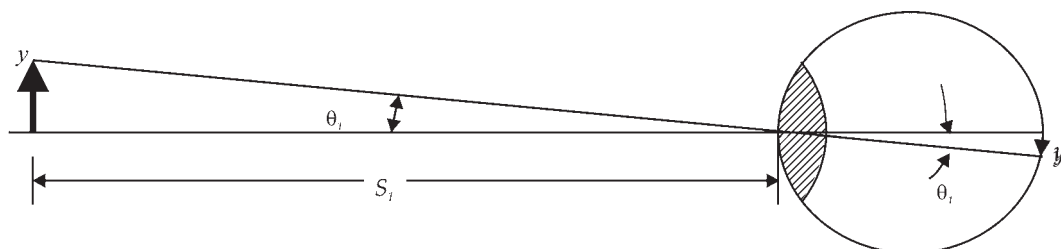
Cahaya memasuki mata melalui iris menembus biji mata, dan oleh lensa difokuskan sehingga jatuh ke retina atau selaput jala. *Retina* adalah lapisan serat saraf yang menutupi bagian belakang. Retina mengandung struktur indra-cahaya yang sangat halus disebut batang dan kerucut dan memancarkan informasi yang diterima *saraf optik* dan dikirim ke otak.

Apabila kita ingin melihat benda yang jauh letaknya maka *otot siliari* akan mengendor dan berakibat sistem *lensa kornea* berada pada panjang fokus maksimumnya yaitu kira-kira 2,5 cm (jarak dari kornea ke retina) (Tipler, 1991). Bila letak benda didekatkan maka otot siliari akan meningkatkan kelengkungan lensa sehingga mengurangi panjang fokusnya dan bayangan akan difokuskan ke retina. Proses perubahan kelengkungan lensa inilah yang disebut *akomodasi*.

Jarak terdekat (posisi benda di depan mata) dimana lensa memfokuskan cahaya yang masuk tetap jatuh di retina disebut *titik dekat*. Jika benda lebih didekatkan ke mata maka lensa tidak dapat memfokuskan cahaya. Cahaya yang masuk tidak jatuh di retina maka bayangan menjadi kabur. Posisi titik

dekat ini beragam dari satu orang ke orang yang lain dan berubah dengan meningkatnya usia. Sebagai contoh, seseorang yang usianya 10 tahun maka titik dekatnya dapat sekitar 7 cm di depan mata, sedang seseorang yang usianya 60 tahun maka titik dekatnya dapat sekitar 200 cm.

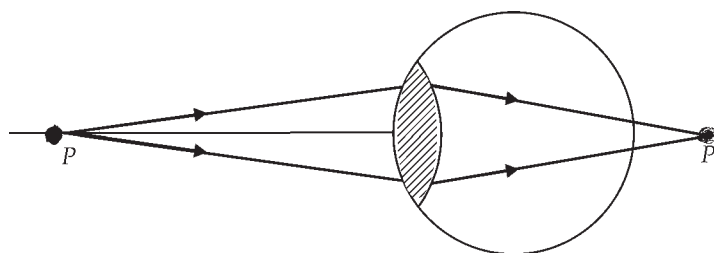
Bagaimana proses pembentukan bayangan di retina jika mata kita melihat suatu benda? Proses pembentukan bayangan di retina ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Proses pembentukan bayangan di retina (Tipler, 1991)

Benda yang tingginya  $y$  terletak pada jarak  $S_1$  maka tampak kecil karena bayangan yang terbentuk di retina kecil dengan tinggi bayangan  $y'$ . Bayangan yang ditangkap di retina adalah nyata, terbalik, dan diperkecil. Otak kitalah yang menerjemahkan sehingga kalau kita melihat suatu benda maka kita dapat melihat seolah-olah bayangan tegak dan tidak terbalik.

Jika kemampuan otot siliari untuk mengatur kelengkungan lensa mata kurang maka dapat berakibat lensa mata kurang cembung. Hal ini mengakibatkan cahaya pembentuk bayangan yang terbentuk akan jatuh di belakang retina seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.

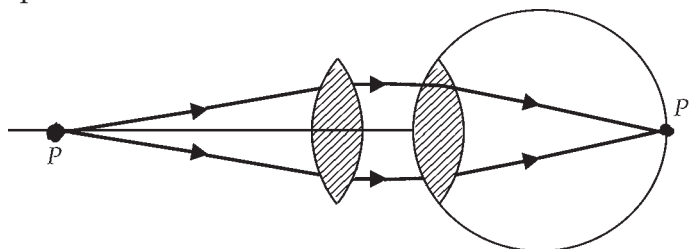


**Gambar 3.3.** Proses pembentukan bayangan yang terbentuk di belakang retina pada orang yang menderita rabun jauh.

Orang yang mempunyai kelainan seperti ini disebut *rabun jauh*. Kelainan semacam ini dapat diatasi dengan memasang lensa positif atau kaca mata berlensa cembung (positif).

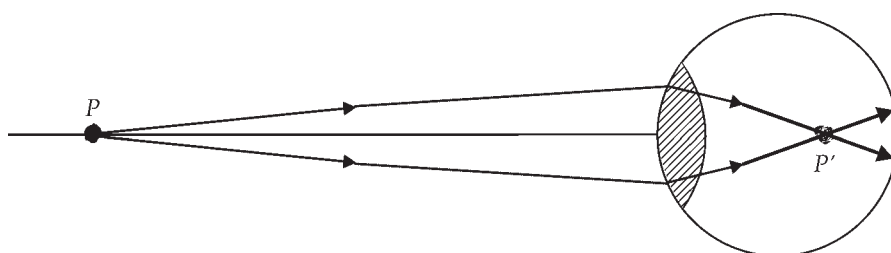


Kacamata berlensa cembung membantu cahaya pembentuk bayangan tetap jatuh di retina. Proses pembentukan bayangan di retina pada orang yang menderita rabun jauh ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



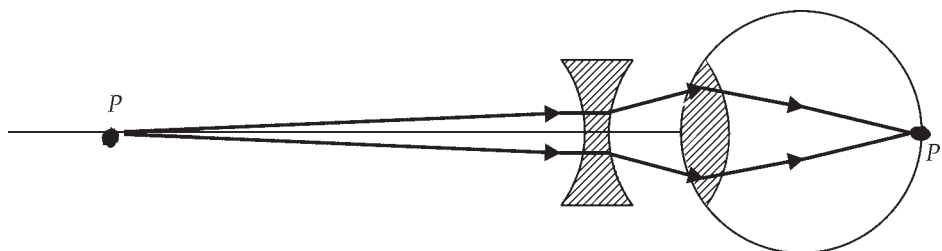
**Gambar 3.4.** Proses pembentukan bayangan di retina pada orang yang menderita rabun jauh dengan bantuan lensa positif.

Di lain pihak, jika kemampuan otot siliari terlalu kuat dan berakibat lensa mata terlalu cembung maka bayangan yang terbentuk akan jatuh di depan retina, seperti ditunjukkan pada **gambar 3.5**.



**Gambar 3.5.** Proses pembentukan bayangan yang terbentuk di depan retina pada orang yang menderita rabun dekat

Orang yang mempunyai kelainan seperti ini disebut *rabun dekat*. Kelainan semacam ini dapat diatasi dengan memasang *lensa negatif* atau memakai kaca mata berlensa cekung (negatif). Kacamata berlensa cekung membantu cahaya pembentuk bayangan benda tetap terbentuk di retina. Proses pembentukan bayangan di retina pada orang yang menderita rabun dekat ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6.** Proses pembentukan bayangan di retina pada orang yang menderita rabun dekat setelah memakai lensa negatif

Hubungan posisi benda, bayangan yang terbentuk dan panjang fokus suatu lensa tipis dapat ditulis dalam rumus matematik:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \dots (3.1)$$

dengan:

$s$  = jarak benda ke mata,

$s'$  = jarak bayangan ke mata, dan

$f$  = panjang fokus lensa.

Kemampuan suatu lensa positif untuk mengumpulkan cahaya atau kemampuan lensa negatif untuk menyebarkan cahaya dinyatakan dengan istilah kekuatan lensa ( $P$ ) yaitu:

$$P = \frac{1}{f} \quad \dots (3.2)$$

dengan:

$P$  = kekuatan lensa ( $D$  = dioptri);

$f$  = panjang fokus lensa (m).

Untuk panjang fokus suatu lensa 1 m maka kekuatan lensa tersebut 1 D.

Mata adalah suatu alat optik yang terdiri atas 1(satu) lensa positif. Alat optik yang juga terdiri atas 1 (satu) lensa adalah lup atau kaca pembesar.



### Contoh Soal 1

Seseorang ingin melihat suatu benda yang berada di depan mata pada jarak 25 cm. Jika jarak kornea mata ke retina adalah 2,5 cm maka hitunglah panjang fokus sistem lensa-kornea agar benda terlihat paling jelas oleh mata orang tersebut.

#### Penyelesaian:

Jika benda berada di tempat yang jauh tak berhingga maka sinar dari benda akan sejajar sumbu lensa dan difokuskan oleh mata di retina, dan memberikan panjang fokus untuk sistem lensa kornea sebesar 2,5 cm. Untuk melihat benda yang berjarak 25 cm di depan mata, benda terlihat paling

jelas jika bayangan terbentuk di retina. Dengan menggunakan persamaan (3.1) pada lensa tipis di atas maka panjang fokus lensa dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$= \frac{1}{25} + \frac{1}{2,5}$$

$$= \frac{1}{25} + \frac{10}{25}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{11}{25}$$

$$f = \frac{25}{11} = 2,24 \text{ cm}$$

Jadi, panjang fokus lensa 2,24 cm.



### Contoh Soal

Sebuah lensa memiliki kekuatan -2,5 dioptri. Hitunglah panjang fokus lensa tersebut?

**Penyelesaian:**

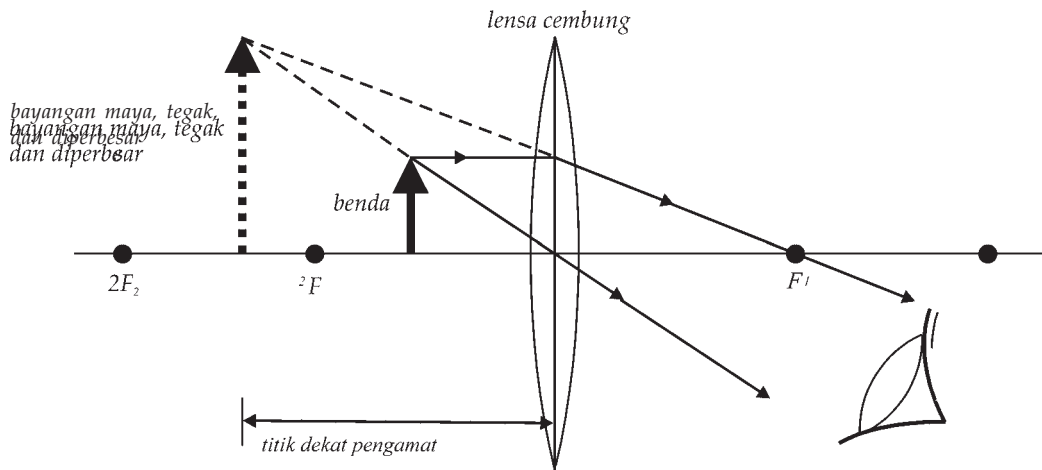
Dengan menggunakan persamaan (3.2) diperoleh:

$$f = \frac{1}{P} = \frac{1}{-2,5 \text{ D}} = -0,40 \text{ m} = -40 \text{ cm}$$

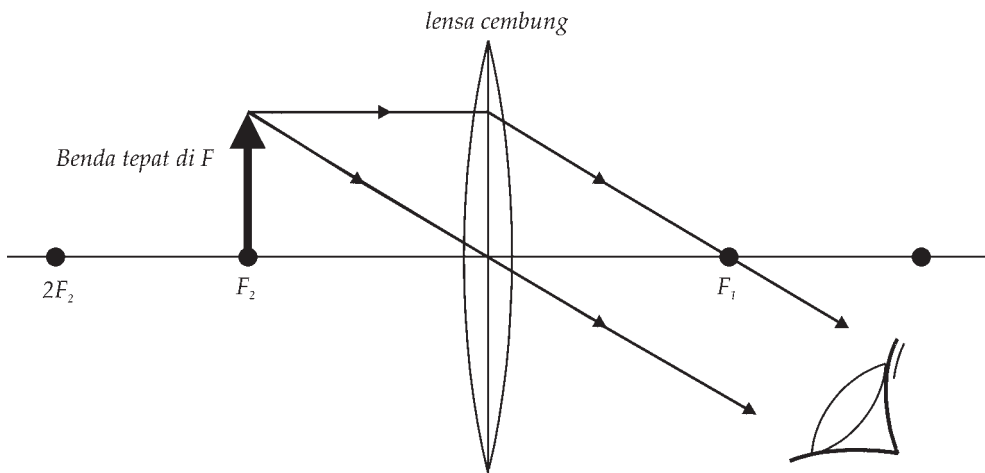
Jadi, panjang fokus lensa di atas adalah -40 cm.

## 2. Lup atau Kaca Pembesar

*Lup* adalah alat optik yang hanya mempunyai satu lensa. Lup digunakan untuk melihat benda yang kecil agar tampak lebih besar. Lup ini sering digunakan oleh tukang servis arloji, tukang servis barang elektronik, dan sebagainya. Prinsip kerja lup dapat dijelaskan pada **Gambar 3.4.** dan **Gambar 3.5.**

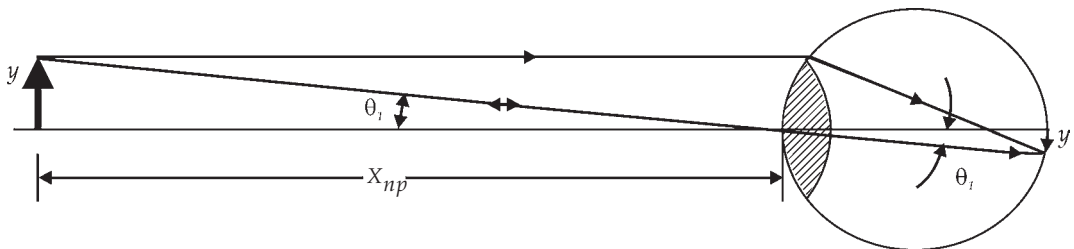


**Gambar 3.4** Proses pembentukan bayangan pada lup dengan mata berakomodasi paling kuat.



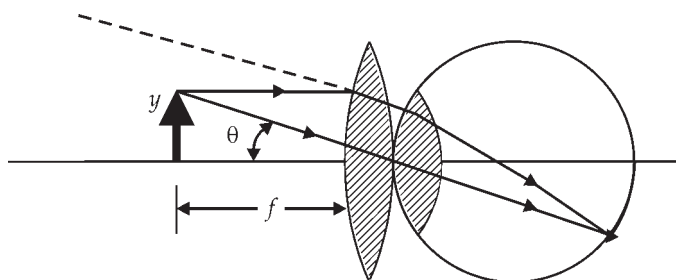
**Gambar 3.5.** Proses pembentukan bayangan pada lup dengan mata tidak berakomodasi

Jika suatu benda yang tingginya  $y$  berada pada titik fokus suatu lensa maka bayangan terbentuk di retina, seperti ditunjukkan pada gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Proses pembentukan bayangan oleh lensa mata dengan posisi benda berada pada titik fokus lensa mata tersebut

Suatu lensa cembung dengan panjang fokusnya  $f$  ( $f < X_{np}$ ), diletakkan di depan mata dan digunakan untuk melihat benda yang diletakkan di titik fokus lensa tersebut, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



**Gambar 3.7.** Proses pembentukan bayangan oleh suatu lup dengan posisi benda berada pada titik fokus dari lensa lup tersebut.

Pembesaran sudut atau kekuatan perbesaran  $M$  lup adalah:

$$M = \frac{\theta}{\theta_1} = \frac{X_{np}}{f} \quad \dots (3.3)$$

dengan:

$M$  = perbesaran lup,

$X_{np}$  = adalah jarak titik dekat, dan

$f$  = jarak fokus lensa.



### Contoh Soal 1

Seseorang mempunyai titik dekat 25 cm menggunakan lensa sebagai kaca pembesar. Jika orang tersebut ingin mendapat pembesar 10 kali maka hitunglah kekuatan lensa tersebut.

**Penyelesaian:**

Dengan menggunakan  $X_{np} = 25$  cm dan perbesaran  $M = 10$  maka dengan menggunakan persamaan (3.3) diperoleh jarak fokus lensa adalah:

$$f = \frac{X_{np}}{M} = \frac{25 \text{ cm}}{10} = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m.}$$

Dengan menggunakan persamaan (3.2) diperoleh kekuatan lensa  $P$ .

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,025} = 40 \text{ D (dioptri)}$$



## Contoh Soal 2

Seseorang mempunyai titik dekat 40 cm menggunakan lensa sebagai kaca pembesar. Jika kekuatan lensa yang digunakan adalah 20 D maka hitunglah perbesaran kaca pembesar tersebut.

### Penyelesaian:

Dengan menggunakan  $X_{np} = 40$  cm dan kekuatan lensa 20 D maka dengan menggunakan persamaan (3-2) diperoleh jarak fokus lensa adalah:

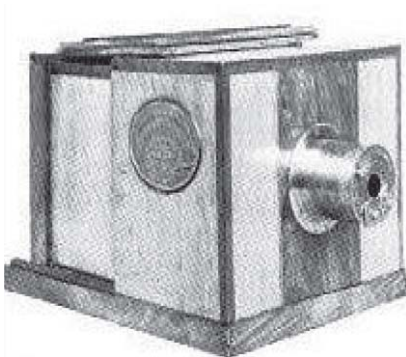
$$f = \frac{1}{P} = \frac{1}{20 \text{ m}^{-1}} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan persamaan (3-3) diperoleh kekuatan lensa P.

$$M = \frac{X_{np}}{f} = \frac{40 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 8$$

Jadi, benda tampak 8 kali lebih besar.

## 3. Kamera



Sumber : <http://www.mediahistory.com>

Gambar 3.8. Kamera Daguerre

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering melihat banyak orang memotret atau mengabadikan suatu kejadian-kejadian tertentu dengan cara memotret atau mengambil gambar-gambar tertentu, misalnya gambar orang, pemandangan, dan sebagainya. Alat yang digunakan untuk memotret disebut kamera.

Pada tahun 1826, seorang penemu kamera dari Perancis **Joseph Niepce** berhasil membuat kamera nyata yang pertama. Kamera ini terdiri dari kotak kayu dengan sebuah lensa di depannya dan berhasil membuat gambar permanen pertama pada sebuah pelat logam.

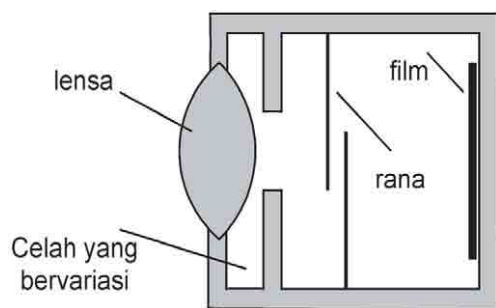
Orang yang difoto dengan kamera ini harus berpose selama 8 jam agar gambarnya dapat terekam pada pelat logam. Ilmuwan Perancis, **Louis J. Mande Daguerre** berhasil mengembangkan proses tersebut di atas dan berhasil membuat kamera praktis yang pertama, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.8**. Sedang dengan kamera ini, orang yang difoto cukup berpose selama 30 menit agar gambarnya dapat terekam pada pelat tembaga.

Pada tahun 1888, ilmuwan Amerika, **George Eastman** berhasil memproduksi kamera populer yang memiliki satu rol film yang dapat digunakan untuk mengambil 100 foto. Perkembangan saat ini, kamera dibedakan menjadi kamera dengan film dan kamera tanpa film (kamera digital) seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



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

**Gambar 3.9.** a. Kamera dengan film, b. Kamera digital

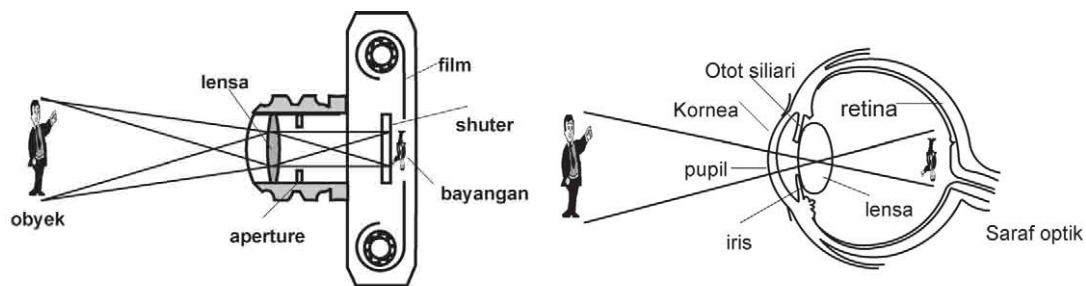


**Gambar 3.10** Kamera sederhana

Kamera sederhana terdiri atas *lensa positif* dan atau celah yang dapat berubah, *rana* yang dapat dibuka untuk waktu yang singkat dan dapat bervariasi, *kotak kedap cahaya*, dan *film* seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.

Prinsip kerja kamera ini hampir sama dengan mata. Ada perbedaan pokok antara mata dan kamera. Pada mata jarak fokusnya dapat berubah dengan mengatur ketegangan otot siliari agar bayangan terbentuk di retina. Pada

kamera letak bayangan dapat diatur dengan memariasi jarak antara lensa dengan *film* agar bayangan terbentuk pada film tersebut. Proses pembentukan bayangan pada mata dan kamera ditunjukkan pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3.11** Proses pembentukan bayangan pada mata dan kamera



### Contoh Soal 1

Panjang fokus lensa kamera adalah 60 mm dan kamera ini diatur untuk memotret benda yang jauh. Hitunglah jarak lensa dan film agar bayangan terbentuk pada film tersebut.

#### Penyelesaian:

Sesuai dengan sifat lensa untuk benda yang berada di suatu tempat yang jauh tak berhingga maka bayangan akan terbentuk pada panjang fokus lensa tersebut, sehingga filmya harus berada pada titik fokus lensa tersebut atau film harus berjarak 60 mm dari posisi lensa.



### Contoh Soal 2

Panjang fokus suatu lensa kamera adalah 80 mm dan kamera ini diatur untuk memotret benda yang jauh. Jika kita ingin menggunakan kamera ini untuk memotret benda yang jaraknya 2 m dari kamera, maka tentukan jarak lensa dan film agar bayangan tetap terbentuk pada film tersebut.

#### Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (3.1) yaitu:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$$

$$= \frac{1}{80} - \frac{1}{2000}$$

$$= \frac{25}{2000} - \frac{1}{2000} = \frac{24}{2000}$$

$$s' = \frac{2000}{24} = 83,3$$

Jadi, lensa dan film harus dibuat 83,3 mm agar bayangan terbentuk pada film.

## 4. Mikroskop

Dalam laboratorium biologi atau farmasi kita sering melihat banyak orang melihat hal-hal yang sangat kecil, seperti sel darah, hewan bersel satu, amuba, mata serangga dan sebagainya. Hal-hal yang kecil-kecil ini tidak akan tampak





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

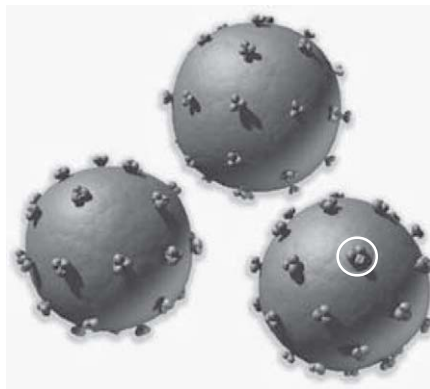
**Gambar 3.12** Contoh sebuah mikroskop

jika hanya dilihat dengan mata biasa. Alat untuk melihat benda-benda yang sangat kecil ini pada jarak yang sangat dekat ini disebut *mikroskop*. Contoh sebuah mikroskop ditunjukkan pada **Gambar 3.12**.

Pada tahun 1590, pembuat lensa asal Belanda yaitu **Zacharias Janssen** berhasil membuat mikroskop pertama yang berupa tabung sederhana dengan lensa cembung di tiap ujungnya. Pada tahun 1650, ilmuwan asal Belanda **Antoni van Leeuwenhoek** berhasil membuat mikroskop dengan perbesaran 250 kali. Dia berhasil melihat benda-benda yang sangat kecil, seperti sel darah, hewan bersel satu, amuba, mata serangga dan susunan sel daun dengan mikroskop ini. Dengan adanya penemuan mikroskop ini ilmuwan-ilmuwan

biologi berhasil melihat dan menyelidiki bagaimana bakteri menyerang tubuh manusia dan menyebabkan manusia terserang penyakit. Bidang mikrobiologi berkembang dengan pesat setelah ditemukan mikroskop.

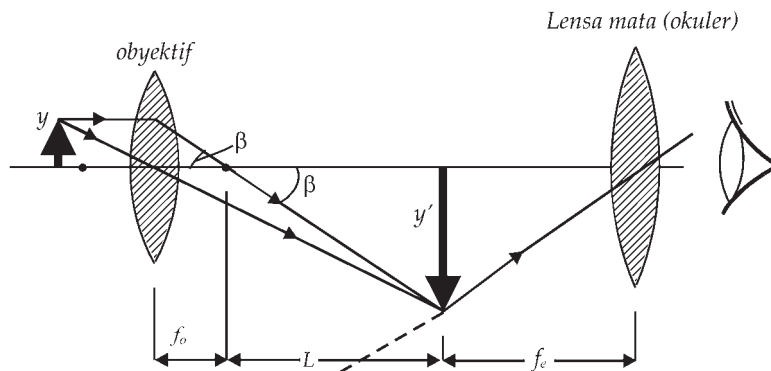
*Mikroskop cahaya* yaitu mikroskop yang menggunakan cahaya untuk membentuk bayangan dari benda yang akan dilihat. Mikroskop cahaya ini mempunyai perbesaran 1.000 - 2.000. Sedang *mikroskop elektron* mempunyai perbesaran lebih dari 1.000.000 kali sehingga mampu melihat virus AIDS seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.14**.



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

**Gambar 3.14.** Virus AIDS dilihat dengan mikroskop elektron

Mikroskop majemuk adalah salah satu contoh dari suatu mikroskop yang telah ada seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Sketsa mikroskop majemuk yang terdiri atas dua lensa positif

Lensa yang berada terdekat dengan benda disebut *lensa objektif*, sedang lensa yang berada terdekat dengan mata disebut lensa mata atau *lensa okuler*. Lensa objektif membentuk bayangan benda yang sejati, diperbesar dan terbalik (lihat Gambar 3.15). Lensa mata digunakan sebagai kaca pembesar sederhana untuk melihat bayangan yang dibentuk oleh obyektifnya. Posisi lensa mata ditentukan sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa obyektifnya jatuh di titik fokus pertama dari lensa mata.

Jarak antara titik fokus kedua lensa objektif dan titik fokus pertama lensa mata disebut *panjang tabung L*. Panjang tabung dibuat tetap. Benda yang akan dilihat ditempatkan di luar titik fokus lensa objektif sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif tersebut akan diperbesar dan berada di titik fokus pertama lensa mata berjarak  $L + f_o$  dari lensa objektif, dengan  $f_o$  adalah panjang fokus lensa objektif. Perbesaran yang ditimbulkan oleh lensa objektif adalah:

$$m_o = \frac{y'}{y} = \frac{L}{f_o} \quad \dots (3.4)$$

Perbesaran sudut lensa mata adalah:

$$M_e = \frac{X_{np}}{f_e} \quad \dots (3.5)$$

dengan:

$X_{np}$  = titik-dekat orang yang menggunakan mikroskop tersebut

$f_e$  = adalah panjang fokus lensa mata

*Kekuatan perbesaran mikroskop majemuk* adalah hasil kali perbesaran yang dibentuk oleh lensa obyektif dan perbesaran yang dibentuk oleh lensa mata:

$$M = m_o M_e = \frac{L}{f_o} \frac{X_{np}}{f_e} \quad \dots (3.6)$$



### Contoh Soal 1

Sebuah mikroskop terdiri atas sebuah lensa obyektif yang memiliki panjang fokus 1,4 cm dan lensa mata yang memiliki panjang fokus 2,0 cm. kedua lensa ini terpisah sejauh 20 cm. Hitunglah kekuatan perbesaran mikroskop ini jika titik-dekat orang yang menggunakan adalah 25 cm.

**Penyelesaian:**

Panjang tabung mikroskop ini adalah:

20 cm – 2 cm – 1,4 cm = 16,6 cm. Kekuatan perbesaran mikroskop ini dapat digunakan rumus pada persamaan (3.6) dengan  $L = 16,6$  cm,  $f_o = 1,4$  cm,  $f_e = 2,0$  cm, dan  $X_{np} = 25$  cm:

$$M = m_o M_e = \frac{L}{f_o} \frac{X_{np}}{f_e}$$

$$M = - \frac{16,6 \text{ cm } 25 \text{ cm}}{1,4 \text{ cm } 2 \text{ cm}} = -148 \text{ kali}$$

(tanda negatif menunjukkan bayangan terbalik).



### Contoh Soal

Sebuah mikroskop terdiri atas sebuah lensa objektif dan lensa mata yang memiliki panjang fokus 2,0 cm. Kedua lensa ini terpisah sejauh 20 cm. Diketahui titik-dekat orang yang menggunakan adalah 25 cm. Hitunglah daya lensa objektif tersebut agar diperoleh kekuatan perbesaran mikroskop ini adalah 200 kali dan bayangan terbalik.

### Penyelesaian:

Dengan persamaan (3.6) diperoleh hubungan antara perbesaran mikroskop dengan panjang fokus lensa objektif:

$$M = -\frac{L}{f_o} \frac{X_{np}}{f_e}$$

$$f_o = -\frac{L}{M} \frac{X_{np}}{f_e} = \text{atau } f_o = -\frac{16,6 \text{ cm}}{200} \frac{25 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} = -1,0375 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan persamaan (3.2) diperoleh kekuatan lensa objektif:

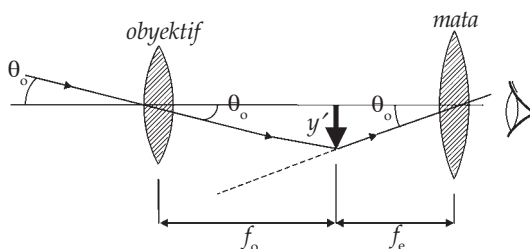
$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,0010375 \text{ m}} = 96 \text{ D (dioptri)}$$



### Keingintahuan

Cobalah kalian mengamati benda-benda yang kecil yang tak dapat diamati dengan mata biasa (jamur pada tempe, bakteri dan lain-lain) dengan mikroskop. Dapatkah kamu menentukan ukuran yang sebenarnya dari benda-benda yang kalian amati tersebut. Konsultasikan dengan guru kalian!

## 5. Teleskop



**Gambar 3.16.** Diagram sketsa teleskop astronomis (Tipler, 1991)

**Teleskop (teropong)** digunakan untuk melihat benda-benda besar yang letaknya jauh. Fungsi teleskop untuk membawa bayangan benda yang terbentuk lebih dekat sehingga tampak benda lebih besar. Pada tahun 1608, **Hans Lippershey** ilmuwan Belanda berhasil membuat teleskop. Pada tahun 1611, seorang ilmuwan Italy, **Galileo** berhasil membuat teropong dengan perbesaran sampai dengan 30 kali.

Galileo adalah orang pertama yang menggunakan teleskop untuk mengamati benda-benda langit. Dia berhasil mengamati adanya pegunungan di Bulan dan bulan-bulan yang mengitari planet Yupiter. Teleskop ini lebih sering digunakan untuk mengamati benda-benda langit sehingga sering disebut teleskop astronomis. Contoh diagram sketsa *teleskop astronomis* ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.

Teleskop ini terdiri atas dua lensa positif. Lensa positif yang dekat dengan benda disebut *lensa objektif*, yang berfungsi untuk membentuk bayangan dari benda sejati dan terbalik. Lensa yang dekat dengan mata disebut lensa mata atau *lensa okuler* yang berfungsi sebagai kaca pembesar sederhana untuk melihat bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif. Letak benda sangat jauh sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif berada pada titik fokus lensa tersebut, dan jarak bayangan sama dengan panjang fokus lensa tersebut.

Kekuatan perbesaran teleskop  $M$  dengan perbandingan

$$M = \frac{\theta_e}{\theta_o},$$

dengan:

$\theta_e$  = Sudut yang dibentuk oleh bayangan akhir sebagaimana tampak oleh lensa mata,

$\theta_o$  = Sudut yang dibentuk benda apabila benda tersebut dilihat langsung oleh mata telanjang.

Dengan menggunakan pendekatan untuk sudut kecil yaitu  $\tan \theta = \theta$  maka dari **gambar (3.16)** diperoleh bahwa :

$$\tan \theta_o = -\frac{y'}{f_o} \approx \theta_o \quad \dots (3.7)$$

(tanda - diambil agar jika  $y'$  negatif maka  $\theta_o$  positif). Sudut  $\theta_e$  pada **Gambar (3.16)** adalah sudut yang dibentuk oleh bayangan akhir yaitu sebesar:

$$\tan \theta_e = -\frac{y'}{f_e} \approx \theta_e \quad \dots (3.8)$$

sehingga kekuatan perbesaran teleskop adalah:

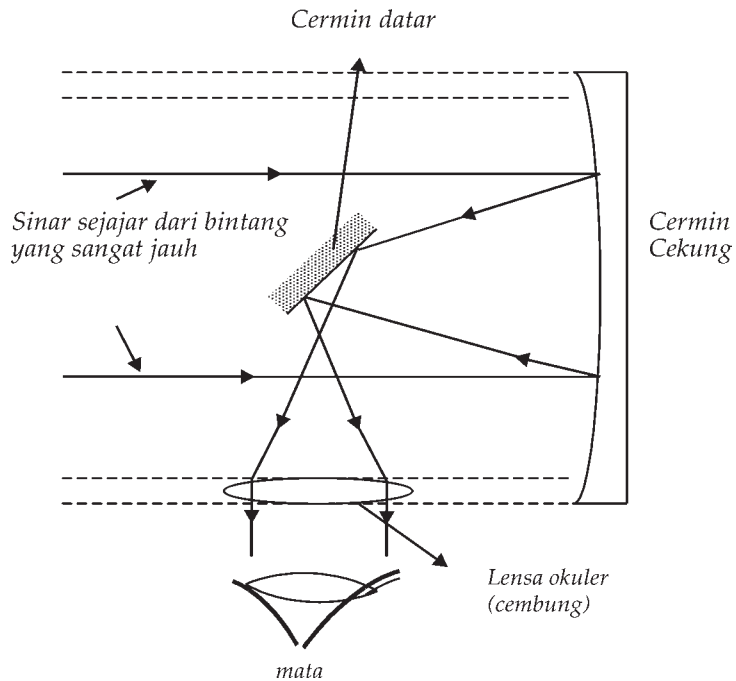
$$M = -\frac{\theta_e}{\theta_o} = -\frac{f_o}{f_e} \quad \dots (3.9)$$

dengan:

$f_e$  = jarak fokus lensa mata atau okuler, dan

$f_o$  = jarak fokus lensa objektif.

Dalam pengembangan selanjutnya, para ilmuwan berhasil mengganti lensa objektif suatu teleskop dengan sebuah cermin cekung besar yang berfungsi sebagai pemantul cahaya. Teleskop ini disebut *teleskop pantul*. Teleskop pantul terdiri atas satu cermin cekung besar, satu cermin datar kecil dan satu lensa cembung untuk mengamati benda, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.17**.



**Gambar 3.17.** Diagram sinar teleskop pantul untuk pengamatan benda langit



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

**Gambar 3.18** Teropong Hubble yang diandalkan para astronom untuk mengamati benda-benda langit

Pada tahun 1990, NASA mengenalkan teleskop pantul untuk mengamati benda-benda langit. Teleskop ini dikenal sebagai *teleskop (teropong) Hubble*. Contoh teropong Hubble ditunjukkan pada **Gambar 3.18**.

Suatu teropong sering digunakan juga pada kapal selam untuk mengintai musuh disebut *periskop*.



### Contoh Soal 1

Suatu teleskop mempunyai lensa objektif dengan panjang fokusnya 25 m. Jika panjang fokus lensa mata 10 cm maka hitunglah kekuatan perbesaran teleskop ini.

**Penyelesaian:**

Perbesaran teleskop  $M$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.9), yaitu:

$$M = -\frac{f_o}{f_e} = -\frac{25 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} = -250$$

Jadi perbesaran teleskop tersebut adalah 250 kali dan tanda negatif menunjukkan bayangan terbalik.



### Contoh Soal 2

Suatu teleskop mempunyai lensa objektif dengan kekuatan daya 0,05 D (dioptri). Jika panjang fokus lensa mata 10 cm maka hitunglah kekuatan perbesaran teleskop ini.

**Penyelesaian:**

Daya lensa objektif  $P = 0,005$  dioptri jadi jarak fokus lensa objektif tersebut

$$f = \frac{1}{0,05 \text{ D}} = 20 \text{ m.}$$

Perbesaran teleskop  $M$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.9), yaitu:

$$M = -\frac{f_o}{f_e} = -\frac{20 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} = -200$$

Hal yang perlu diperhatikan dalam hal teleskop astronomis adalah kekuatan pengumpulan cahayanya bukan pada kekuatan perbesaran teleskop. Hal ini disebabkan semakin besar objektifnya maka akan semakin terang bayangannya.



## Life Skills : Kecakapan Akademik

Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru.

Perhatikan penggalan cerita di bawah ini!

Damar adalah siswa salah satu SMA Negeri di Yogyakarta. Damar saat ulang tahun ke-17 diberi hadiah oleh orang tuanya sebuah kamera. Sehari sebelum ulang tahunnya dia diajak oleh ayahnya pergi ke toko kamera di Jalan Solo, Yogyakarta. Damar diminta memilih sendiri kamera yang diinginkan. Damar kebingungan untuk memilih kamera tersebut karena ada 2 jenis kamera yaitu kamera dengan film biasa dan kamera digital.

1. Tolong bantulah Damar dengan cara kamu jelaskan prinsip kerja kamera dengan film biasa dan kamera digital tersebut di atas!
2. Pada kamera digital ada istilah memorinya 2 MPixel, 3 MPixel, dst. Apa artinya jika memorinya makin besar?
3. Apa ada perbedaan cara kerja antara kamera digital dan kamera yang ada pada sebuah hand phone?



## Life Skills : Kecakapan Sosial

Kalian telah mempelajari teleskop. Lakukan sesuatu dengan memanfaatkan pemahaman tentang teleskop tersebut guna memberikan fasilitas kepada masyarakat luas, misalnya pengamatan aktivitas gunung Merapi. Ciptakan produk (sejenis teleskop) untuk mereka! Berkonsultasilah kepada guru kalian!

## B. Penerapan Alat-Alat Optik Dalam Kehidupan Sehari-Hari



Sumber: [www.sabah.gov.my](http://www.sabah.gov.my)

**Gambar 3.19** Orang menggunakan mata untuk melihat

### 1. Penerapan Alat Optik Mata

Orang dapat melihat segala indahan di dunia ini dengan menggunakan alat optik mata. Penggunaan alat optik mata untuk melihat sesuatu ditunjukkan pada **Gambar 3.19**.



## 2. Penerapan Alat Optik Kamera



Sumber : [www.ant.no.jpg](http://www.ant.no.jpg)

**Gambar 3.20** Orang memotret dengan menggunakan kamera

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering menjumpai orang mengabadikan suatu peristiwa dengan cara mengambil gambar peristiwa tersebut. Pengambilan gambar dilakukan dengan alat optik kamera. Kamera yang digunakan untuk mengambil gambar bisa kamera dengan film atau kamera tanpa film (digital). Penggunaan kamera untuk mengambil gambar ditunjukkan pada **Gambar 3. 20**.

## 3. Penerapan Alat Optik Lup (Kaca Pembesar) dalam Kehidupan Sehari-hari

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering melihat orang sedang memperbaiki komputer dengan menggunakan alat optik lup (kaca pembesar) untuk melihat komponen elektronik yang kecil-kecil itu. Alat ini sering digunakan untuk melihat tulisan atau gambar yang kecil. Penggunaan lup (kaca pembesar) ditunjukkan pada **Gambar 3.21**.



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

**Gambar 3.21** Penggunaan lup (kaca pembesar) untuk melihat tulisan yang kecil

## 4. Penerapan Alat Optik Mikroskop

Pada penelitian dalam bidang biologi, farmasi, medis, dan sebagainya, sering digunakan mikroskop untuk mengamati benda-benda yang tidak mungkin dapat dilihat dengan mata telanjang. Contoh penggunaan alat optik mikroskop untuk melihat benda-benda kecil ditunjukkan pada **Gambar 3.22**.



Sumber : [www.odgh.de](http://www.odgh.de)

**Gambar 3.22** Penggunaan alat optik mikroskop untuk melihat benda-benda kecil

## 5. Penerapan Alat Optik Teleskop

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering melihat orang yang berekreasi membawa teleskop (teropong). Alat ini sering digunakan untuk melihat pemandangan yang jauh agar tampak lebih dekat. Penggunaan teleskop untuk melihat benda-benda yang jauh di permukaan bumi ditunjukkan pada **Gambar 3.23**.



Sumber : [www.jphpk.gov.my](http://www.jphpk.gov.my)

**Gambar 3.23** Penggunaan teleskop untuk melihat benda-benda yang jauh.



## Life Skills : Kecakapan Personal

**Kerjakan soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru!**

Jika kamu pergi dengan pesawat udara maka semua tas yang kamu bawa harus dicek isinya oleh petugas yaitu dengan cara di kamera sinar X. Bagaimana prinsip kerja kamera yang digunakan di bandara sehingga kita tahu apa isi barang bawaan penumpang pesawat udara?



## Wawasan Kontekstual

Kita sering mendengar orang yang mengalami kecelakaan mengalami patah tulang rusuknya. Kamera seperti apa yang digunakan untuk mengetahui tulang mana yang patah yang ada di dalam tubuh kita? Diskusikan dengan guru kalian!



## Kewirausahaan : Inovatif

Jika kita lihat foto bumi kita oleh satelit maka pikirkan kamera seperti apa yang digunakan untuk memotret bumi yang kita tempati ini! Diskusikan dengan guru kalian!



## Ringkasan

1. Alat optik adalah alat bantu penglihatan yang berguna untuk mengamati benda-benda yang tidak jelas dilihat oleh mata.
2. Alat optik antara lain mata, kamera, lup, mikroskop dan teleskop.
3. Mata terdiri atas iris, pupil, kornea, otot siliari, lensa, retina dan saraf optik.
4. Iris berfungsi memberi warna pada mata.
5. Pupil adalah celah lingkaran yang lebarnya diatur oleh iris dan berguna untuk mengatur cahaya yang masuk ke mata.
6. Jumlah cahaya yang memasuki mata dikendalikan oleh iris.

7. Retina adalah lapisan seraf yang mengandung struktur indra-cahaya yang sangat halus dan memancarkan informasi yang diterima saraf optik dan dikirim ke otak.
8. Akomodasi adalah proses perubahan kelengkungan lensa mata.
9. Titik dekat adalah jarak terdekat (posisi benda di depan mata) dimana lensa memfokuskan cahaya yang masuk tetap jatuh di retina.
10. Rabun dekat adalah keadaan dimana kemampuan otot siliari terlalu kuat dan berakibat lensa mata terlalu cembung, sehingga bayangan yang terbentuk jatuh di depan retina.
11. Penderita rabun dekat dapat diatasi dengan memasang lensa positif di depan matanya sehingga bayangan tetap jatuh di retina.
12. Rabun jauh adalah keadaan dimana kemampuan otot siliari untuk mengatur kelengkungan lensa mata kurang dan berakibat lensa mata kurang cembung sehingga bayangan yang terbentuk jatuh di belakang retina.
13. Penderita rabun jauh dapat diatasi dengan memasang lensa negatif di depan matanya sehingga bayangan tetap jatuh di retina.
14. Hubungan posisi benda, bayangan yang terbentuk dan panjang fokus suatu lensa tipis adalah:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

15. Kemampuan suatu lensa positif untuk mengumpulkan cahaya atau kemampuan lensa negatif untuk menyebarkan cahaya dinyatakan dengan istilah kekuatan lensa (P)

$$\text{yaitu: } P = \frac{1}{f}$$

16. Lup adalah alat optik yang hanya mempunyai satu lensa.
17. Lup digunakan untuk melihat benda yang kecil agar tampak lebih besar.
18. Pembesaran sudut atau kekuatan pembesaran M lup adalah:

$$M = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{X_{np}}{f}$$

19. Kamera adalah alat yang digunakan untuk merekam gambar.
20. Kamera terdiri atas kamera dengan menggunakan film dan tidak menggunakan film.
21. Mikroskop adalah alat untuk melihat benda-benda yang sangat kecil pada jarak yang sangat dekat.
22. Lensa objektif adalah lensa yang berada terdekat dengan benda.
23. Lensa okuler adalah lensa yang berada terdekat dengan mata.
24. Teleskop adalah alat optik yang digunakan untuk melihat benda-benda besar yang letaknya sangat jauh.
25. Perbesaran teleskop M dapat dihitung dengan persamaan:

$$M = -\frac{f_o}{f_e}$$



Kerjakan di buku tugas kalian!

**A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!**

1. Penderita miopi menggunakan kacamata  $-2$  D agar penglihatannya menjadi normal. Apabila orang tersebut tanpa kacamata, titik jauhnya sebesar ....
  - a. 50 cm
  - b. 75 cm
  - c. 100 cm
  - d. 125 cm
  - e. 150 cm
2. Mata normal berakomodasi maksimum mengamati preparat yang berjarak 1,1 sentimeter di bawah lensa obyektif pada suatu mikroskop. Apabila lensa objektif dan lensa okuler mikroskop masing-masing berkekuatan 100 dioptri, panjang dan perbesaran mikroskop adalah ....
  - a. 15 cm dan 62,5 kali
  - b. 14,5 cm dan 72,5 kali
  - c. 14 cm dan 75 kali
  - d. 13,7 cm dan 80 kali
  - e. 13 cm dan 85 kali
3. Teropong bintang mempunyai lensa objektif dan okuler masing-masing berkekuatan  $\frac{1}{2}$  D dan 10 D. Apabila pengamatan tanpa akomodasi dan akomodasi maksimum, maka perbesaran yang diperoleh masing-masing sebesar ....
  - a. 10 kali dan 15 kali
  - b. 15 kali dan 20 kali
  - c. 20 kali dan 25 kali
  - d. 20 kali dan 28 kali
  - e. 26 kali dan 32 kali
4. Apabila dua lensa masing-masing mempunyai jarak fokus 20 sentimeter dan  $-5$  sentimeter, kuat lensa gabungan sebesar ....
  - a.  $-15$  dioptri
  - b.  $-10$  dioptri
  - c.  $-5$  dioptri
  - d. 10 dioptri
  - e. 15 dioptri

5. Sebuah lensa cembung mempunyai jarak fokus 25 cm. Kekuatan lensanya adalah ....
- a.  $\frac{1}{25}$  dioptri  
 b.  $\frac{1}{4}$  dioptri  
 c. 2 dioptri  
 d. 4 dioptri  
 e. 25 dioptri
6. Seseorang dengan mata miopi bertitik jauh 2 meter, dapat melihat dengan normal bila memakai kacamata dengan kekuatan ....
- a. -2 dioptri  
 b.  $-\frac{1}{2}$  dioptri  
 c.  $\frac{1}{2}$  dioptri  
 d. 2 dioptri  
 e. 4 dioptri
7. Titik dekat seseorang 2 meter. Kuat kacamata baca yang diperlukan adalah ....
- a.  $\frac{1}{4}$  dioptri  
 b.  $\frac{1}{2}$  dioptri  
 c.  $1\frac{1}{2}$  dioptri  
 d. 2,0 dioptri  
 e. 3,5 dioptri
8. Seseorang mempunyai titik dekat 100 cm di muka mata. Jika orang tersebut ingin melihat benda yang jaraknya 25 cm dengan terang, maka harus ditolong dengan kacamata yang jarak fokusnya ....
- a. -66 cm  
 b. -33 cm  
 c. +30 cm  
 d. +33cm  
 e. +66 cm
9. Jarak benda bagi lup 4 dioptri, tidak dapat sejauh ....
- a. 4 cm  
 b. 14 cm  
 c. 18 cm  
 d. 28 cm  
 e. 30 cm
10. Sebuah lup dengan jarak fokus 5 cm dipakai untuk melihat benda dengan mata normal tak berakomodasi, maka perbesarannya adalah ....
- a.  $\frac{1}{5}$  kali  
 b. 1 kali  
 c. 5 kali  
 d. 25 kali  
 e. 30 kali

**B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan jelas!**

1. Sebuah gedung yang tingginya 20 m. Pada foto hanya 2 cm saja. Pada jarak berapa gedung ini diambil gambarnya jika digunakan alat pemotret dengan lensa yang jarak fokusnya 5 cm?
2. Sebuah lup yang fokusnya 6 cm digunakan untuk mengamati sebuah benda dengan mata berakomodasi sekuat-kuatnya. Jarak titik dekatnya adalah 25 cm. Hitunglah jarak benda dari lup dan hitung pulalah perbesarannya!
3. Dua lensa yang jarak titik apinya masing-masing 1 cm dan 5 cm disusun membentuk mikroskop majemuk. Jika sebuah benda diletakkan 1,1 cm di depan lensa yang pertama dan mata berakomodasi maksimum, maka hitunglah jarak kedua lensa tersebut!
4. Panjang fokus lensa objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 10 cm dan 5 cm. Jika untuk mata tak berakomodasi jarak antara lensa objektif dan okuler adalah 35 cm, maka tentukanlah perbesaran total mikroskop!
5. Sebuah mikroskop mempunyai panjang tabung 21,4 cm, fokus objektif 4 mm, fokus okuler 5 cm. Untuk mendapatkan bayangan yang jelas dengan mata tanpa akomodasi terhadap objektif tentukanlah jarak benda tersebut!



## Refleksi

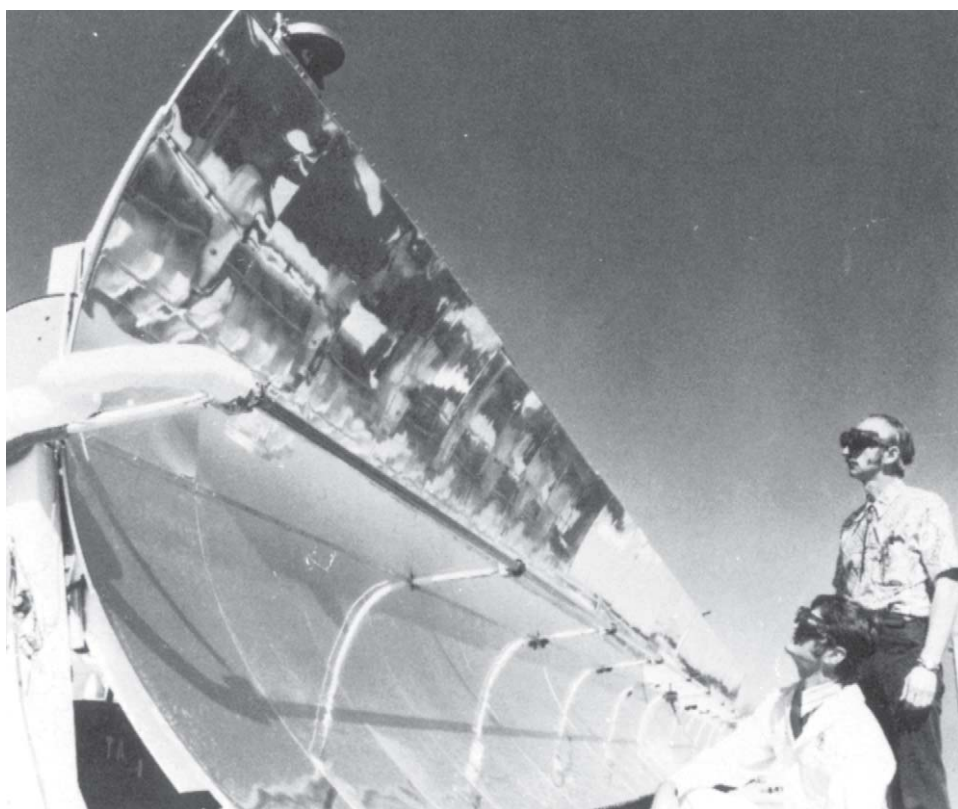
Setelah mempelajari materi bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

1. bagian-bagian mata dan fungsinya serta prinsip kerjanya;
2. bagian-bagian kamera dan fungsinya serta prinsip kerjanya;
3. bagian-bagian lup dan fungsinya serta prinsip kerjanya;
4. bagian-bagian teleskop dan fungsinya serta prinsip kerjanya;
5. bagian-bagian mikroskop dan fungsinya serta prinsip kerjanya; dan
6. contoh penerapan alat-alat optik tersebut dalam kehidupan sehari-hari.

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajarilah kembali sebelum melanjutkan pada bab berikutnya.

## Bab IV

# Kalor dan Konservasi Energi

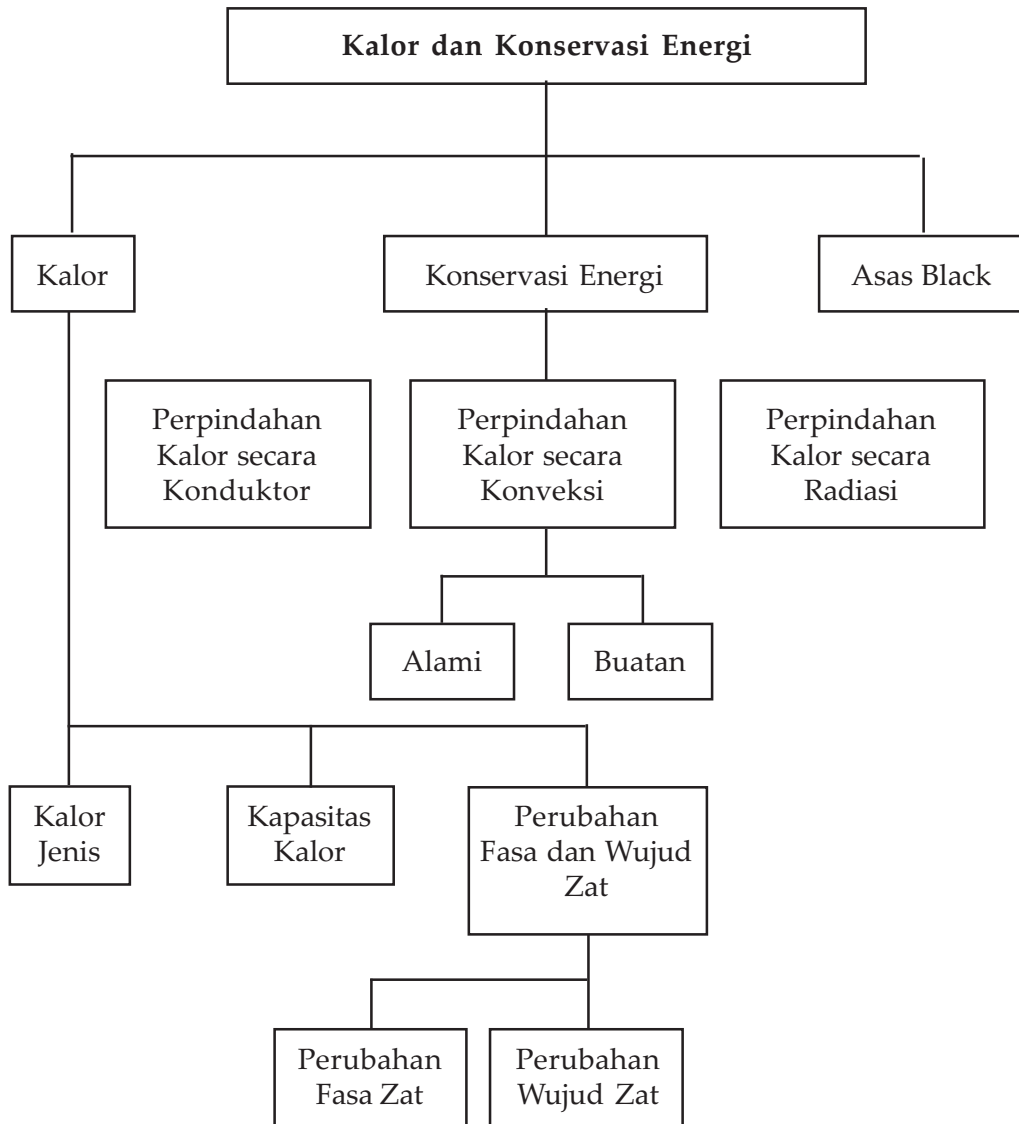


Sumber : Ilmu Pengetahuan Populer 5

Energi matahari diubah menjadi energi termal – kalor - dengan menggunakan kolektor parabolik matahari.



# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat,
2. menganalisis cara perpindahan kalor, dan
3. menerapkan asas Black dalam pemecahan masalah.



## Motivasi Belajar

Pada waktu siang hari kita sering merasa kepanasan dan saat itu kita mengatakan suhu udara tinggi. Pada saat pagi hari kadang kita merasa kedinginan dan kita mengatakan suhu udara rendah. Apa suhu itu? Bagaimana suhu itu dinyatakan dengan besaran kuantitatif dan dengan apa kita mengukur suhu tersebut? Benda yang bersuhu tinggi disentuh ke benda yang bersuhu rendah maka apa yang terjadi? Untuk mengetahuinya maka pelajilah materi bab ini dengan seksama!



## Kata Kunci

suhu  
termometer  
celcius  
kalor

kalor jenis  
kapasitas kalor  
konduksi  
konveksi

radiasi  
asas Black  
titik kritis

## A. Analisis Pengaruh Kalor terhadap Suatu Zat

Jika dua buah benda, yang salah satu benda mula-mula lebih panas dari pada benda yang lain, saling bersentuhan, maka suhu kedua benda tersebut akan sama setelah waktu yang cukup lama. Benda yang bersuhu tinggi memberi energi ke benda yang bersuhu rendah. Energi yang diberikan karena perbedaan suhu antara dua buah benda disebut *kalor*.



## Konsep

*Kalor adalah bentuk energi yang mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.*

Kedua benda ini saat suhunya sama disebut berada dalam keadaan setimbang termal. Hal ini dijelaskan dalam hukum ke nol termodinamika.



## Konsep

*Hukum ke nol Termodinamika: Jika benda A dan benda B masing-masing berada dalam keadaan setimbang termal dengan benda C, maka benda A dan benda B berada dalam keadaan setimbang termal antara satu dengan yang lain.*

Ungkapan yang lebih umum dan mendasar tentang hukum ke nol termodinamika:



## Konsep

Terdapat sebuah kuantitas skalar yang dinamakan suhu (*temperatur*) yang merupakan sebuah sifat semua benda (*sistem*), sehingga kesamaan suhu merupakan syarat untuk keadaan setimbang termal.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar informasi tentang suhu udara 30°C. Apakah yang dimaksud suhu?



## Konsep

Suhu adalah tingkat atau derajat panas (atau dingin) suatu benda atau sistem.

Alat untuk mengukur suhu atau temperatur suatu benda disebut *termometer*. Jenis termometer yang biasa digunakan adalah termometer *Celsius*, *Fahrenheit*, dan *Reamur*. Satuan suhu dalam sistem SI adalah derajat kelvin (K). Skala suhu untuk termometer Celsius adalah °C, skala suhu untuk termometer Fahrenheit adalah °F, dan skala suhu untuk termometer Reamur adalah °R.

Kalor merupakan suatu bentuk (wujud) energi. Kalor adalah sesuatu yang dipindahkan dari suatu zat (benda) yang bersuhu lebih tinggi ke zat (benda) dengan suhu yang lebih rendah. Kuantitas kalor (*Q*) sering dinyatakan dengan satuan kalori (cal).

## 1. Kalor Jenis

Jika kita memanaskan suatu zat maka jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu zat tersebut tergantung berapa jumlah *massa air*, *jenis zat*, dan *nilai kenaikan suhu* zat tersebut. Secara umum jika kita memanaskan suatu zat tertentu maka jumlah kalor yang diperlukan akan sebanding dengan massa dan kenaikan suhunya. Jika suatu zat massanya *m* maka untuk menaikkan suhunya sebesar  $\Delta T$  diperlukan kalor sebesar *Q* yaitu:

$$Q \propto m \cdot \Delta T \quad \dots (4.1)$$

Dari persamaan (4.1) ditunjukkan bahwa jenis zat sangat menentukan jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu zat tersebut. *Ketergantungan jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu terhadap jenis zat disebut dengan istilah kalor jenis yang diberi simbol dengan c*. Kalor jenis (*c*) zat adalah kapasitas kalor per satuan massa zat (merupakan karakteristik dari bahan zat tersebut), yaitu:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \text{ atau } Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad \dots (4.2)$$

dengan:

*Q* = jumlah kalor yang diberikan pada zat (kal atau j),

*c* = kalor jenis zat (kal/gr°C atau j/gr.°C),

*m* = massa zat (kg),

$\Delta T$  = kenaikan suhu zat (°C atau K).

Satu kilokalori (1 kkal) adalah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg air sebesar 1 °C. Zat yang berbeda (dengan massa zat yang sama, misalnya 1 kg) memerlukan kuantitas kalor yang berbeda untuk menaikkan suhunya sebesar 1 °C. Secara umum, kalor jenis zat merupakan fungsi suhu zat tersebut meskipun variasinya cukup kecil terhadap variasi suhu. Sebagai contoh, dalam rentang suhu 0°C - 100 °C, kalor jenis air berubah kurang dari 1% dari nilainya sebesar 1,00 cal/gr°C pada 15 °C.

Kalor jenis perlu juga dibedakan berdasarkan kondisi apakah diukur pada tekanan tetap (*c<sub>p</sub>*) ataukah pada volume tetap (*c<sub>v</sub>*). Kondisi yang lebih umum adalah kalor jenis pada tekanan tetap *c<sub>p</sub>*. **Tabel 4.1** menyajikan nilai-nilai *c<sub>p</sub>* beberapa zat padat pada suhu ruang dan tekanan 1 atm.

**Tabel 4.1. Nilai-nilai *c<sub>p</sub>* beberapa zat padat pada suhu ruang dan tekanan 1 atm**

Zat	Kalor Jenis	
	cal/gr.°C	J/gr.°C
Aluminium	0,215	0,900
Karbon	0,121	0,507
Tembaga	0,0923	0,386
Timbal	0,0305	0,128
Perak	0,0564	0,236
Tungsten	0,0321	0,134



## Konsep

Kalor jenis suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan setiap kilogram massa untuk menaikkan atau menurunkan suhunya satu Kelvin atau satu derajat Celsius.



## Contoh Soal

Sepotong aluminium bermassa 2 kg dan suhunya 30 °C. Kalor jenis aluminium 900 J/kg. °C. Jika suhu batang dikehendaki menjadi 80 °C maka hitunglah jumlah kalor yang harus diberikan pada batang aluminium tersebut.

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } m &= 5 \text{ kg} & t_2 &= 80 \text{ }^\circ\text{C} \\ & & t_1 &= 30 \text{ }^\circ\text{C} & c &= 900 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Ditanyakan:  $Q = \dots?$

**Jawab:**

Jumlah kalor yang harus diberikan pada batang aluminium tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4.2).

$$\begin{aligned} Q &= c.m.\Delta T \\ &= (900 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}) \times (5 \text{ kg}) \times (80 - 30) \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 2,25 \times 10^5 \text{ J.} \end{aligned}$$



## Contoh Soal

Sebuah cincin perak massanya 5 g dan suhunya 30 °C. Cincin tersebut dipanaskan dengan memberi kalor sejumlah 5 kal sehingga suhu cincin menjadi 47,5 °C. Hitunglah nilai kalor jenis cincin perak tersebut.

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } m &= 5 \text{ gr} \\ & t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ & t_2 = 47,5 \text{ }^\circ\text{C} \\ & Q = 5 \text{ kal} \end{aligned}$$

Ditanyakan:  $c = \dots?$

Jawab:

Nilai kalor jenis cincin perak tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4-1) yaitu:

$$c = \frac{Q}{\Delta T}$$
$$= \frac{5 \text{ kal}}{(5 \text{ gr}) \times (47,5 - 30)^\circ \text{C}} = \frac{5 \text{ kal}}{87,5 \text{ gr} \cdot ^\circ \text{C}} = 0,057 \text{ kal / gr}^\circ \text{C}$$



### Life Skills : Kecakapan Akademik

Sepotong tembaga dijatuhkan dari ketinggian 490 m di atas lantai. Kalor yang terjadi karena proses tumbukan dengan lantai sebesar 60% diserap oleh tembaga. Jika kalor jenis tembaga = 420 J/kg°C, percepatan gravitasi bumi 10 m/s<sup>2</sup>, maka hitunglah kenaikan suhu tembaga. (UMPTN 1992 rayon B). Hasilnya dilaporkan pada guru kalian!

## 2. Kapasitas Kalor

Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu yang sama dari suatu benda tentu saja berbeda dibandingkan dengan benda lain. Perbandingan antara jumlah kalor yang diberikan dengan kenaikan suhu suatu benda disebut dengan kapasitas kalor dan diberi simbol dengan C.



### Konsep

Kapasitas kalor suatu benda adalah jumlah kalor yang diperlukan atau dilepaskan jika suhu benda tersebut dinaikkan atau diturunkan satu Kelvin atau satu derajat Celsius.

*Kapasitas kalor (C)* zat didefinisikan sebagai nisbah (perbandingan) antara kalor yang diberikan pada zat dengan kenaikan suhu zat yang diakibatkan oleh pemberian kalor tersebut, yaitu:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \text{ atau } Q = C \Delta T \quad \dots (4.3)$$

## Seputar Tokoh

James Prescott Joule  
(1818 - 1889)



Fisikawan Inggris, lahir di Salford, Lancashire, ia mengabdikan hidupnya untuk riset ilmiah. Ia berhasil mencari hubungan antara energi mekanik dan energi listrik, sehingga namanya diabadikan nama satuan energi dalam SI yaitu joule atau J. ([www.wikipedia](http://www.wikipedia))

dengan:

$C$  = kapasitas kalor zat, (J/K atau J/ °C atau kal/°C)

$Q$  = jumlah kalor yang diberikan pada zat ( joule (J) atau kal)

$\Delta T$  = perubahan suhu zat, (K atau °C)

Hubungan antara kapasitas kalor  $C$  dengan kalor jenis  $c$  suatu zat dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4.1) dan (4.2) sehingga diperoleh:

$$C = m.c \quad \dots (4.4)$$

Satuan kalor dalam sistem SI adalah joule atau J. Dalam hal-hal tertentu satuan kalor sering antara joule dan kalori. Konversi satuan dari joule ke kalori adalah:

$$1 \text{ kalori} = 4,18 \text{ joule atau } 1 \text{ joule} = 0,24 \text{ kalori}$$

## 3. Perubahan Fasa dan Wujud Zat

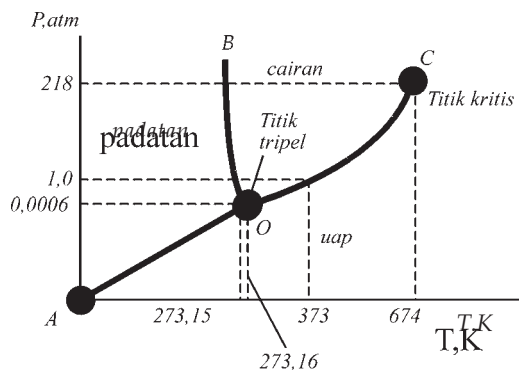
Jika kalor diberikan pada suatu zat pada tekanan konstan, maka biasanya suhu zat akan naik. Namun, pada kondisi tertentu suatu zat dapat menyerap kalor dalam jumlah yang besar tanpa mengalami perubahan pada suhunya.

### a. Perubahan Fasa Zat

Ini terjadi selama *perubahan fasa*, artinya ketika kondisi fisis zat itu berubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Jenis perubahan fasa yaitu (1) *Pembekuan*, yaitu perubahan fasa dari cairan menjadi padatan. Contoh: pembekuan air menjadi es. (2) *Penguapan* yaitu perubahan fasa dari cairan menjadi gas. Contoh: penguapan air menjadi uap. (3) *Sublimasi* yaitu perubahan fasa dari padatan menjadi gas. Contoh: penguapan bola-bola kamper menjadi gas.

Kita letakkan air dalam sebuah bejana hampa yang ditutup agar volumenya tetap konstan. Pada awalnya, sebagian air akan menguap, dan molekul uap air akan mengisi ruang yang semula kosong dalam tabung. Sebagian molekul uap air akan menumbuk permukaan cairan dan kembali mengembun menjadi cairan air. Mula-mula laju penguapan akan lebih besar daripada laju pengembunan, dan kerapatan molekul uap air akan naik. Tetapi dengan bertambahnya sampai nilainya sama dengan laju penguapan dan terjadi kesetimbangan bertambahnya jumlah molekul uap air maka

laju kondensasinya bertambah sampai nilainya sama dengan laju penguapan dan terjadi kesetimbangan. Tekanan uap air pada kesetimbangan adalah tekanan uap air pada suhu itu. Jika kita memanaskan tabung sampai suhu lebih tinggi maka akan lebih banyak cairan yang menguap dan kesetimbangan baru akan terbentuk pada tekanan uap yang lebih tinggi.



**Gambar 4.1** Diagram fase untuk air. Skala tekanan dan suhu tidak linier (Tipler, 1991)

Sebagai contoh, jika sejumlah kalor ditambahkan terus menerus pada sebungkah es, maka suhu es akan naik. Saat mencapai titik lelehnya, maka es mencair dan selama proses ini suhu es tetap. Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1 atmosfer disebut *titik beku air* yaitu titik tempat terjadi kesetimbangan fase cair dan padat. Setelah seluruh es mencair menjadi air, maka suhu air akan naik. Saat mencapai titik didih air akan menguap, dan selama proses ini suhu air tetap sehingga seluruh air berubah menjadi uap. Kondisi pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1 atmosfer disebut *titik didih*

air yaitu titik tempat terjadi kesetimbangan fase cair dan uap. Diagram fase untuk air ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.

Diagram fase untuk air yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** merupakan grafik tekanan sebagai fungsi suhu pada volume konstan. Bagian diagram dari titik O dan C menunjukkan tekanan uap terhadap suhu. Jika kita melanjutkan pemanasan tabung maka kerapatan cairan akan berkurang dan kerapatan uap bertambah. Di titik C pada diagram tersebut nilai kedua kerapatan ini sama. Titik C ini disebut titik kritis atau disebut juga suhu kritis. Jika sekarang tabung didinginkan maka sebagian dari uap mulai mengembun menjadi cairan (kurve OC) sampai titik O. Di titik ini cairan mulai membeku. Titik O disebut *titik tripel*, yaitu suatu titik di mana fasa uap, cair dan padat suatu zat berada bersama-sama dalam keadaan kesetimbangan.



## Konsep

Titik tripel suatu zat adalah suatu titik di mana fasa uap, cair dan padat berada bersama-sama dalam keadaan kesetimbangan.



Tiap bahan mempunyai titik tripel sendiri-sendiri dengan suhu dan tekanan spesifik. Sebagai contoh, suhu titik tripel air adalah  $273,16 \text{ K} = 0,16 \text{ }^\circ\text{C}$  dan tekanan titik tripel air tersebut adalah  $4,58 \text{ mmHg}$ .

### **b. Perubahan Wujud**

Sejumlah energi kalor tertentu diperlukan untuk mengubah wujud sejumlah zat tertentu. Sebagai contoh perubahan wujud adalah perubahan dari wujud padat ke wujud cair, dari wujud cair ke wujud uap, dan sebagainya. Kalor yang dibutuhkan sebanding dengan massa zat tersebut. Kalor yang dibutuhkan untuk mengubah zat padat yang massanya  $m$  menjadi cairan tanpa perubahan suhunya adalah:

$$Q = m \cdot L_f \quad \dots (4.4)$$

dengan:

$Q$  = kalor yang diperlukan (J)

$m$  = massa zat (kg)

$L_f$  = kalor laten peleburan atau kalor lebur zat tersebut (J/kg)



### **Konsep**

Kalor lebur suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan setiap kilogram zat itu untuk melebur pada titik leburnya.

Sebagai contoh, kalor laten peleburan untuk mengubah es menjadi air pada tekanan  $1 \text{ atm}$  adalah  $333,5 \text{ kJ/kg} = 79,7 \text{ kkal/kg}$ .

Kalor yang dibutuhkan untuk mengubah zat cair bermassa  $m$  menjadi gas tanpa disertai perubahan suhu adalah:

$$Q = m \cdot L_v \quad \dots (4.5)$$

dengan:

$Q$  = kalor yang diperlukan (J),

$m$  = massa zat (kg)

$L_v$  = kalor laten penguapan atau kalor uap zat tersebut (J/kg)



## Konsep

Kalor uap suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan setiap kilogram zat itu untuk menguap pada titik didihnya.

Sebagai contoh, kalor laten penguapan untuk mengubah air menjadi uap pada tekanan 1 atm adalah  $2,26 \text{ MJ/kg} = 540 \text{ kkal/kg}$ .

Titik cair, titik didih, kalor laten peleburan dan penguapan untuk beberapa diberikan pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.2. Titik cair (TC), titik didih (TD), kalor laten peleburan dan kalor laten penguapan untuk berbagai zat pada tekanan 1 atm (Tipler, 1991)**

Zat	TC, K	$L_f$ , kkal/kg	TD, K	$L_v$ , kkal/kg
Alkohol	159	109	351	879
Bromine	266	67,4	332	369
Karbon dioksida	-	-	194,6*	573*
Tembaga	1356	205	2839	4726
Emas.	1336	62,8	3081	1701
Helium	-	-	4,2	21
Timah	600	24,7	2023	858
Air raksa	234	11,3	630	296
Nitrogen	63	25,7	77,35	199
Oksigen	54,4	13,8	90,2	213
Perak	1234	105	2436	2323
Sulfur	388	38,5	717,75	287
Air	273,15	333,5	313,15	2257
Seng	692	102	1184	1768

\* Nilai-nilai ini adalah untuk sublimasi. Karbon dioksida tidak mempunyai keadaan cair pada 1 atm.



## Contoh Soal

Sebuah balok es mempunyai massa 1 kg mempunyai suhu  $-20^\circ\text{C}$ . Balok es tersebut dipanaskan pada tekanan 1 atm sehingga semua berubah menjadi uap, hitunglah kalor yang diperlukan.

**Penyelesaian:**

Jika kapasitas kalor es adalah konstan dan sama dengan  $2,05 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$  maka energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu es dari  $-20^\circ\text{C}$  adalah:

$$Q_1 = m.c.\Delta T = (1 \text{ kg}).(2,05 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}).(20^\circ\text{C}) = 41 \text{ kJ}$$

Panas laten peleburan untuk es adalah  $334 \text{ kJ/kg}$ , sehingga kalor yang diperlukan untuk mencairkan  $1 \text{ kg}$  es adalah:

$$Q_2 = m.L_f = (1 \text{ kg}).(334 \text{ kJ/kg}) = 334 \text{ kJ}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur  $1 \text{ kg}$  air yang diperoleh, dari  $0^\circ\text{C}$  sampai  $100^\circ\text{C}$  adalah:

$$Q_3 = m.v.\Delta T = (1 \text{ kg}).(4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}).(100 \text{ K}) = 418 \text{ kJ}$$

dimana kita telah mengabaikan variasi kapasitas kalor air meliputi jangkauan suhu ini. Akhirnya, panas yang dibutuhkan untuk menguapkan  $1 \text{ kg}$  air pada  $100^\circ\text{C}$  adalah:

$$Q_4 = m.L_v = (1 \text{ kg}).(2,26 \times 10^3 \text{ kJ/kg}) = 2,26 \text{ MJ}$$

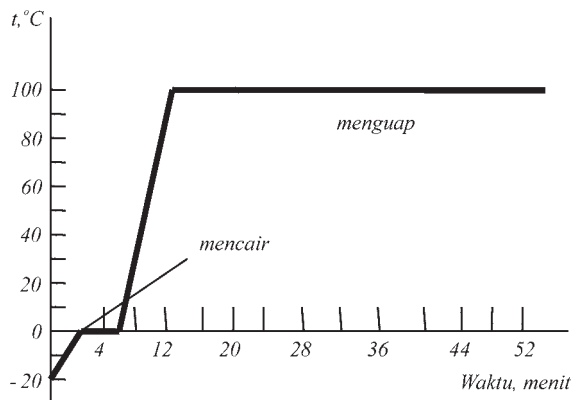
Jumlah total kalor yang diperlukan adalah:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q = 0,041 \text{ MJ} + 0,334 \text{ MJ} + 0,418 \text{ MJ} + 2,26 \text{ MJ}$$

$$Q = 3,05 \text{ MJ} = 3,05 \times 10^6 \text{ J.}$$

Proses perubahan es menjadi uap ini ditunjukkan pada Gambar 4.2 .



**Gambar 4.2.** Proses perubahan fase air dari wujud padat menjadi cair dan kemudian menjadi uap atau gas (Tipler, 1991)

### c. Pemuaian

Suatu benda jika diberikan kalor akan terjadi perubahan (kenaikan) suhu benda. Kenaikan suhu benda ini ditandai dengan perubahan ukuran (pemuaian) benda tersebut. Pada bagian ini akan dibahas tentang efek pemuaian zat (benda) tanpa terjadinya perubahan fase zat. Dalam perubahan suhu yang relatif kecil, pemuaian termal bersifat linear. Pemuaian termal dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

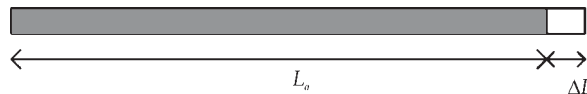
- pemuaian panjang (linear);
- pemuaian luas; dan
- pemuaian volume.

#### 1) Pemuaian Panjang

Pada **Gambar 4.3** ditunjukkan sebuah batang panjangnya  $L_0$  dipanaskan sehingga suhunya bertambah sebesar  $\Delta T$ . Pemuaian batang hanya dianggap ke arah panjang batang, sering disebut pemuaian linier yaitu dengan mengabaikan pemuaian ke arah radial. Batang mengalami perubahan panjang sebesar  $\Delta L$  yang sebanding dengan panjang batang mula-mula  $L_0$  dan besar kenaikan suhu  $\Delta T$  yaitu:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad \dots (4.6)$$

dengan tetapan kesebandingan  $\alpha$  disebut sebagai *koefisien muai linear*.



**Gambar 4.3.** Pemuaian termal linear.

Koefisien muai termal berbeda-beda untuk zat yang berbeda; beberapa di antaranya disajikan oleh **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3.** Beberapa nilai  $\alpha$  berbagai zat

Zat	$\alpha$ ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
Aluminium	23
Kuningan	19
Tembaga	17
Gelas	9
Gelas pirex	3,2
Karet keras	80
Es	51
Timbal	29
Baja	11

Berdasarkan persamaan (4.6), maka panjang batang setelah pemuaian adalah:

$$\begin{aligned} L &= L_0 + \Delta L \\ L &= L_0 (1 + \alpha \Delta T) \end{aligned} \quad \dots (4.7)$$

## 2) Pemuaian Luas

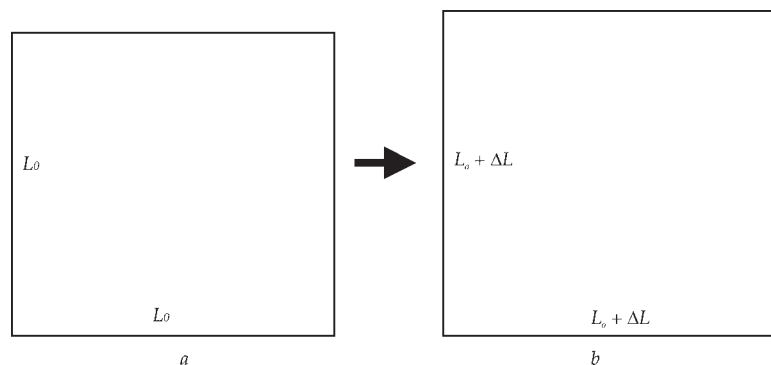
Suatu benda tipis berbentuk luasan tertentu dengan panjang dan lebarnya  $L_0$  dipanaskan sehingga suhu benda bertambah dari  $T$  menjadi  $T + \Delta T$ . Jika pemuaian linear dinyatakan sebagai  $\alpha$  maka pemuaian luasan dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = L_1^2 = L_0^2 (1 + 2\alpha\Delta T + \alpha^2 \Delta T^2)^2 \quad \dots (4.8)$$

Suku kuadratis pada persamaan (4.8) sering diabaikan karena koefisien muai termal ( $\alpha$ ) sangat kecil (berorde  $10^{-6}/^\circ\text{C}$ ), sehingga persamaan (4.8) menjadi:

$$A = A_0 (1 + 2\alpha\Delta T) \quad \dots (4.9)$$

dengan  $A_0$  adalah luas mula-mula luasan yang ditinjau yaitu  $A_0 = L_0 \times L_0 = L_0^2$  seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4** Pemuaian suatu benda tipis berbentuk bujur sangkar dengan sisi-sisinya  $L_0$  a) sebelum dipanaskan dan b) sesudah dipanaskan

### 3) Pemuaiian Volume

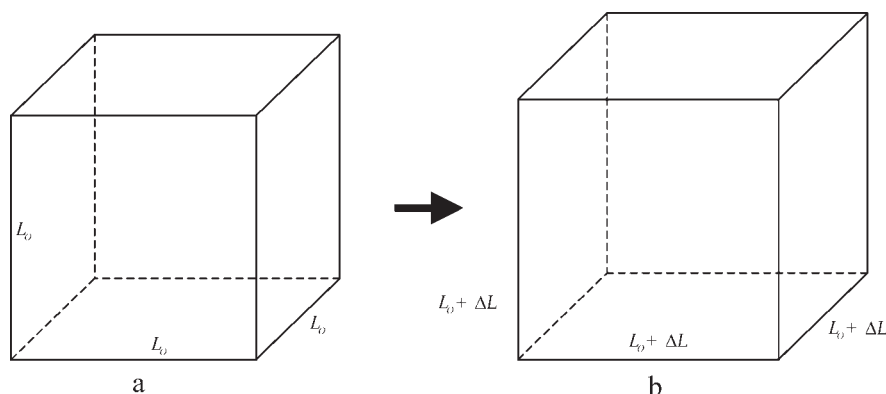
Jika suatu benda berbentuk kubus dengan ukuran sisi-sisinya  $L_0$  dipanaskan sehingga suhunya bertambah sebesar  $\Delta T$ . Jika pemuaiian linear dinyatakan sebagai  $\alpha$  maka pemuaiian volume dapat ditulis sebagai:

$$V = L^3 = L_0^3 (1 + 3\alpha\Delta T + 3\alpha^2\Delta T^2 + \alpha^3\Delta T^3) \dots (4.10)$$

dengan:  $V_0 = L_0^3$  adalah volume benda mula-mula sebelum dipanaskan.

Suku kuadratis dan suku pangkat tiga pada persamaan (4.10) sering diabaikan karena koefisien muai termal ( $\alpha$ ) sangat kecil (berorde  $10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$ ), sehingga persamaan (4.10) menjadi:

$$V = V_0(1 + 3\alpha\Delta T) \dots (4.11)$$



**Gambar 4.5.** Pemuaiian suatu benda berbentuk kubus dengan panjang sisinya  $L_0$ . a) sebelum dipanaskan dan b) sesudah dipanaskan .



#### Keingintahuan

**Kerjakan soal-soal di bawah ini dan diskusikan dengan gurumu!**

1. Pada pemasangan rel kereta api, pada sambungan rel kereta api sering diberi rongga udara. Apa kaitan hal ini dengan proses pemuaiian rel kereta api?
2. Sumber energi dari mana yang menyebabkan rel kereta api tersebut memuai?

## B. Analisis Cara Perpindahan Kalor

Secara umum energi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu energi radiasi, gravitasi, mekanik, termal, elektrik, magnetik, molekul, atomik, nuklir dan energi massa. Energi dapat berubah dari satu jenis energi ke jenis energi yang lain. Pada **Tabel 4.4** ditunjukkan bentuk pokok energi.

**Tabel 4.4. Bentuk Pokok Energi (Usher, 1989)**

Jenis Energi	Contoh Energi
Radiasi	- gelombang radio, cahaya tampak, infra merah, ultra violet, sinar X dan sebagainya
Gravitasi	- energi interaksi gravitasi
Mekanik	- gerakan, pergeseran, gaya, dan sebagainya
Termal	- energi kinetik atom dan molekul
Elektrik	- medan elektrik, arus elektrik, dan sebagainya
Magnetik	- medan magnetik
Molekul	- energi ikat dalam molekul
Atomik	- gaya antara inti dan elektron
Nuklir	- energi ikat antara inti
Energi massa	- energi $E = mc^2$

Kalor adalah salah satu bentuk energi yaitu merupakan energi termal. Energi termal ini berbentuk energi kinetik atom atau molekul dalam suatu bahan. Kalor dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara *konduksi*, *konveksi*, dan *radiasi (pancaran)*.



**Gambar 4.6.** Batang besi yang dipanaskan pada salah satu ujungnya.

### 1. Perpindahan Kalor secara Konduksi

Pada perpindahan kalor secara konduksi, energi termal dipindahkan melalui interaksi antara atom-atom atau molekul walaupun atom-atom atau molekul tersebut tidak berpindah. Sebagai contoh, sebatang logam salah satu ujungnya dipanasi sedang ujung yang lain dipegang maka makin lama makin panas pada hal ujung ini tidak berhubungan langsung dengan api, seperti diunjukkan pada **Gambar 4.6**.

Perpindahan panas semacam inilah yang disebut *konduksi*. Konduksi dapat didefinisikan sebagai berikut:



## Konsep

Konduksi adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut.

Perpindahan kalor secara konduksi melalui suatu bahan tertentu dapat diterangkan dengan getaran atom-atom atau molekul-molekul bahan. Pada **Gambar 4.7** ditunjukkan jika suatu batang penghantar kalor yang homogen dan luas penampangnya  $A$  dengan salah satu ujung batang tersebut dipertahankan pada suatu suhu tinggi (misalnya, dihubungkan dengan air yang mendidih) dan ujung lain juga dipertahankan pada suhu rendah (misalnya, dihubungkan dengan balok es yang sedang mencair). Perbedaan suhu kedua ujung batang menyebabkan energi termal terus menerus akan dikonduksikan lewat batang tersebut dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Dalam keadaan mantap, suhu berubah secara uniform dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Laju perubahan suhu sepanjang batang  $\Delta T/\Delta l$  dinamakan *gradien suhu*. Perhatikan bagian kecil dari batang penghantar yang panjangnya  $\Delta x$  dan  $\Delta T$  adalah beda suhu pada ujung-ujung batang seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.7** maka jumlah kalor yang dipindahkan secara konduksi lewat potongan tersebut tiap satu satuan waktu, sering disebut sebagai arus termal  $I$  adalah (Tipler, 1991).

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \dots (4.12)$$

dengan:

$I$  = arus termal dengan satuan watt atau W ( $J \cdot s^{-1}$ )

$\Delta Q$  = kalor yang dipindahkan secara konduksi (J)

$\Delta t$  = lama energi termal dikonduksikan lewat batang penghantar (s)

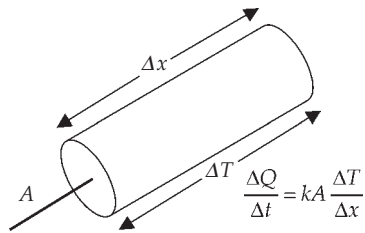
$A$  = luas permukaan batang penghantar ( $m^2$ )

$\Delta x$  = panjang batang penghantar (m)

$\Delta T$  = beda suhu pada ujung-ujung batang penghantar kelvin (K)

$k$  = konstanta kesebandingan atau yang disebut koefisien konduktivitas termal atau konduktivitas termal (watt per meter kelvin atau  $W/m \cdot K$ )





**Gambar 4.7.** Hantaran kalor pada batang penghantar (Tipler, 1991).

Jika arus termal diketahui maka beda suhu  $\Delta T$  dapat diperoleh dari persamaan 4.12 yaitu:

$$\Delta T = \frac{\Delta x}{kA} I = IR \quad \dots (4.13)$$

dengan  $R$  adalah resistensi termal yang sama dengan  $\frac{\Delta x}{kA}$ , dalam satuan kelvin.sekon per joule (K.s/J).

Nilai-nilai konduktivitas termal beberapa bahan ditunjukkan pada **tabel 4.5**.

**Tabel 4.5. Konduktivitas Termal Beberapa Bahan (Tipler, 1991)**

Bahan	k (W/m.K)
Udara (27 °C)	0,026
Es	0,592
Air (27 °C)	0,609
Aluminium	273
Tembaga	401
Emas	318
Besi	80,4
Timah	353
Perak	429
Baja	46
Kayu Ek (Oak)	0,15
Cemara Putih	0,11
Beton	0,19-1.3
Gelas	07-0,0,9



### Contoh Soal

Suatu pelat besi mempunyai tebal 2 cm dan luas permukaan 5000 cm<sup>2</sup>. Salah satu permukaannya bersuhu 120°C sedang permukaan yang lain bersuhu 100°C. Besi mempunyai konduktivitas termal sebesar 80,4 W/m.K. hitunglah jumlah kalor yang melalui pelat besi tersebut tiap sekonnnya.

#### Penyelesaian:

Diketahui:  $k = 80,4 \text{ W/m.K}$   
 $\Delta x = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$   
 $A = 5000 \text{ cm}^2 = 0,5 \text{ m}^2$   
 $\Delta T = (120 - 100)^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$  (perubahan suhu untuk skala Kelvin = skala Celcius).

Ditanyakan: Arus termal  $I = \dots?$

Jawab:

Arus termal dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (4.12) yaitu:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$
$$= 80,4 \times 0,5 \frac{20}{2 \times 10^{-2}} = 4,02 \text{ W} = 4,02 \text{ J/s}$$



### Contoh Soal

Suatu ketel pemanas air mempunyai luas 400 cm<sup>2</sup> tebal 0,5 cm. Perbedaan antara permukaan yang kena api langsung dan permukaan dalam yang bersentuhan dengan air adalah 10°C. Apabila kalor dirambatkan sebesar 10 J tiap sekonnnya maka hitunglah nilai konduktivitas bahan tersebut.

#### Penyelesaian:

Diketahui:  $\Delta x = 0,5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$   
 $A = 400 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$   
 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$   
 $I = 10 \text{ J/s}$

Ditanyakan: Konduktivitas bahan  $k = \dots?$

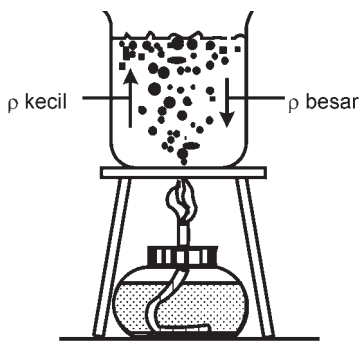
Jawab:

Konduktivitas bahan dapat dihitung dengan mengubah rumus pada persamaan (4.12) yaitu:

$$k = I \frac{\Delta T}{A \Delta T} = 10 \times \frac{10}{4 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-3}}$$

$$k = 0,005 \text{ W/m.}^\circ\text{C} = 0,005 \text{ W/m.K}$$

## 2. Perpindahan Kalor secara Konveksi



Gambar 4.8. Pemanasan air untuk menggambarkan perpindahan kalor secara konveksi.

Pada Gambar 4.8 ditunjukkan suatu contoh perpindahan kalor secara konveksi. Apabila air yang berada dalam suatu gelas dipanaskan maka partikel-partikel air pada dasar gelas menerima kalor lebih dulu sehingga menjadi panas dan suhunya naik. Partikel yang suhunya tinggi akan bergerak ke atas karena massa jenisnya lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis partikel yang suhunya lebih rendah, sedang partikel yang suhunya rendah akan turun dan mengisi tempat yang ditinggalkan oleh air panas yang naik tersebut.

Partikel air yang turun akan menerima kalor dan menjadi panas. Demikian seterusnya akan terjadi perpindahan kalor. Perpindahan kalor yang demikian inilah yang disebut perpindahan kalor secara konveksi. Konveksi dapat didefinisikan sebagai berikut:



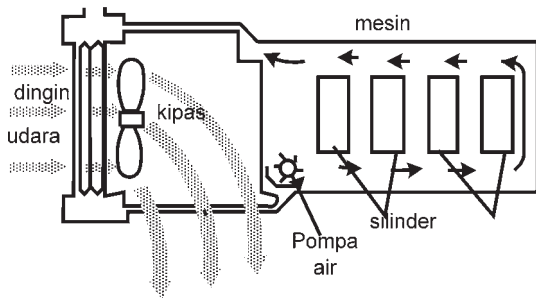
### Konsep

Konveksi adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut.

Perpindahan kalor secara konveksi terdiri dari perpindahan secara konveksi alami dan konveksi paksa.

- a. Perpindahan kalor secara *konveksi alami* adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut akibat perbedaan massa jenis.

Contoh dari perpindahan kalor secara konveksi alami adalah pemanasan air seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.9.** Pendinginan mesin mobil untuk menggambarkan perpindahan kalor secara konveksi paksa.

- b. Perpindahan kalor secara *konveksi paksa* adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut akibat dari suatu paksaan terhadap partikel bersuhu tinggi tersebut.

Contoh dari perpindahan kalor secara konveksi paksa adalah sistem pendinginan mesin mobil ditunjukkan pada **Gambar 4.9**.

Laju kalor konveksi sebanding dengan luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida *A*, dan beda suhu antara benda dan fluida  $\Delta T$  yang dapat ditulis dalam bentuk:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA\Delta T \quad \dots (4.13)$$

dengan:

$I$  = laju kalor konveksi, dalam satuan watt atau  $W (= J/s)$ ,

$\Delta Q$  = jumlah kalor yang dipindahkan dalam satuan joule (J),

$\Delta t$  = waktu terjadi aliran kalor, dalam satuan sekon (s),

$\Delta T$  = beda suhu antara benda dan fluida, dalam satuan  $^{\circ}C$  atau K,

$h$  = koefisien konveksi, dalam satuan  $Wm^{-2}K^{-1}$  atau  $Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$ .

$A$  = luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida.



## Contoh Soal

Suatu panci pemanas air terbuat dari bahan tertentu mempunyai luas permukaan yang bersentuhan dengan air  $200 \text{ cm}^2$ . Jika suhu bahan tersebut  $90^\circ\text{C}$  dan suhu air  $80^\circ\text{C}$  dan menghasilkan jumlah kalor yang dipindahkan secara konveksi per sekonnya sebesar  $0,8 \text{ J/s}$  maka hitunglah besar nilai koefisien konveksi bahan tersebut di atas.

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $A = 200 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$

$$\Delta T = 90^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$$

$$I = 0,8 \text{ J/s} = 0,8 \text{ W}$$

Ditanyakan:  $h = \dots ?$

Jawab:

Koefisien konveksi suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan

persamaan (4.13) yaitu:  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA\Delta T$

Persamaan (4.13) dapat diubah menjadi:  $h = \frac{I}{A\Delta T}$

sehingga besar nilai koefisien konveksi bahan tersebut di atas:

$$h = \frac{I}{A\Delta T} = \frac{0,8 \text{ J/s}}{0,02 \text{ m}^2 \times 10^\circ\text{C}} = 4 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$$



## Contoh Soal

Suatu radiator pendingin mobil mempunyai luas yang bersinggungan dengan air adalah  $500 \text{ cm}^2$ . Beda suhu antara bahan radiator dan air panas adalah  $20^\circ\text{C}$ . Jika bahan radiator adalah bahan logam tertentu yang mempunyai koefisien konveksi  $h = 8 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$  maka hitunglah laju perpindahan kalor pada sistem radiator ini.

**Penyelesaian :**

Diketahui:  $A = 500 \text{ cm}^2 = 0,05 \text{ m}^2$

$$\Delta T = 20^\circ\text{C}$$

$$h = 8 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$$

Ditanyakan: laju perpindahan kalor  $I = \dots?$

Jawab:

Laju perpindahan kalor  $I$  dapat dihitung dengan persamaan (4.13) yaitu:

$$\begin{aligned} I &= \frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA\Delta T \\ &= (8 \text{ Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) \times (0,05 \text{ m}^2) \times (20^\circ\text{C}) \\ &= 8 \text{ W} \end{aligned}$$

### 3. Perpindahan Kalor secara Radiasi

Dalam kehidupan sehari-hari, jika pada saat sinar matahari mengenai tubuh kita maka kita merasakan panas atau artinya kita mendapat energi termal dari matahari. Matahari memancarkan energinya yang sampai ke bumi dalam bentuk pancaran cahaya. Pancaran cahaya inilah yang disebut dengan *radiasi*. Radiasi dapat didefinisikan sebagai berikut:



#### Konsep

*Radiasi adalah perpindahan kalor dari permukaan suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik.*



#### Kebinekaan : Wawasan Kontekstual

**Diskusikanlah dengan teman terdekatmu!**

Di daerah pedesaan masih sering orang memasak menggunakan arang, meskipun sudah banyak yang menggunakan kompor minyak dan kompor gas. Jelaskan contoh-contoh aplikasi yang nyata dari konservasi antara energi yang satu ke energi yang lain dalam kehidupan sehari-hari!

Proses ketiga untuk transfer energi termal adalah radiasi dalam gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat tanpa memerlukan zat perantara (medium). Hal inilah yang menyebabkan pancaran energi matahari dapat sampai ke bumi. Permukaan suatu benda dapat memancarkan dan menyerap energi.

Permukaan suatu benda yang berwarna hitam lebih banyak menyerap dan memancarkan energi dari pada permukaan benda yang berwarna putih.

Pada tahun 1879, laju perpindahan kalor termal yang dipancarkan secara radiasi oleh suatu benda secara empiris ditemukan oleh **Josef Stefan**. Stefan menyatakan bahwa laju perpindahan kalor termal yang dipancarkan secara radiasi oleh suatu benda sebanding dengan luas benda dan pangkat empat suhu absolutnya. Hasil empiris ini 5 tahun berikutnya diturunkan secara teoritis oleh **Ludwig Boltzmann** yang disebut dengan hukum **Stefan-Boltzmann** dan secara matematis dapat ditulis (Tipler, 1991):

$$P = e\sigma AT^4 \quad \dots (4.14)$$

dengan:

$P$  = daya yang diradiasikan (watt/W)

$e$  = emisivitas benda atau koefisien pancaran suatu benda

$\sigma$  = konstanta Stefan ( $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$A$  = luas benda yang memancarkan radiasi ( $\text{m}^2$ )

Nilai emisivitas  $e$  suatu benda tergantung pada warna permukaan benda tersebut. Permukaan benda yang berwarna hitam sempurna nilai  $e = 1$ , sedang untuk benda yang berwarna putih sempurna nilai  $e = 0$ . Jadi nilai emisivitas  $e$  secara umum adalah  $0 \leq e \leq 1$ .



### Life Skills : Kecakapan Personal

Di daerah Jepara, Jawa Tengah direncanakan akan dibangun Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Jelaskan dalam bentuk tulisan singkat tentang proses terjadinya sumber energi yang dihasilkan oleh sumber energi nuklir? Konsultasikan dengan guru fisika kalian!



### Contoh Soal

Sebuah bola tembaga luasnya  $20 \text{ cm}^2$  dipanaskan hingga berpijar pada suhu  $127^\circ\text{C}$ . Jika emisivitasnya  $e$  adalah  $0,4$  dan tetapan Stefan adalah  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ , hitunglah energi radiasi yang dipancarkan oleh bola tersebut tiap sekonnnya.

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $A = 20 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$   
 $T = (127 + 273) = 400 \text{ K}$   
 $e = 0,4$   
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Ditanyakan:  $P = \dots?$

Jawab:

Energi radiasi per sekon yang dipancarkan oleh bola tersebut adalah laju energi yang dipancarkan, jadi dapat dihitung dengan persamaan (4-14) yaitu:

$$P = e \sigma AT^4$$

$$P = 0,4 \times (5,67 \times 10^{-8}) \text{ W/m}^2\text{K}^4 (4 \times 10^2 \text{ K})^4$$

$$P = 0,4 \times (5,67 \times 10^{-8}) (256 \times 10^8)$$

$$P = 580,608 \text{ W} = 580,608 \text{ J/s}$$

Jadi, energi radiasi yang dipancarkan oleh bola tersebut tiap sekonnya adalah 580,608 J.



### Contoh Soal

Sebuah bola tembaga hitam dipadatkan berjari-jari 4 cm. Bola tersebut memancarkan energi tiap sekonnya adalah 400 J/s. Jika bola dianggap sebagai bola hitam sempurna dan tetapan Stefan adalah :  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  maka hitunglah suhu benda dalam  $^{\circ}\text{C}$ .

**Penyelesaian:**

Diketahui: Radius bola  $r = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$

$$P = 400 \text{ J/s}$$

$$e = 1$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Ditanyakan:  $T = \dots^{\circ}\text{C}$

**Penyelesaian:**

Suhu bola yang memancarkan radiasi dapat dihitung dengan persamaan (4.14) yaitu:

$$P = e\sigma AT^4$$



$$\text{atau } T = \sqrt{\frac{P}{\epsilon\sigma A}} = \sqrt{\frac{400}{1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times \pi \times (0,04)^2}}$$

$$= 1088 \text{ K}$$

atau suhu bola tersebut adalah  $1088 - 273 = 815 \text{ }^\circ\text{C}$



### Life Skills : Kecakapan Akademik

Jelaskan dalam bentuk tulisan singkat tentang proses terjadinya sumber energi listrik yang dihasilkan oleh sumber energi angin, surya, air, dan batu bara. Konsultasikan dengan guru fisika kalian.



### Keingintahuan

**Kerjakan soal di bawah ini dan diskusikan dengan guru kalian!**

Jelaskan contoh-contoh aplikasi yang nyata dari konservasi energi dalam kehidupan sehari-hari.

## C. Penerapan Asas Black dalam Pemecahan Masalah

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering memanaskan air untuk membuat minuman. Kita melihat kalor berasal dari kompor gas dan kalor tersebut diterima oleh ceret yang berisi air. Pada pengukuran kalor digunakan suatu alat yang disebut *kalorimeter*. Apabila kedua benda (zat) yang berbeda suhunya disentuhkan (dicampur) maka benda yang bersuhu tinggi akan memberikan kalornya kepada benda yang bersuhu rendah sampai suatu saat suhu kedua benda tersebut sama. Pada proses ini berlaku hukum kekekalan energi. Kalor yang diberikan oleh benda yang bersuhu tinggi sama dengan kalor yang diterima oleh benda yang bersuhu rendah. Prinsip inilah yang disebut *Asas Black*, dan dirumuskan:

Kalor yang diserap = kalor yang dilepas,

$$Q_{\text{serap}} = Q_{\text{lepas}} \quad \dots (4.15)$$



## Contoh Soal

Suatu bola besi dengan massanya 500 gram dipanaskan sampai suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Bola besi tersebut dimasukkan ke dalam kaleng aluminium yang massanya 200 gram dan berisi air yang massanya 600 gram yang mula-mula suhunya  $18^{\circ}\text{C}$ . Kalor jenis air adalah  $4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$  sedang kalor jenis aluminium adalah  $0,900 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ . Suhu kesetimbangan akhir campuran adalah  $20^{\circ}\text{C}$ . Berapakah kalor jenis besi tersebut?

### Penyelesaian:

Pertambahan suhu air adalah  $20^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$ , maka kalor yang diserap air adalah:

$$Q_a = m_a c_a \Delta T_a = (0,6 \text{ kg}) \cdot (4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) \cdot (2^{\circ}\text{C}) = 5,02 \text{ kJ}$$

Dengan cara sama, jumlah kalor yang diserap kaleng aluminium adalah:

$$Q_k = m_k c_k \Delta T_k = (0,2 \text{ kg}) \cdot (0,900 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) \cdot (2^{\circ}\text{C}) = 0,36 \text{ kJ}$$

Perubahan suhu pada bola besi adalah  $100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C}$ , dan kalor yang dilepaskan oleh bola besi adalah:

$$Q_b = m_b c_b \Delta T_b = (0,5 \text{ kg}) \cdot (c_b) \cdot (80^{\circ}\text{C}) = 40 \text{ kJ}$$

Berdasarkan asas Black, jumlah kalor yang diberikan oleh bola besi sama dengan jumlah kalor yang diterima oleh air dan kaleng aluminium sebagai wadahnya sehingga:

$$Q_t = Q_a + Q_k$$

$$40 \text{ kJ} = 5,02 \text{ kJ} + 0,36 \text{ kJ} = 5,38 \text{ kJ}$$

Nilai kalor jenis bola  $c_b$  yaitu:

$$c_b = \frac{5,38 \text{ kJ}}{40 \text{ kJ}} = 0,1345 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$$



## Keingintahuan

Suatu ketika kamu melihat ibu memanaskan air yang ditaruh dalam ceret. Ceret tersebut ditaruh di atas kompor gas, lalu air dipanaskan sampai air mendidih. Jelaskan proses perpindahan kalor yang terjadi sehingga menyebabkan air dalam ceret mendidih. Bagaimana kecepatan didih air antara ceret yang ditutup dan ceret yang dibuka tutupnya? Diskusikanlah dengan guru kalian!



### Life Skills : Kecakapan Akademik

Sepotong tembaga dijatuhkan dari ketinggian 490 m di atas lantai. Kalor yang terjadi karena proses tumbukan dengan lantai sebesar 60 % diserap oleh tembaga. Jika kalor jenis tembaga =  $420 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ , percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka hitunglah kenaikan suhu tembaga. (UMPTN 1992 rayon B).



### Kebinekaan : Wawasan Kontekstual

Di beberapa ruas jalan di Kota Yogyakarta telah dibangun sistem lampu lalu lintas yang menggunakan energi matahari, apakah ada panas yang hilang pada proses penggunaan energi matahari pada lampu pengatur lampu pengatur lalu lintas ini?



## Ringkasan

1. Kalor adalah bentuk energi yang diberikan oleh benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.
2. Termometer adalah alat untuk mengukur suhu suatu benda.
3. Jika benda A dan benda B masing-masing berada dalam keadaan setimbang termal dengan benda C, maka benda A dan benda B berada dalam keadaan setimbang termal antara satu dengan yang lain.
4. Kalor jenis suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan setiap kilogram massa untuk menaikkan atau menurunkan suhunya satu Kelvin atau satu derajat Celsius.
5. *Asas Black*: kalor yang diberikan oleh benda yang bersuhu tinggi sama dengan kalor yang diterima oleh benda yang bersuhu rendah.
6. Kesetaraan kalori dengan joule adalah: 1 kalori = 4,18 joule atau 1 joule = 0,24 kalori.
7. Kapasitas kalor suatu benda adalah jumlah kalor yang diperlukan atau dilepaskan jika suhu benda tersebut dinaikkan atau diturunkan satu Kelvin atau satu derajat Celsius.
8. Kalor yang dibutuhkan untuk merubah zat padat yang massanya  $m$  menjadi cairan tanpa perubahan suhunya adalah  $Q = m \cdot L_f$ , dengan  $m$  adalah massa zat, dan  $L_f$  adalah **kalor laten peleburan** atau **kalor lebur** zat tersebut.
9. Kalor lebur adalah banyaknya kalor yang diperlukan tiap 1 kilogram zat untuk melebur pada titik leburnya.
10. Titik tripel suatu zat adalah suatu titik dimana fasa uap, cair dan padat berada bersama-sama dalam keadaan kesetimbangan.
11. Kalor uap suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan setiap kilogram zat itu untuk menguap pada titik didihnya.
12. Batang mengalami perubahan panjang sebesar  $\Delta L$  yang sebanding dengan panjang batang mula-mula  $L_0$  dan besar kenaikan suhu  $\Delta T$  yaitu:  $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ , dengan  $\alpha$  disebut sebagai *koefisien muai linear*.
13. Kalor dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi (pancaran).
14. Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan energi termal melalui interaksi antara atom-atom atau molekul tanpa disertai perpindahan atom-atom atau molekul tersebut. Arus termal konduksi (laju hantaran kalor)  $I$  adalah:
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

15. Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan energi termal melalui interaksi antara atom-atom atau molekul dengan disertai perpindahan atom-atom atau molekul tersebut. Arus termal konveksi (laju perpindahan kalor)  $I$

$$\text{adalah: } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

16. Radiasi adalah perpindahan kalor dari permukaan suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Energi yang dipancarkan atau diserap per satuan waktu per satuan luas benda adalah:

$$P = e \sigma A T^4$$

Dengan harga  $e$  tergantung pada warna permukaan benda. Permukaan benda yang berwarna hitam sempurna nilai  $e = 1$ , sedang untuk benda yang berwarna putih sempurna nilai  $e = 0$ . Jadi nilai emisivitas  $e$  secara umum adalah:

$$0 \leq e \leq 1.$$



## Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

**A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!**

- Bacaan skala Fahrenheit sama dengan skala Celcius pada suhu ....
 

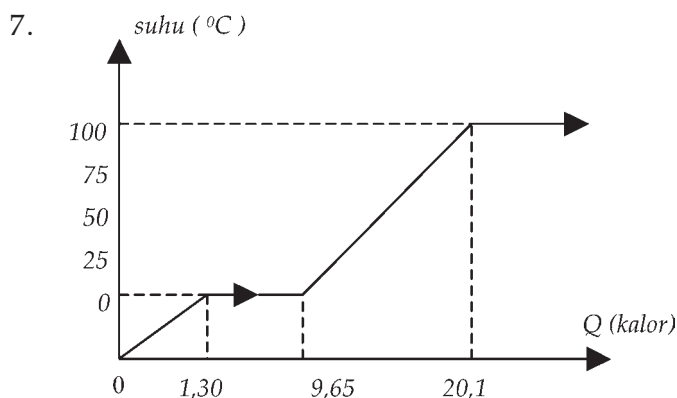
a. $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$	d. $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$
b. $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	e. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
c. $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$	
- Suatu batang baja panjangnya 1 m. Ketika suhu batang baja dinaikkan dari suhu  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  maka panjang batang bertambah 1 mm. Berapa pertambahan batang baja yang lain yang panjangnya 60 cm bila dipanaskan dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $120^{\circ}\text{C}$  ....
 

a. 0,24 mm	d. 0,72 mm
b. 0,5 mm	e. 1,2 mm
c. 0,6 mm	

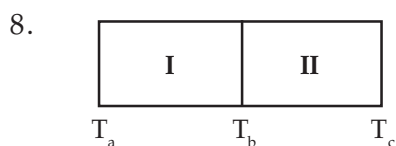
3. Pada suatu termometer x, titik beku air adalah  $10^{\circ}\text{X}$  dan titik didih air adalah  $240^{\circ}\text{X}$ . Bila suatu benda diukur dengan termometer Celcius suhunya  $50^{\circ}\text{C}$ , maka bila diukur dengan termometer X suhunya adalah ....
  - a. 80
  - b. 100
  - c. 125
  - d. 140
  - e. 160
  
4. Sebuah balok es bermassa 0,5 kg dengan suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan air yang massanya 1 kg suhunya  $50^{\circ}\text{C}$ . Jika diketahui kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/g } ^{\circ}\text{C}$  dan kalor lebur es  $80 \text{ kal/g}$ , maka campuran di atas mencapai keadaan akhir berupa ....
  - a. es seluruhnya dengan suhu  $t = 0^{\circ}\text{C}$
  - b. es dan air dengan suhu  $t = 0^{\circ}\text{C}$
  - c. air seluruhnya dengan suhu  $t = 0^{\circ}\text{C}$
  - d. air dengan suhu  $t = 4^{\circ}\text{C}$
  - e. es dengan suhu  $t = -4^{\circ}\text{C}$
  
5. Zat cair bermassa 10 kg dipanaskan dari suhu  $25^{\circ}\text{C}$  sampai  $75^{\circ}\text{C}$  memerlukan panas sebesar  $1 \times 10^5 \text{ joule}$ . Kalor jenis zat cair tersebut adalah ....
  - a.  $200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - b.  $400 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - c.  $600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - d.  $800 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - e.  $1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  
6. Agar terjadi kesetimbangan pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$ , ... liter air di  $30^{\circ}\text{C}$  harus dicampur dengan 3 liter air di  $100^{\circ}\text{C}$ .
  - a. 4 L
  - b. 5 L
  - c. 7,5 L
  - d. 10 L
  - e. 12,5 L
  
7. Untuk menaikkan suhu aluminium yang mempunyai massa 200 gram dari  $25^{\circ}\text{C}$  menjadi  $75^{\circ}\text{C}$  diperlukan kalor 8400 joule. Oleh karena itu, kalor jenis aluminium adalah ...  $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
  - a. 0,42
  - b. 0,84
  - c. 840
  - d. 1680
  - e. 8400



3. Sebutir peluru dari timah (kalor jenis  $3,1 \times 10^2 \text{ kal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) massanya 10 gram bergerak dengan kecepatan  $45 \text{ m s}^{-1}$  mengenai sasaran dan peluru bersarang di dalamnya. Bila dianggap tidak ada panas yang hilang ke sekelilingnya, berapa kenaikan suhu peluru? (1 joule = 0,24 kal)
4. Di atas balok es pada suhu  $0^\circ\text{C}$  diletakkan 6 kg timah dari  $100^\circ\text{C}$ , jika kalor jenis timah  $130 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  kalor jenis air  $4,2 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  dan kalor lebur es  $334 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$ . Berapa gram es akan melebur?
5. Jika titik didih alkohol  $78^\circ\text{C}$ , kalor didih alkohol  $8,6 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$  dan kalor jenis alkohol  $2,5 \times 10 \text{ kal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Berapa joule kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan 100 g alkohol dari suhu  $20^\circ\text{C}$ ?
6. Berapa energi panas yang dilepaskan oleh 30 gram uap air dari  $100^\circ\text{C}$  menjadi air pada suhu  $25^\circ\text{C}$ ? Kalor pengembunan air  $2,26 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$ ?

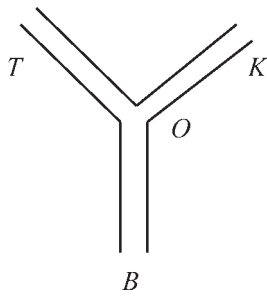


Grafik di atas ini menunjukkan hubungan antara suhu dan kalor yang diserap es, jika kalor lebur  $3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ , hitung massa es?



Dua buah logam I dan II ukurannya sama, disambung pada salah satu ujungnya. Koefisien konduksi masing-masing  $K_1$  dan  $K_2$ ,  $T_a = 90^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 0^\circ\text{C}$ . Bila  $K_1 = 2 K_2$  maka hitunglah besar  $T_b$ ?





9. Tiga buah logam tembaga (T), besi (B), dan kuningan (K) ukurannya sama disambung membentuk huruf Y (seperti gambar di samping), koefisien konduksi masing-masing adalah 380, 50, dan  $100 \text{ J (s m K)}^{-1}$ . Bila suhu ujung tembaga yang tidak disambung  $100^\circ\text{C}$  dan suhu ujung-ujung logam yang lain sama yaitu  $0^\circ$ , hitunglah suhu bagian yang disambung!
10. Sebuah bola logam yang berwarna hitam sempurna luasnya  $20 \text{ cm}^2$  dipanaskan hingga berpijar pada suhu  $127^\circ\text{C}$ . Jika tetapan Stefan  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$ , maka hitunglah energi radiasinya!



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

1. pengertian kalor,
2. pengaruh kalor terhadap suatu zat,
3. kalor jenis,
4. perubahan fasa dan wujud zat,
5. perpindahan kalor secara konduksi, radiasi dan konveksi, dan
6. asas Black dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajarilah kembali sebelum melanjutkan pada bab berikutnya.

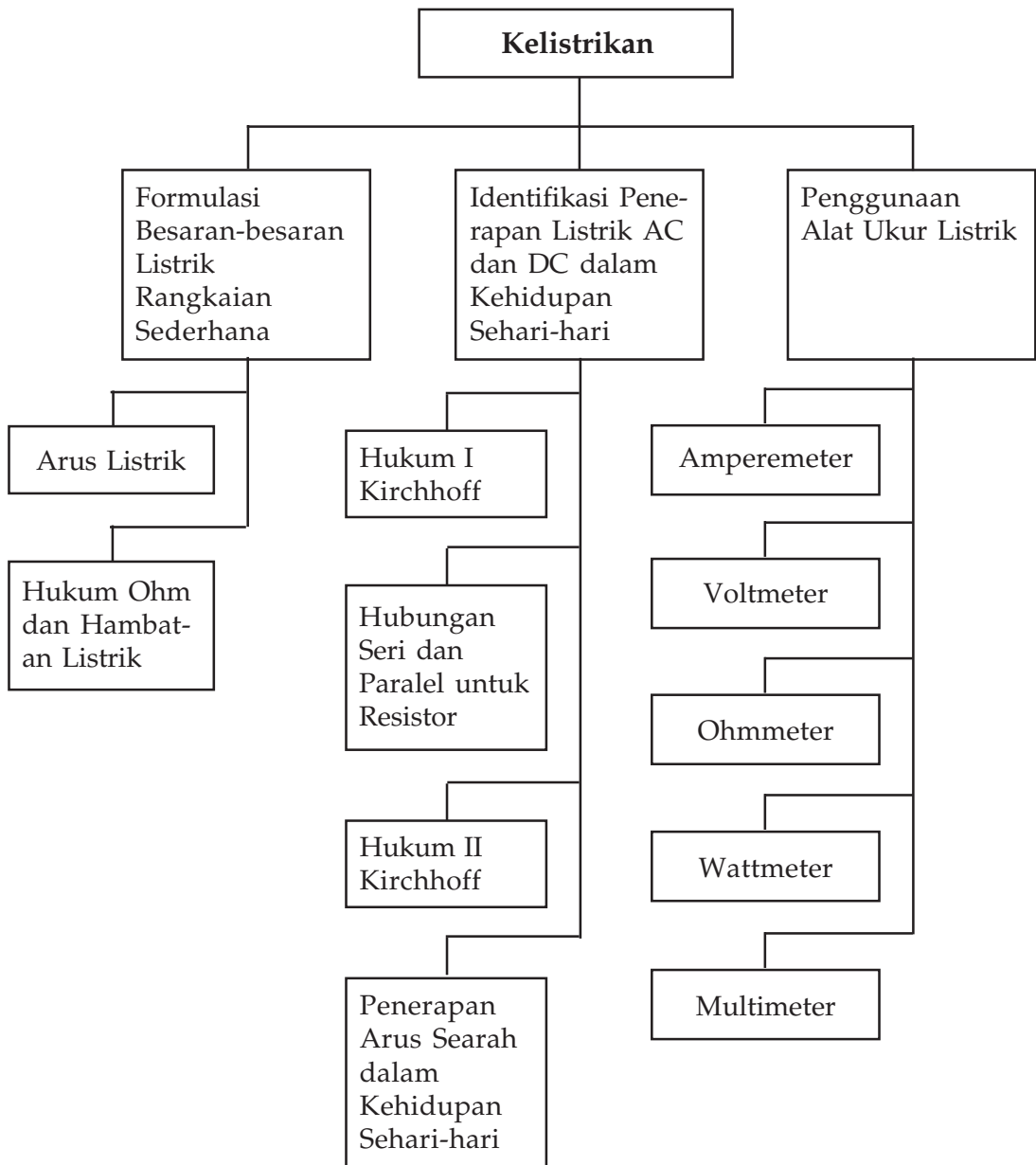
## Bab V Kelistrikan



Sumber : [www.picture.newsletter.com](http://www.picture.newsletter.com)

*Kebutuhan manusia akan energi banyak ditopang oleh listrik, seperti contoh: lampu, alat-alat rumah tangga dan elektronik serta pabrik-pabrik. Listrik dihasilkan dari sebuah generator yaitu sebuah sumber energi listrik, kemudian dari sumbernya listrik didistribusikan ke konsumen menggunakan kawat penghantar, sehingga dapat dirasakan manfaatnya oleh kita.*

# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu loop),
2. mengidentifikasi penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, dan
3. menggunakan alat ukur listrik.



## Motivasi Belajar

Dalam kehidupan sehari-hari, kalian sudah terbiasa dengan masalah listrik; bagaimana kalian memahami fenomena fisisnya ketika kalian melihat kilatan petir, kalian menggunakan penerangan dari lampu neon, memasak nasi dengan pemasak nasi (*rice cooker*), mengeringkan rambut dengan pengering rambut (*hair dryer*), menyetrika baju dengan setrika listrik, dan sebagainya. Pernahkah kalian berpikir bagaimana konsep kelistrikan baik statis maupun dinamis bahkan konsep tentang kemagnetan dari hal-hal yang kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari? Atau kalian berpikir tentang penggunaan alat ukur listrik untuk rangkaian sederhana, penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari?



## Kata Kunci

arus	galvanometer	hambatan	seri	rangkaian
energi	gaya gerak listrik	paralel	beda potensial	resistivitas

Dewasa ini energi listrik sudah menjadi bagian hidup dari peradaban manusia. Seperti yang telah kalian pelajari pada kelas IX tentang listrik dinamis dan besaran-besaran listrik, contohnya seperti kuat arus, beda potensial, hambatan listrik, daya listrik dan energi listrik serta beberapa penerapannya dalam kehidupan kita sehari-hari. Pada materi bab ini, akan dipelajari lebih lanjut tentang kelistrikan, besaran-besaran listrik dan penerapannya serta juga alat-alat ukur listrik.

## A. Formulasi Besaran-Besaran Listrik Rangkaian Sederhana (Satu Loop)

### 1. Arus Listrik

Jika dalam suatu penghantar (konduktor) terdapat gerakan muatan listrik baik muatan positif maupun negatif maka dikatakan dalam penghantar tersebut terjadi aliran listrik.



## Konsep

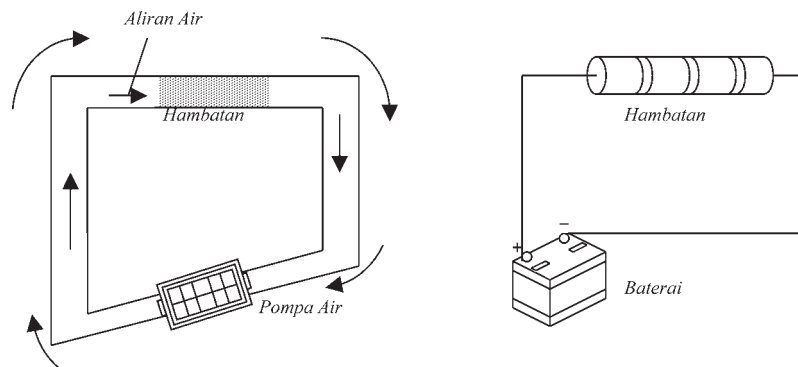
Arus listrik adalah laju aliran muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang lintang.

Konduktor dapat berupa padatan (misal: logam), cairan dan gas. Pada logam pembawa muatannya adalah elektron, sedang pembawa muatan pada konduktor yang berupa gas dan cairan adalah ion positif dan ion negatif.

Syarat-syarat arus listrik dapat mengalir dalam konduktor yaitu:

- Rangkaian harus tertutup.
- Harus ada beda potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik.

Arus listrik seperti aliran air dalam pipa. Air dapat mengalir karena ada tekanan atau energi terhadap air. Tekanan atau energi terhadap air diberikan pompa air. Arus listrik dapat dianalogkan dengan aliran air dalam pipa, muatan listrik dapat mengalir jika ada sumber energi sebagai pompa muatan. yang dapat disebut *gaya gerak listrik (g.g.l)*. Gaya gerak listrik ini dapat diperoleh dari baterai, aki, sel volta. Analogi antara aliran air dan listrik ditunjukkan pada **Gambar 5.1**.



**Gambar 5.1** Analogi antara aliran air dan listrik

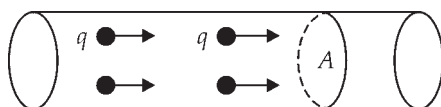


## Seputar Tokoh

*George Simon Ohm (1789 - 1854)*

Fisikawan Jerman lahir di Erlangen, Bavaria. Pada tahun 1849 pindah ke Universitas Munich. Ohm mulai memusatkan perhatiannya pada masalah kelistrikan pada tahun 1825. Sumbangan terbesar adalah hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus listrik yang mengalir dalam rangkaian logam berbanding langsung dengan gaya elektromagnetik total dalam rangkaian tersebut. Nama Ohm diabadikan sebagai satuan SI dari hambatan listrik.

Sepotong segmen kawat pembawa arus ditunjukkan pada **Gambar 5.2**.



**Gambar 5.2** Segmen kawat pembawa arus (Tipler, 1991)

Sejumlah muatan  $q$  melewati suatu kawat yang mempunyai penampang  $A$  untuk selang waktu  $t$  sehingga kuat arus yang mengalir di dalam kawat dapat dinyatakan sebagai berikut, kuat arus listrik:

$$I = \frac{\text{jml muatan listrik yang mengalir}}{\text{selang waktu}} = \frac{q}{t} \quad \dots (5.1)$$

dengan:  $q$  = jumlah muatan listrik yang bergerak melewati luasan  $A$  (coulomb, C),  
 $t$  = selang waktu (sekon, s),  
 $I$  = kuat arus listrik (ampere, A).

Persamaan 5.1 menunjukkan bahwa satuan arus listrik dalam satuan SI adalah *coulomb/sekon* (C/s) atau dikenal dengan *ampere* (A). Satuan kuat arus ini diambil dari yang menyelidiki tentang arus listrik yaitu seorang fisikawan Perancis yang bernama **Andre Marie Ampere**. Besaran kuat arus adalah besaran pokok sedang jumlah muatan listrik adalah besaran turunan.

Bila suatu penghantar yang memiliki luas penampang  $A$  dan dialiri arus listrik  $I$  maka dapat dikatakan bahwa penghantar tersebut dialiri arus listrik dengan rapat arus sebesar:

$$J = \frac{I}{A} \quad \dots (5.2)$$



### Konsep

Rapat arus ( $J$ ) adalah besar kuat arus listrik per satuan luas penampang. Satuan rapat arus dalam sistem SI adalah ampere/m<sup>2</sup> atau Am<sup>-2</sup>.

Persamaan (5.1) menghasilkan jumlah muatan adalah hasil kali antara kuat arus  $I$  dan waktu  $t$  atau :

Jumlah muatan yang mengalir  $q =$  kuat arus yang mengalir  $\times$  selang waktu.

$$q = I t \quad \dots (5-3)$$

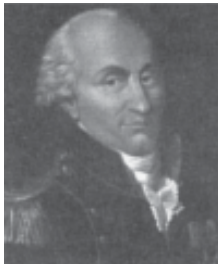


## Konsep

Satu coulomb adalah muatan listrik yang melalui titik apa saja dalam rangkaian listrik ketika arus tetap satu ampere mengalir selama satu detik.

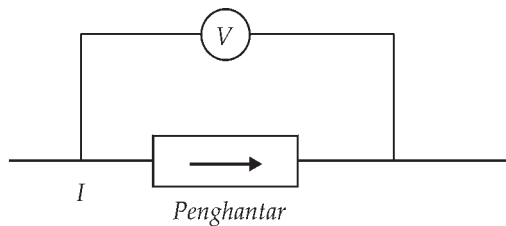
Suatu penghantar dikatakan berarus listrik jika pada ujung-ujung penghantar tersebut terdapat beda potensial  $V$  yang ditimbulkan oleh suatu sumber tegangan seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.3**.

### Seputar Tokoh



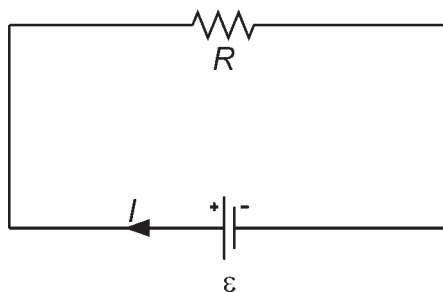
Seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis bernama **Charles Augustin de Coulomb** telah berhasil menemukan gaya listrik dan berhasil merumuskan secara matematis sehingga karena jasanya namanya diabadikan untuk nama satuan muatan dan nama gaya listrik antar muatan.

(Sumber : [www.wikipedia](http://www.wikipedia))



**Gambar 5.3** Suatu penghantar mempunyai beda potensial antar kedua ujungnya  $V$

Penggambaran suatu penghantar yang mempunyai hambatan  $R$  dan beda potensial antarkedua ujungnya  $e$  ditunjukkan pada **Gambar 5.4** berikut:



**Gambar 5.4** Suatu penghantar yang mempunyai hambatan  $R$  dan beda potensial antar kedua ujungnya  $\epsilon$ .



## Konsep

*Beda potensial listrik* adalah dorongan yang menyebabkan elektron-elektron mengalir dari suatu tempat ke tempat yang lain.

*Apa perbedaan pokok antara gaya gerak listrik dan tegangan jepit?*  
Gaya gerak listrik (g.g.l.), diberi lambang  $\varepsilon$  adalah beda potensial antara kutub-kutub suatu sumber listrik (contoh: batu baterai) ketika sumber tidak mengalirkan arus listrik (saklar yang terhubung ke sumber dalam keadaan terbuka). Satuan g.g.l. adalah *volt*. Tegangan jepit, diberi lambang  $V$  adalah beda potensial antara kutub-kutub suatu sumber listrik (contoh: baterai) ketika sumber mengalirkan arus listrik (saklar yang terhubung ke sumber dalam keadaan tertutup).



## Contoh Soal

Suatu kawat penghantar mempunyai penampang berbentuk lingkaran dengan diameternya 2 mm, dialiri arus sebesar 2 A selama 2 menit. Hitunglah jumlah muatan yang mengalir melewati suatu penampang tertentu dan besar rapat arusnya.

**Penyelesaian:**

Jumlah muatan yang mengalir melewati suatu penampang tertentu dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5.3).

$$\begin{aligned}q &= I t \\ &= 2 \text{ A} \times 2 \text{ menit} \times 60 \text{ sekon/menit} \\ &= 240 \text{ A} \cdot \text{sekon} = 240 \text{ C}.\end{aligned}$$

Besar rapat arus yang melalui penghantar dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5.2):

$$J = \frac{I}{A}$$

Luas penampang penghantar:

$$\begin{aligned}A &= \frac{\pi d^2}{4} \\ &= \frac{2}{3,14 \times 10^{-5}} = 0,63 \times 10^5 \\ &= 6,37 \times 10^4 \text{ A m}^{-2}\end{aligned}$$



Sehingga rapat arus:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{2}{3,14 \times 10^{-5}} = 0,637 \times 10^5 = 6,37 \times 10^4 \text{ A m}^{-2}$$



## Contoh Soal

Suatu kawat penghantar mempunyai penampang berbentuk lingkaran dengan radiusnya 2 mm, dialiri arus sebesar 2 A selama 5 menit. Hitunglah jumlah elektron yang mengalir melewati suatu penampang tertentu jika diketahui muatan 1 elektron yaitu  $1 e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

**Penyelesaian:**

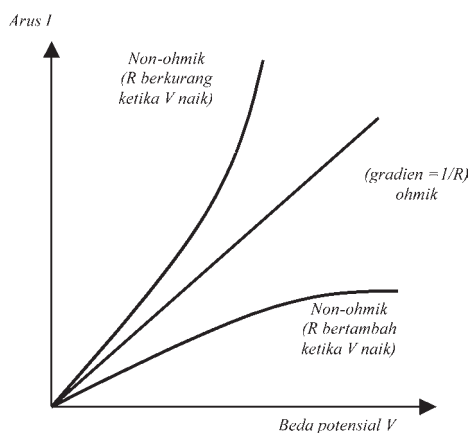
Jumlah muatan yang mengalir melewati suatu penampang tertentu dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5.3).

$$\begin{aligned} q &= I t \\ &= 2 \text{ A} \times 5 \text{ menit} \times 60 \text{ sekon/menit} \\ &= 600 \text{ A. sekon} \\ &= 600 \text{ C.} \end{aligned}$$

Jadi jumlah elektron yang melalui penampang adalah:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{600 \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 3,75 \times 10^{21}$$

## 2. Hukum Ohm dan Hambatan Listrik



**Gambar 5.5** Grafik kuat arus listrik  $I$  sebagai fungsi beda potensial  $V$

Jika suatu penghantar dengan luas penampang  $A$ , panjang penghantar  $L$  dan beda potensial antara kedua ujung kawat penghantar adalah  $V$  maka arus  $I$  listrik yang mengalir dalam penghantar tersebut akan sebanding dengan beda potensial antara kedua ujung penghantar tersebut.

**Gambar 5.5** di samping menunjukkan tentang grafik kuat arus  $I$  sebagai fungsi beda potensial  $V$ .

Pada **Gambar 5.5** jika suatu bahan penghantar menghasilkan grafik kuat arus  $I$  sebagai fungsi, beda potensial  $V$  nya tidak membentuk garis lurus,

penghantarnya disebut *komponen non-ohmik*. Untuk bahan penghantar yang menghasilkan grafik kuat arus  $I$  sebagai fungsi, beda potensial  $V$ -nya membentuk garis lurus, penghantarnya disebut *komponen ohmik*.

Secara matematis, hubungan antara kuat arus  $I$  sebagai fungsi beda potensial  $V$  adalah:

$$I = \frac{V}{R} \text{ atau } V = R I \quad \dots (5-4)$$

dengan:

$V$  = beda potensial atau tegangan (volt, V),

$R$  = hambatan listrik penghantar (ohm,  $\Omega$ ),

$I$  = kuat arus listrik (ampere, A).

Persamaan (5.4) disebut hukum Ohm.



## Konsep

Hukum Ohm:

*Kuat arus yang melalui suatu konduktor ohm adalah sebanding (berbanding lurus) dengan beda potensial antara ujung-ujung konduktor asalkan suhu konduktor tetap.*

Dalam satuan SI, hambatan listrik  $R$  adalah ohm, sehingga:

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}}$$

Jadi, *satu ohm* adalah hambatan bagi suatu konduktor di mana ketika beda potensialnya satu volt diberikan pada ujung-ujung konduktor maka kuat arus satu ampere mengalir melalui konduktor tersebut.

Suatu kawat penghantar memiliki hambatan listrik  $R$  yang sering disebut juga *resistensi*. Hambatan listrik suatu kawat penghantar berbanding lurus dengan panjang kawat dan berbanding terbalik dengan luas penampang kawat penghantar tersebut, yaitu:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \dots (5-5)$$

dengan:

$R$  = besar hambatan listrik penghantar (ohm, W),

$\rho$  = konstanta kesebandingan (resistivitas) bahan penghantar (ohm.m),

$L$  = panjang kawat penghantar (m),

$A$  = luas penampang kawat penghantar (m<sup>2</sup>).

Suatu kawat penghantar listrik pada suatu saat disebut sebagai konduktor, tetapi pada saat yang lain disebut sebagai resistor. Hal ini tergantung pada sifat mana yang akan kita tekankan. Jika kita tekankan sifat kawat penghantar sebagai konduktor maka kebalikan dari resistivitas listrik disebut konduktivitas ( $\sigma$ ) listrik.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \dots (5.6)$$

dengan:

$\sigma$  = konduktivitas listrik bahan penghantar (ohm.m<sup>-1</sup>),

$\rho$  = resistivitas listrik bahan penghantar (ohm.m).



### Contoh Soal

Suatu kawat penghantar dengan hambatan total sebesar 10  $\Omega$ . Kawat tersebut membawa arus sebesar 50 mA. Hitunglah perbedaan potensial antara kedua ujung kawat tersebut.

*Penyelesaian:*

Beda potensial antara kedua ujung kawat tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.4) yaitu:

$$V = R I = (10 \Omega) (50 \text{ mA}) = (10 \Omega) (0,05 \text{ A}) = 0,5 \text{ V}$$



### Contoh Soal

Suatu kawat nikrom (resistivitas  $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ) memiliki jari-jari 1,20 mm. Berapakah panjang kawat yang dibutuhkan untuk memperoleh resistansi 4,0  $\Omega$ ?

**Penyelesaian:**

Luas penampang kawat ini adalah:

$$A = \pi r^2 = (3,14) (12 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 4,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Dari persamaan 5-6 kita dapatkan:

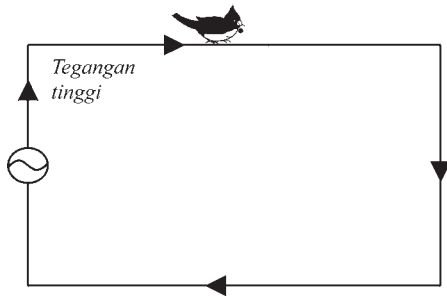
$$L = \frac{RA}{\rho} = \frac{(4 \Omega)(4,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{10^{-6} \Omega \cdot \text{m}} = 18 \text{ m}$$



### Life Skills : Kecakapan Akademik

Diskusikan masalah berikut dengan teman kalian dan laporkan hasil diskusi kepada guru kalian.

1. Pikirkan jika kalian melihat banyak burung merpati bertengger pada kawat tegangan tinggi, mengapa burung-burung tersebut tidak apa-apa?



2. Pikirkan bagaimana petir bisa terjadi di udara pada saat hari berawan tebal, saat akan terjadi hujan atau saat terjadi hujan?

## B. Identifikasi Penerapan Listrik AC dan DC dalam Kehidupan Sehari-Hari

Pada saat malam hari, di rumah kita banyak dipasang lampu-lampu yang menyalnya sesuai dengan keinginan kita. Kita dapat menyalakan semua lampu atau tidak tergantung keperluan kita masing-masing. Apakah lampu-lampu di rumah kita yang jumlahnya banyak itu terhubung secara seri atau paralel?



Sumber : [www.wikipedia](http://www.wikipedia)

## Seputar Tokoh

*Gustav Kirchhoff (1824 – 1887)*

Seorang ilmuwan Jerman. Ia orang yang pertama menemukan dua hukum yang sangat berguna untuk menganalisis kuat arus, tegangan dan hambatan listrik dalam suatu rangkaian listrik. Hukum I Kirchhoff, tentang kuat arus listrik pada titik cabang. Hukum II Kirchhoff adalah tentang beda potensial mengitari suatu rangkaian tertutup.

## 1. Hukum I Kirchhoff

Dalam kehidupan sehari-hari, kadang kita harus memasang lampu-lampu secara seri, tetapi dalam keadaan yang lain kita harus memasang lampu secara paralel. Kuat arus listrik dalam suatu rangkaian tak bercabang, besarnya selalu sama. Lampu-lampu di rumah kita pada umumnya terpasang secara paralel. Pada kenyataannya rangkaian listrik biasanya terdiri banyak hubungan sehingga akan terdapat banyak cabang maupun titik simpul. Titik simpul adalah titik pertemuan dua cabang atau lebih. Penyelesaian dalam masalah rangkaian listrik yang terdapat banyak cabang atau simpul itu digunakan *Hukum I dan II Kirchhoff*.



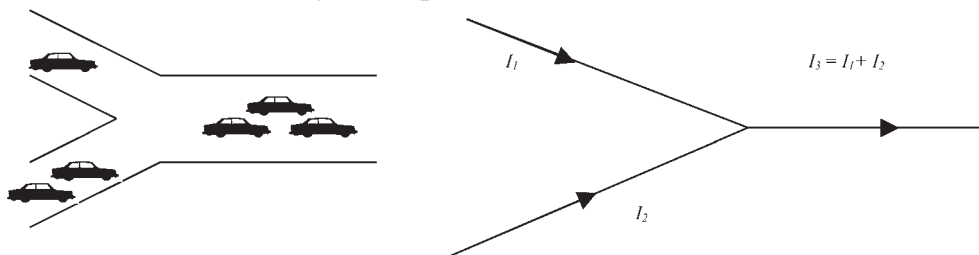
### Konsep

Hukum I Kirchoff :

*Jumlah kuat arus yang masuk ke suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik cabang tersebut.*

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar} \quad \dots (5.7)$$

Sebagai contoh berikut dijelaskan ada dua komponen arus yang bertemu di satu titik simpul sehingga menjadi satu, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.6**.



**Gambar 5.6.** *Analogi pertemuan dua jalan menjadi satu dengan dua cabang arus bergabung menjadi satu cabang.*

## 2. Hubungan Seri dan Paralel Untuk Resistor

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering melakukan penyambungan lampu baik secara seri maupun secara paralel. Bagaimana tentang hubungan antar hambatan-hambatan listrik? Misalkan kita mempunyai lampu pertama dan kedua yang dianggap sebagai hambatan listrik 1  $R_1$  dan hambatan listrik 2 atau  $R_2$ , seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.7**.



**Gambar 5.7.** Hambatan  $R_1$  dan  $R_2$  yang mewakili hambatan listrik lampu pertama dan kedua

Hambatan pengganti  $R_s$  dari kedua hambatan  $R_1$  dan  $R_2$  yang dihubungkan secara seri tersebut adalah:

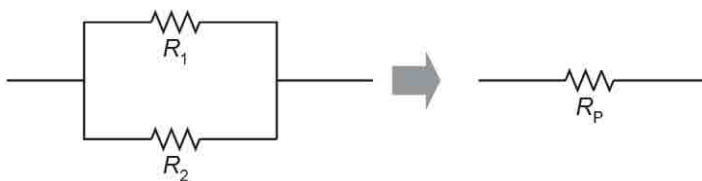


$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \dots (5.8)$$

dengan :

$R_s = R$  gabungan untuk sambungan seri,  
 $R_1, R_2, \dots, R_n =$  resistor ke 1, 2, ...n.

Hambatan pengganti  $R_p$  dari kedua hambatan  $R_1$  dan  $R_2$  yang dihubungkan secara paralel tersebut adalah:

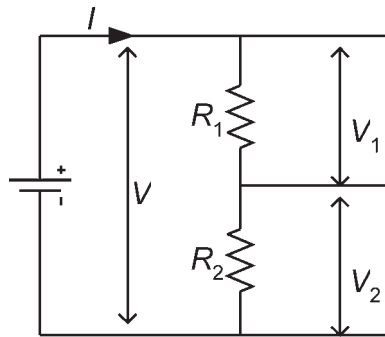


$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \dots (5.9)$$

dengan:

$R_p = R$  gabungan untuk sambungan paralel,  
 $R_1, R_2, \dots, R_n =$  resistor ke 1, 2, ...n

Aplikasi rangkaian seri untuk membagi tegangan dapat ditunjukkan pada **Gambar 5.8**.



**Gambar 5.8** Rangkaian seri untuk membagi tegangan

Penerapan hukum Ohm seperti rangkaian pada **Gambar 5.8** akan diperoleh:

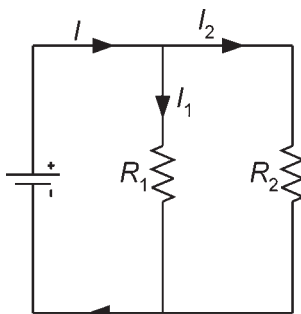
$V_1 = I R_1$  dan  $V = I (R_1 + R_2)$  sehingga:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{ atau } V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V \quad \dots (5.10)$$

Hubungan seri untuk resistor dapat disimpulkan :

1. Hubungan seri bertujuan untuk memperbesar hambatan rangkaian.
2. Hubungan seri berfungsi sebagai pembagi tegangan.
3. Kuat arus yang melewati setiap hambatan adalah sama.

Aplikasi rangkaian paralel untuk membagi aliran arus listrik dapat ditunjukkan pada **Gambar 5.9**.



**Gambar 5.9.** Rangkaian paralel untuk membagi aliran arus listrik

Penerapan Hukum I Kirchhoff pada rangkaian pada **Gambar 5.8** akan diperoleh:

$$I = I_1 + I_2 \text{ atau}$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{V}{R_p} \quad \dots (5.11)$$

Sebagai contoh bahwa pemakaian hubungan paralel pada peralatan listrik di rumah kita harus mendapat tegangan yang sama, misalnya 220 volt.

Hubungan paralel untuk resistor dapat disimpulkan :

1. Hubungan paralel bertujuan untuk memperkecil hambatan rangkaian.
2. Hubungan paralel berfungsi sebagai pembagi arus.
3. Beda potensial pada setiap ujung-ujung hambatan adalah sama.

### 3. Hukum II Kirchhoff

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak hanya dilibatkan dengan masalah rangkaian listrik 1 (satu) rangkaian (loop), tetapi juga melibatkan sistem rangkaian lebih dari satu rangkaian. Hukum II Kirchhoff tentang beda potensial mengitari suatu rangkaian tertutup. Hukum II Kirchhoff berbunyi:



#### Konsep

*Di dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik ( $\mathcal{E}$ ) dengan penurunan tegangan ( $IR$ ) sama dengan nol.*

Secara matematis, Hukum II Kirchhoff dapat ditulis:

$$\Sigma \mathcal{E} + \Sigma (IR) = 0 \quad \dots (5.12)$$

Penggunaan Hukum II Kirchhoff adalah sebagai berikut:

1. Pilih rangkaian untuk masing-masing lintasan tertutup dengan arah tertentu. Pemilihan arah loop bebas, tapi jika memungkinkan diusahakan searah dengan arah arus listrik.

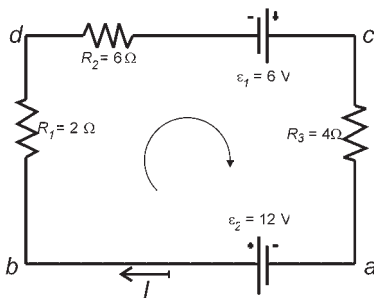


2. Jika pada suatu cabang, arah loop sama dengan arah arus, maka penurunan tegangan ( $IR$ ) bertanda positif, sedangkan bila arah loop berlawanan arah dengan arah arus, maka penurunan tegangan ( $IR$ ) bertanda negatif.
3. Bila saat mengikuti arah loop, kutub sumber tegangan yang lebih dahulu dijumpai adalah kutub positif, maka gaya gerak listrik bertanda positif, sebaliknya bila kutub negatif maka penurunan tegangan ( $IR$ ) bertanda negatif.



### Contoh Soal

Suatu rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar 5.10, dengan hukum Kirchhoff II hitunglah arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut.



Gambar 5.10 Suatu loop tertutup untuk menerapkan hukum II Kirchhoff

1. Dipilih loop  $abdca$ , dengan arah dari  $a - b - d - c - a$
2. Dengan menerapkan hukum II Kirchhoff:  $\sum \mathcal{E} + \sum (IR) = 0$  dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

$$- \mathcal{E}_2 + I R_1 + I R_2 - \mathcal{E}_1 + I R_3 = 0 \text{ atau}$$

$$- \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0 \text{ atau}$$

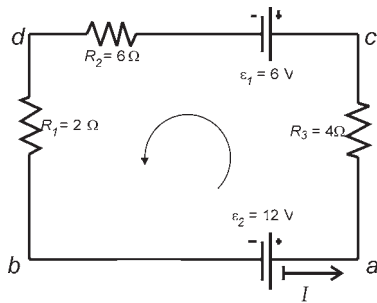
$$I = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 + 6}{2 + 6 + 4} = \frac{18V}{12 \Omega} = 1,5 A$$

Jadi, arus yang mengalir adalah 1,5 A dengan arah dari  $a - b - d - c - a$ .



### Contoh Soal

Suatu rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar 5.11, dengan hukum II Kirchhoff, hitunglah arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut!



**Gambar 5.11.** Suatu loop tertutup untuk menerapkan hukum II Kirchhoff

1. Dipilih loop acdb, dengan arah dari a - c - d - b - a.
2. Dengan menetapkan hukum II Kirchhoff:  $\Sigma \varepsilon + \Sigma (IR) = 0$  dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

$$-\varepsilon_2 + I R_1 + I R_2 + \varepsilon_1 + I R_3 = 0 \text{ atau}$$

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0 \text{ atau}$$

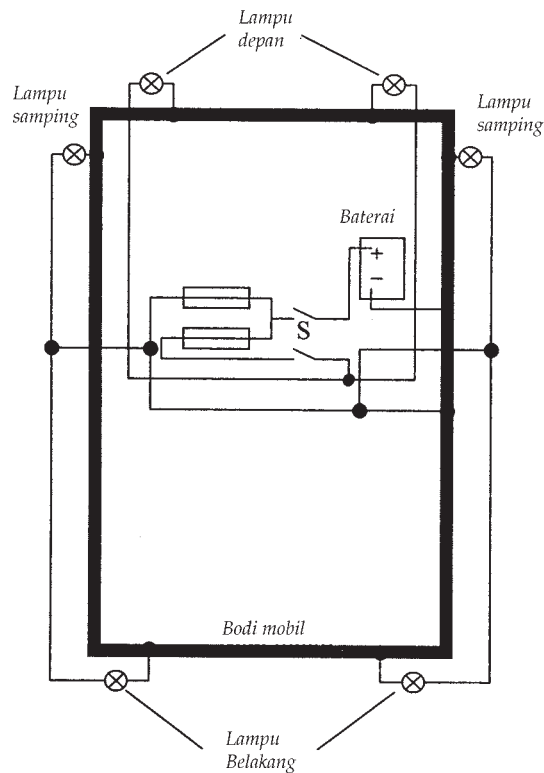
$$I = \frac{-\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{-6 + 12}{2 + 6 + 4} = \frac{6 \text{ V}}{12 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

Jadi, arus yang mengalir adalah 0,5 A dengan arah dari a - c - d - b - a

#### 4. Penerapan Arus Searah dalam Kehidupan Sehari-hari

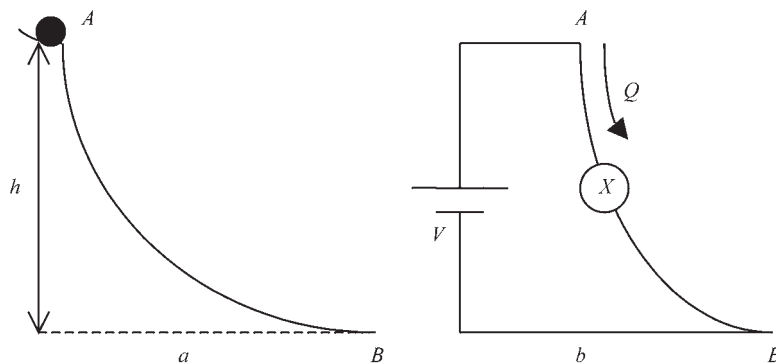
*Arus searah (Direct Current)* adalah suatu arus listrik yang aliran muatan netto hanya dalam satu arah. Dalam kehidupan sehari-hari, arus searah banyak digunakan pada kendaraan bermotor (baik roda empat maupun roda dua), lampu penerangan di rumah, misalnya lampu senter. Contoh penggunaan sumber arus searah (sumber tegangan searah) pada sebuah mobil ditunjukkan pada **Gambar 5.12**.

Sumber arus searah suatu alat untuk menghasilkan beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian. Misalnya : batu baterai, aki (*accumulator*), sel surya (*solar cell*), dan sebagainya. Beda potensial pada sumber arus listrik searah ada yang 1,5 V, 6 V, 12 V, 24 V dan sebagainya.



**Gambar 5.12** Sistem aliran listrik pada sebuah mobil

Penggunaan sumber energi listrik akan terkait dengan adanya perubahan energi yaitu dari energi listrik ke energi bentuk lain, misalnya energi panas. Pada Gambar 5.13 berikut ditunjukkan kemiripan antara bola yang meluncur karena adanya energi potensial gravitasi dan aliran muatan listrik yang bergerak karena adanya sumber tegangan searah.



**Gambar 5.13.** Kemiripan antara bola yang meluncur dengan aliran muatan positif

Energi listrik adalah besar muatan (dalam coulomb) dikalikan beda potensial yang dialaminya. Satuan energi listrik dalam sistem SI adalah joule (J). Energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W = QV = VIt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t \quad \dots (5.13)$$

dengan:

$W$  = energi listrik (joule, J),

$V$  = beda potensial listrik (volt, V),

$Q$  = muatan listrik (coulomb, C),

$I$  = arus listrik (ampere, A),

$R$  = hambatan (ohm,  $\Omega$ ),

$t$  = waktu arus mengalir (sekon, s).

Daya listrik adalah energi listrik yang dihasilkan atau diperlukan per satuan waktu. Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.13) di atas, yaitu:

$$\text{Daya listrik } P = \frac{\text{energi listrik yang dibebaskan } (W)}{\text{selang waktu } (t)}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VIt}{t} = VI \quad \dots (5.14)$$

dengan:

$P$  = daya listrik (watt),

$W$  = energi yang dibebaskan (joule),

$t$  = selang waktu (sekon)



## Konsep

Satu watt (1 W) adalah besar daya ketika energi satu joule dibebaskan dalam selang waktu 1 sekon.

Bagaimana proses penggunaan suatu sumber arus listrik dalam pengalaman sehari-hari? Dalam kehidupan sehari-hari kita sering menggunakan sumber arus searah, tetapi juga menggunakan tegangan bolak-balik, misalnya sumber listrik dari Pusat Listrik Negara (PLN). Pada sumber arus bolak-balik pada umumnya mempunyai tegangan efektifnya adalah 220 V. Tegangan efektif artinya besar tegangan arus listrik bolak-balik yang memberi akibat sama dengan arus searah, khususnya dalam hal energi dan daya listrik.

Jika tegangan listrik mengalami penurunan, maka daya yang terjadi juga mengalami penurunan yaitu sesuai dengan persamaan berikut:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \quad \dots (5.15)$$



### Contoh Soal

Berapa daya lampu 100 W/220 V jika tegangan PLN turun menjadi 100 V tersebut di atas?

**Penyelesaian:**

Pada tegangan  $V_1 = 220$  V maka daya lampu  $P_1 = 100$  W, sehingga jika  $V_2 = 100$  V maka daya lampu tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.15):

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \text{ atau } P_2 = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 P_1$$

$$P_2 = \left( \frac{100 \text{ V}}{220 \text{ V}} \right)^2 100 \text{ W} = 20,66 \text{ W}$$



### Kejar Ilmu

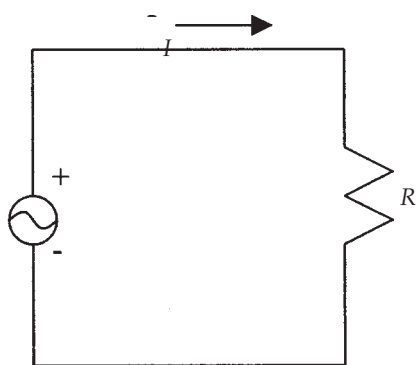
Lampu pijar tertulis 220 V 100 W. Jika lampu dihubungkan dengan sumber listrik PLN yang tegangannya 180 V maka hitunglah daya lampu sebenarnya.

*Konsep hambatan konstan pada suatu alat listrik:*

- Pada lampu pijar tertulis informasi tentang tegangan dan daya, misalnya 220 V 40 W atau 220 V 60 W atau 220 V 100 W, dan sebagainya.
- Lampu-lampu tersebut diproduksi dengan hambatan listrik elemen lampu tersebut tetap.

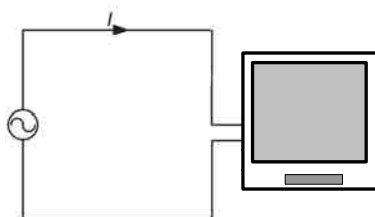
## 5. Penerapan Arus Bolak Balik dalam Kehidupan Sehari-hari

Arus bolak-balik (*arus Alternating Current*) adalah suatu arus listrik yang arahnya membalik dengan frekuensi  $f$ . Dalam kehidupan sehari-hari, arus bolak-balik banyak digunakan di rumah-rumah, kantor-kantor dan pabrik-pabrik.



**Gambar 5.14.** Generator arus bolak-balik (AC) dihubungkan dengan tahanan  $R$

Bagaimana kalian memahami hal ini jika dikaitkan dengan penggunaan setrika listrik, kompor listrik, televisi, kipas angin, dan sebagainya? Peralatan-peralatan listrik tersebut dirangkai dengan posisi sebagai tahanan listrik  $R$  (lihat **Gambar 5.14**). Sambungan televisi pada sumber tegangan bolak-balik ditunjukkan pada **Gambar 5.15**.



**Gambar 5.15.** Sambungan televisi pada sumber tegangan bolak-balik



### Kejar Ilmu

Diskusikan dengan teman kalian dan laporkan hasil diskusi kepada guru kalian!

Lampu 2,5 V 1,5 W diberi tegangan 3,0 V dan lampu 6 V, 2 W diberi tegangan 6 V. Lampu mana yang menyala lebih terang? Jelaskan alasannya!



### Etos Kerja

Apakah mungkin kalau kita merangkai peralatan di rumah kita secara seri? Jelaskan! Diskusikan dengan guru fisikamu!



## Kewirausahaan

Pikirkan bagaimana cara mengatur lampu pengatur lalu lintas (*traffic light*) di kotamu. Buatlah skema pengaturan lampu lalu lintas di suatu perempatan jalan jika diinginkan lampu hijau dan merah menyala selama 1 menit sedang lampu kuning menyala selama 15 sekon. Diskusikan dengan guru fisikamu!

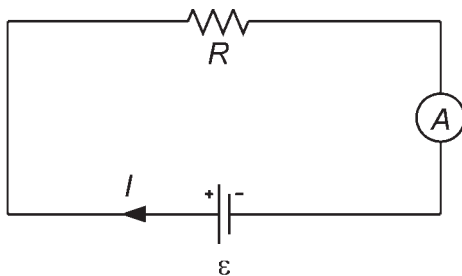
## C. Penggunaan Alat Ukur Listrik

*Masalah kontekstual:*

*Alat-alat listrik di rumah kita masing-masing, seperti lampu, TV, dan tape stereo dicatu dari jaringan kawat listrik PLN bertegangan 220 V. Mengapa alat-alat listrik ini dirangkai secara paralel? Mengapa tidak dirangkai secara seri?*

Dalam kehidupan sehari-hari, kalian sering menggunakan alat ukur listrik, antara lain: alat ukur kuat arus listrik (*ampere meter*), alat ukur tegangan listrik (*voltmeter*), alat ukur hambatan listrik (*ohmmeter*), alat ukur daya listrik (*wattmeter*).

### 1. Amperemeter



**Gambar 5.16.** Penggunaan amperemeter untuk mengukur arus listrik

*Amperemeter* adalah alat ukur arus listrik. Amperemeter sering dicirikan dengan simbol *A* pada setiap rangkaian listrik. Satuan arus listrik dalam satuan SI adalah ampere atau diberi simbol *A*. Amperemeter harus dipasang seri dalam suatu rangkaian, arus listrik yang melewati hambatan *R* adalah sama dengan arus listrik yang melewati amperemeter tersebut. Pada **gambar 5.16** amperemeter juga mempunyai hambatan sehingga dengan disisipkannya amperemeter tersebut menyebabkan arus listrik dalam rangkaian sedikit berkurang. Idealnya, suatu *amperemeter* harus memiliki hambatan yang sangat kecil agar berkurangnya arus listrik dalam rangkaian juga sangat kecil.

Komponen dasar suatu amperemeter adalah *galvanometer*, yaitu suatu alat yang dapat mendeteksi arus kecil yang melaluinya. Galvanometer mempunyai hambatan yang sering disebut sebagai hambatan dalam galvanometer,  $R_g$ .

Amperemeter mempunyai skala penuh atau batas ukur maksimum. Dalam kenyataannya kita harus mengukur arus listrik yang nilai arusnya jauh lebih besar dari batas ukur maksimumnya. Susunan suatu amperemeter dengan menggunakan galvanometer jika dipakai untuk mengukur arus yang lebih besar dari batas ukurnya maka harus dipasang suatu hambatan paralel terhadap galvano-meter (sebagai amperemeter) ditunjukkan pada **Gambar 5.17**.

Jika arus yang akan diukur  $I = nI_G$  maka arus yang melalui hambatan pada galvanometer adalah  $I_G$ , sedang arus melalui hambatan yang dipasang paralel adalah  $(n - 1) I_G$ . Dengan menggunakan Hukum I Kirchhoff maka diperoleh:

$$I = I_G + (n - 1)I_G.$$

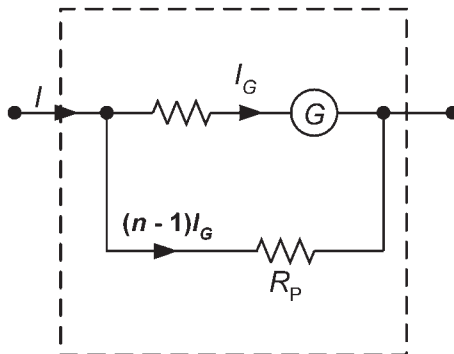
Pada hubungan paralel maka beda potensial sama, maka:

$$I_G R_g = (n - 1) I_g R_p$$

Sehingga:

$$R_p = \frac{R_g}{(n - 1)} \quad \dots (5.15)$$

dengan  $R_p$  adalah hambatan paralel, dan  $R_g$  adalah hambatan dalam galvanometer (amperemeter).



**Gambar 5.17.** Susunan suatu amperemeter dengan menggunakan galvanometer  $G$  dengan hambatan dalam  $R_g$  dan suatu hambatan  $R_p$





## Contoh Soal

Sebuah amperemeter dengan hambatan dalam  $R_A = 25 \text{ ohm}$  mempunyai batas ukur maksimum  $10 \text{ mA}$ . Berapa besar hambatan paralel yang harus dipasang agar amperemeter ini dapat digunakan untuk mengukur arus listrik yang besarnya  $1 \text{ A}$ ?

### Penyelesaian:

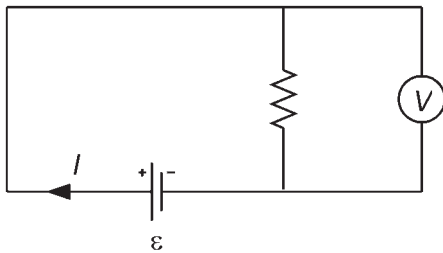
Batas ukur amperemeter maksimum  $I_A = 10 \text{ mA} = 10^{-2} \text{ A}$  dan arus listrik yang akan diukur  $1 \text{ A}$ . Perbandingan antar arus listrik yang diukur dengan arus amperemeter maksimum:

$$n = \frac{1 \text{ A}}{10^{-2} \text{ A}} = 100$$

Dengan menggunakan persamaan (5.15), sehingga diperoleh:

$$R_p = \frac{R_g}{(n-1)} = \frac{25 \Omega}{100-1} = \frac{25 \Omega}{99} = 0,252 \Omega$$

## 2. Voltmeter



**Gambar 5.18.** Penggunaan voltmeter untuk mengukur beda potensial listrik

*Voltmeter* adalah alat ukur tegangan listrik. Voltmeter sering dicirikan dengan simbol  $V$  pada setiap rangkaian listrik. Voltmeter harus dipasang paralel dengan ujung-ujung hambatan yang akan diukur beda potensialnya. Penggunaan voltmeter untuk mengukur beda potensial listrik ditunjukkan pada **Gambar 5.18**. Satuan beda potensial listrik dalam satuan SI adalah *volt* atau diberi simbol  $V$ . Voltmeter sendiri mempunyai hambatan

sehingga dengan disisipkannya voltmeter tersebut menyebabkan arus listrik yang melewati hambatan  $R$  sedikit berkurang. Idealnya, suatu voltmeter harus memiliki hambatan yang sangat besar agar berkurangnya arus listrik yang melewati hambatan  $R$  juga sangat kecil.

Komponen dasar suatu voltmeter adalah galvanometer. Galvanometer mempunyai hambatan yang sering disebut sebagai hambatan dalam galvanometer,  $R_g$ . Susunan suatu

voltmeter dengan menggunakan galvanometer ditunjukkan pada **Gambar 5.19**.



**Gambar 5.19.** Susunan suatu voltmeter dengan menggunakan galvanometer  $G$  dengan hambatan dalam  $R_g$  dan suatu hambatan  $R_s$

Voltmeter mempunyai skala penuh atau batas ukur maksimum. Dalam kenyataannya sering kita harus mengukur tegangan listrik yang nilai tegangannya jauh lebih besar dari batas ukur maksimumnya. Susunan suatu voltmeter dengan menggunakan galvanometer jika dipakai untuk mengukur tegangan yang lebih besar dari batas ukurnya maka harus dipasang suatu hambatan seri  $R_s$  terhadap galvanometer (sebagai voltmeter) ditunjukkan pada **Gambar 5.17**. Jika tegangan yang akan diukur  $V = n V_g$  maka arus yang melalui hambatan pada galvanometer adalah  $I_g$  yang sama. Besar hambatan  $R_s$  yang harus dipasang adalah :  $n V_g = V_s + V_g'$  karena arus sama besar maka:

$$n R_g = R_s + R_g \text{ atau } R_s = (n - 1) R_g \quad \dots (5.16)$$

dengan  $R_s$  = hambatan seri dan  $R_g$  hambatan dalam galvanometer (voltmeter).



### Contoh Soal

Sebuah voltmeter dengan hambatan dalam  $R_v = 10 \text{ k}\Omega$  mempunyai batas ukur maksimum  $100 \text{ V}$ . Jika voltmeter ini akan dipakai untuk mengukur beda potensial sampai  $V = 1000 \text{ V}$  maka hitunglah besar hambatan seri yang harus dipasang pada voltmeter tersebut.

#### Penyelesaian:

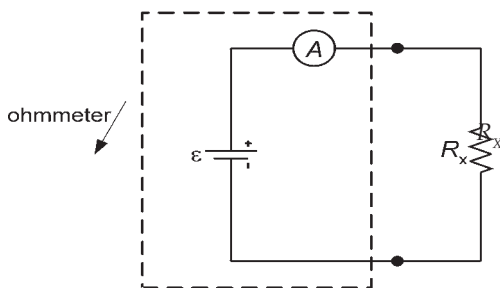
Perbandingan antara beda potensial yang akan diukur dengan batas ukur maksimum voltmeter:

$$n = \frac{1000 \text{ V}}{100 \text{ V}} = 10$$

Dengan menggunakan persamaan (5.16), sehingga diperoleh hambatan seri  $R_s$ :

$$\begin{aligned} R_s &= (n - 1) R_G \\ &= (10 - 1) 10 \text{ kV} \\ &= 90 \text{ kV} \end{aligned}$$

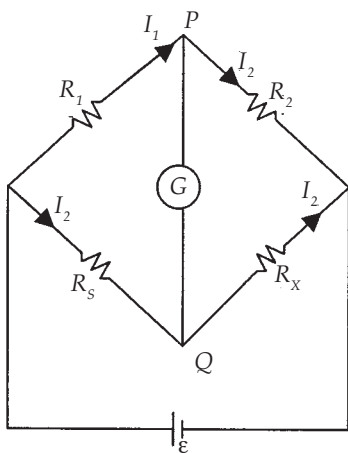
### 3. Ohmmeter



**Gambar 5.20.** Pengukuran hambatan listrik dengan menggunakan sebuah amperemeter

*Ohmmeter* adalah alat ukur hambatan listrik. Satuan hambatan listrik dalam satuan SI adalah ohm atau diberi simbol  $\Omega$ . Pada pengukuran suatu hambatan listrik dilakukan dengan menghubungkan sebuah sumber tegangan yang sudah diketahui tegangannya secara seri dengan sebuah amperemeter dan hambatan yang akan diukur, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.20**. Hasil nilai ukur hambatan dapat dihitung dan nilai tegangan sumber  $\varepsilon$  dan arus yang

terbaca pada amperemeter, hasil alat ukur ini dikalibrasi sehingga pembacaannya menunjukkan hasil dalam ohm meskipun sesungguhnya yang diukur adalah arus.



**Gambar 5.21.** Metode Jembatan untuk mengukur besar suatu hambatan

Suatu metode pengukuran suatu hambatan listrik yang sangat teliti telah ditemukan oleh seorang fisikawan Inggris **Charles Wheatstone** pada tahun 1843. Metode ini menggunakan suatu rangkaian yang disebut sebagai metode *Jembatan Wheatstone*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.21**. Rangkaian pada **Gambar 5.21** menunjukkan rangkaian jembatan Wheatstone yang terdiri atas hambatan  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_s$  yang diketahui nilai hambatannya dan hambatan yang akan diukur  $R_x$ , sebuah galvanometer  $G$  dan sumber tegangan. Pada pengukuran ini  $R_1$  dan  $R_2$  dibuat tetap, sedang hambatan  $R_s$  dapat divariasikan nilai

hambatannya. Pada saat pengukuran, nilai  $R_s$  diatur sedemikian sehingga galvanometer menunjukkan angka nol.

Pada kondisi arus galvanometer menunjuk nol disebut jembatan dalam keadaan seimbang atau potensial di titik  $P$  sama dengan potensial di titik  $Q$  sehingga diperoleh:

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_S \text{ dan } I_1 R_2 = I_2 \cdot R_x \text{ atau:}$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_S \quad \dots (5.13)$$

Dengan menggunakan persamaan (5.13) besar hambatan  $R_x$  dapat dihitung.



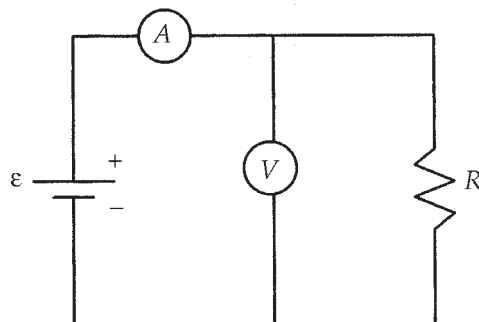
### Wawasan Kewirausahaan : Inovatif

*Diskusikan masalah berikut dengan teman kalian dan laporkan hasilnya kepada guru kalian!*

Alat ukur arus yang ideal mempunyai hambatan dalam nol. Menurut teknologi saat ini apakah alat ini mampu dibuat oleh suatu pabrik elektronik? Jelaskan jawabanmu.

## 4. Wattmeter

*Wattmeter* adalah alat ukur daya listrik. Satuan daya listrik dalam satuan SI adalah watt atau diberi simbol  $W$ . Susunan wattmeter untuk mengukur daya yang dikeluarkan oleh suatu hambatan  $R$  ditunjukkan pada **Gambar 5.22**. Daya yang dihasilkan oleh suatu hambatan  $R$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5.14) yaitu:



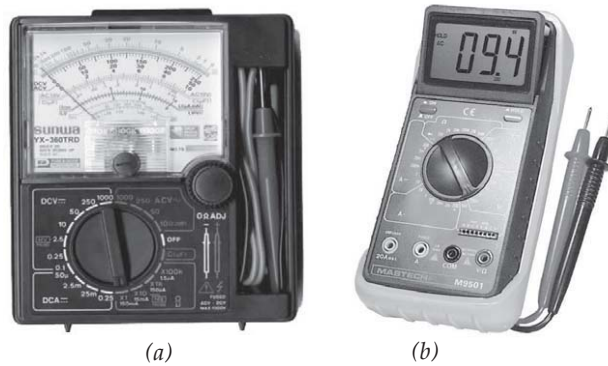
**Gambar 5.22.** Susunan wattmeter untuk mengukur daya yang dikeluarkan oleh suatu hambatan  $R$

$$\text{Daya listrik } P = \frac{W}{t} = \frac{VI t}{t} = VI \quad \dots (5.14)$$

Daya  $P$  dapat diperoleh dari hasil pembacaan tegangan listrik  $V$  dan arus listrik  $I$  secara bersamaan.

## 5. Multimeter

*Multimeter* adalah suatu alat yang berfungsi sebagai *amperemeter*, *voltmeter*, dan *ohmmeter*. Multimeter ada dua jenis yaitu analog dan digital, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.23**.



Sumber : [www.necfec.or.th](http://www.necfec.or.th).

**Gambar 5.23.** (a) Multimeter analog (b) multimeter digital.



### Wawasan Kewirausahaan : Etos Kerja

Diskusikan masalah berikut dengan teman-teman kalian dan hasilnya dilaporkan kepada guru kalian!

Carilah di suatu toko elektronik sebuah alat ukur tegangan yang harganya sekitar Rp 100.000,00 sedang alat ukur tegangan yang lain jauh lebih mahal yaitu kira-kira sepuluh kalinya (sekitar Rp 1.000.000,00). Tugas kamu, apa yang menyebabkan perbedaan harga tersebut dan banyak juga orang yang membeli dengan harga yang mahal?



## Ringkasan

1. Arus listrik adalah laju aliran muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang lintang.
2. Syarat-syarat arus listrik dapat mengalir dalam konduktor yaitu: Rangkaian harus tertutup dan harus ada beda potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik.
3. Kuat arus listrik:
 
$$I = \frac{\text{Jml muatan listrik yang mengalir}}{\text{selang waktu}}$$

$$I = \frac{q}{t}$$
4. Rapat arus ( $J$ ) adalah besar kuat arus listrik per satuan luas penampang. Satuan rapat arus dalam sistem SI adalah ampere/m<sup>2</sup> atau Am<sup>-2</sup> atau  $J = \frac{I}{A}$
5. Grafik kuat arus  $I$  sebagai fungsi beda potensial  $V$  nya tidak membentuk garis lurus, penghantarnya disebut komponen non-ohmik.
6. Grafik kuat arus  $I$  sebagai fungsi beda potensial  $V$  nya membentuk garis lurus, penghantarnya disebut komponen ohmik.
7. Kuat arus yang melalui suatu konduktor ohmik adalah sebanding (berbanding lurus) dengan beda potensial antara ujung-ujung konduktor asalkan suhu konduktor tetap.
8. Hukum Ohm :  $V = RI$
9. Hambatan listrik suatu kawat penghantar berbanding langsung dengan panjang kawat dan berbanding terbalik dengan luas penampang kawat penghantar tersebut, yaitu:  $R = \rho \frac{L}{A}$
10. Hukum I Kirchhoff: Jumlah kuat arus yang masuk ke suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik cabang yaitu:
 
$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$
11. Hambatan pengganti  $R_s$  dari sejumlah hambatan  $R_1, R_2, \dots, R_n$  yang dihubungkan secara seri tersebut adalah:
 
$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$
12. Hambatan pengganti  $R_p$  dari kedua hambatan  $R_1, R_2, \dots, R_n$  yang dihubungkan secara paralel tersebut adalah:
 
$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$
13. Hukum Kirchhoff II berbunyi: Di dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik ( $\epsilon$ ) dengan penurunan tegangan ( $IR$ ) sama dengan nol.
14. Secara matematis, hukum Kirchhoff II ditulis:  $\sum \epsilon + \sum (IR) = 0$
15. Energi listrik adalah besar muatan (dalam coulomb) dikalikan beda potensial yang dialaminya.

16. Energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W = QV = VI t = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t$$

17. Daya listrik adalah energi listrik yang dihasilkan atau diperlukan per satuan waktu atau:

Daya listrik  $P =$

$$\frac{\text{energi listrik yang dibebaskan (W)}}{\text{selang waktu (t)}}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VI t}{t} = VI$$

18. Satu watt (1 W) adalah besar daya ketika energi satu joule dibebaskan dalam selang waktu 1 sekon.
19. Idealnya, suatu *amperemeter* harus memiliki hambatan yang sangat kecil agar berkurangnya arus listrik dalam rangkaian juga sangat kecil.
20. Idealnya, suatu *voltmeter* harus memiliki hambatan yang sangat besar agar berkurangnya arus listrik yang melewati hambatan R juga sangat kecil.

21. *Amperemeter* adalah alat ukur arus listrik. *Amperemeter* harus dipasang seri dalam suatu rangkaian, arus listrik yang melewati hambatan R adalah sama dengan arus listrik yang melewati *amperemeter* tersebut.

22. *Voltmeter* adalah alat ukur beda potensial (tegangan) listrik. *Voltmeter* harus dipasang paralel dengan ujung-ujung hambatan yang akan diukur beda potensialnya.

23. *Ohmmeter* adalah alat ukur hambatan listrik.

24. *Wattmeter* adalah alat ukur daya listrik.

25. *Multimeter* adalah suatu alat yang berfungsi sebagai *amperemeter*, *voltmeter*, dan *ohmmeter*.



Kerjakan di buku tugas kalian!

**A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!**

- Dua buah elektron dengan  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C dan  $m = 9,1 \times 10^{-31}$  kg dilepas dari keadaan diam pada saat berjarak antara  $2 \times 10^{-14}$  m. Kecepatan elektron itu ketika keduanya berjarak antara  $5 \times 10^{-14}$  m adalah (dalam  $10^8$  m/s) ....  
**(UMPTN '96 Kode 24 Rayon C)**  
a. 0,02                      c. 0,3                      e. 1,38  
b. 0,2                        d. 0,50
- Sebuah bola lampu berukuran 30V, 90W. Jika hendak dipasang pada sumber tegangan 120V dengan daya tetap, maka lampu harus dirangkai seri dengan hambatan ....  
**(UMPTN '89 Rayon C No. 40)**  
a. 10 ohm                    c. 30 ohm                    e. 50 ohm  
b. 20 ohm                    d. 40 ohm
- Sebuah elektron yang mula-mula rehat, kemudian bergerak melalui beda potensial 1000 V, jika massa elektron  $9,11 \times 10^{-31}$  kg dan muatannya  $1,6 \times 10^{-19}$  C, maka energi kinetik akhirnya adalah (dalam joule) ....  
**(UMPTN '95 Kode 42 Rayon C)**  
a. 1000    d.  $-1,6 \times 10^{-31}$   
b.  $1,6 \times 10^{-16}$     e.  $14,6 \times 10^{-50}$   
c.  $5,7 \times 10^{-24}$
- Sebuah lampu listrik dengan spesifikasi 220 V, 50 W dihubungkan seri dengan sebuah hambatan listrik 1000 W, lalu dihubungkan dengan sumber tegangan listrik 110 V. Arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut adalah ....  
a. 56 mA                      c. 112 mA                      e. 548 mA  
b. 84 mA                      d. 224 mA
- Sebuah elektron yang mula-mula rehat, kemudian bergerak melalui beda potensial 1000 V. Jika massa elektron  $9,11 \times 10^{-31}$  kg dan muatannya  $1,6 \times 10^{-19}$  C, maka energi potensialnya adalah (dalam eV) ....  
**(UMPTN '95 Kode 62 Rayon B)**  
a.  $16,3 \times 10^4$     d.  $9,11 \times 10^2$   
b.  $3,3 \times 10^3$     e.  $6,12 \times 10^2$   
c. 1500





10. Sebuah galvanometer yang hambatannya 50 ohm, mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 20 mA. Jika sistem ini akan dipakai untuk mengukur tegangan listrik 10 V, maka harus dipasang ....
- hambatan muka sebesar 450 ohm
  - hambatan muka sebesar 500 ohm
  - hambatan cabang sebesar 450 ohm
  - hambatan cabang sebesar 500 ohm
  - hambatan muka dan cabang sebesar 450 ohm
11. Agar supaya sebuah bohlam listrik 25 Volt, 100 watt dapat bekerja dengan layak ketika dihubungkan dengan sumber DC 125 volt maka diperlukan tambahan hambatan listrik .... (UM-UGM 2003, Kode 322)
- 25 ohm secara seri
  - 25 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara seri
  - 20 ohm secara seri dan 25 ohm secara paralel
12. Sebuah bola lampu listrik dibuat 220 V/50 W, yang mana dari pernyataan-pernyataan berikut yang benar?
- dayanya selalu 50 watt
  - tegangan minimum diperlukan untuk menyalakan adalah 220 V
  - hambatannya 484 ohm
  - diperlukan aliran arus sebesar  $\frac{5}{22}$  ampere untuk menyalakannya
  - menghabiskan energi sebesar 50 joule dalam 1 detik bila dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V
13. Suatu galvanometer dengan hambatan dalam  $R_g$  ingin dijadikan voltmeter. Galvanometer tersebut menunjukkan skala penuh saat arus yang melaluinya sebesar  $I_g$ . Jika voltmeter yang dirancang diharapkan dapat menunjukkan skala penuh pada pengukuran tegangan sebesar  $V$ , maka hambatan depan yang harus dipasang secara seri dengan galvanometer tersebut harus berharga .... (SPMB 2004, Kode 550, Regional III)
- $\frac{(V + R_g I_g)}{I_g}$
  - $\frac{(V - R_g I_g)}{I_g}$
  - $(R_g I_g - V) I_g$
  - $\frac{V}{I_g - 2 R_g}$
  - $\frac{V}{I_g + R_g}$

14. Alat pemanas listrik memakai 5 A apabila dihubungkan dengan sumber 110 V. Hambatannya adalah .... (dalam ohm)
- a. 0,05  
b. 5  
c. 22  
d. 110  
e. 550
15. Susunan tiga buah hambatan yang besarnya sama menghasilkan hambatan 3  $\Omega$ . Jika susunannya diubah, maka dapat dihasilkan hambatan 1  $\Omega$ . Besar hambatan tersebut adalah .... (SPMB 2004, Kode 150, Regional I)
- a. 1  $\Omega$   
b. 2  $\Omega$   
c. 3  $\Omega$   
d. 4  $\Omega$   
e. 5  $\Omega$
16. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah hambatan listrik menghasilkan arus listrik 0,6 A. Jika pada rangkaian tersebut ditambahkan sebuah hambatan listrik 4 ohm dan dihubungkan secara seri dengan hambatan yang pertama maka arus akan turun menjadi 0,5 A maka gaya gerak listrik (ggl) baterai adalah ....
- a. 4 V  
b. 5 V  
c. 6 V  
d. 12 V  
e. 24 V
17. Dua buah beban listrik dengan hambatan yang sama, yaitu  $R$  ohm, dihubungkan dengan saluran listrik PLN dengan tegangan  $V$  volt, berturut-turut dirangkai paralel, sehingga dihasilkan daya  $P_1$ , kemudian dirangkai seri dengan daya  $P_2$ . Maka perbandingan daya  $P_1$  dan  $P_2$  adalah .... (UMPTN 2000, Kode 22, Rayon C)
- a. 1 : 1  
b. 1 : 2  
c. 2 : 1  
d. 1 : 4  
e. 4 : 1
18. Sebuah kawat konduktor mempunyai panjang  $L$ , diameternya  $D$ , hambatannya  $R$ . Jika diameternya diperkecil menjadi  $\frac{D}{2}$  tapi volumenya tetap, maka hambatan listriknya menjadi ....
- a. 0,25 R  
b. 0,5 R  
c. R  
d. 2 R  
e. 4 R

19. Sebuah amperemeter mempunyai hambatan 18 ohm dan berdaya ukur 10 mA. Agar daya ukur ampere meningkat menjadi 100 mA, harus dipasang hambatan ....  
(SPMB 2003, Kode 721, Regional 1)
- 0,8 ohm seri dengan amperemeter
  - 0,8 ohm paralel dengan amperemeter
  - 2,0 ohm seri dengan amperemeter
  - 2,0 ohm paralel dengan amperemeter
  - 8,0 ohm seri dengan amperemeter
20. Suatu amperemeter yang ideal, seharusnya mempunyai hambatan dalam yang besarnya ....
- tak terhingga
  - besar sekali
  - sembarang
  - kecil
  - nol

**B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan jelas!**

- Sebuah voltmeter dengan hambatan dalam 5 k $\Omega$  memberikan penunjukan maksimum 50 volt. Supaya alat ini mampu mengukur tegangan sampai 1 kV, berapakah nilai hambatan muka yang harus diserikan dengan voltmeter?
- Tentukan semua kombinasi yang mungkin diperoleh dari susunan 3 buah hambatan listrik yang masing-masing besarnya 4  $\Omega$ !
- Sebuah amperemeter dengan hambatan dalam 6  $\Omega$  mempunyai batas maksimum untuk mengukur arus listrik adalah 10 mA. Supaya alat ini mampu mengukur arus listrik sampai 100 mA, berapakah nilai hambatan yang harus dipasang paralel dengan amperemeter?
- Tiga buah hambatan listrik yang besarnya masing-masing 2  $\Omega$ , 4  $\Omega$ , dan 6  $\Omega$  disusun secara seri dan kemudian dihubungkan dengan sebuah baterai yang gaya gerak listrik (tegangan) nya 24 V. Hitunglah beda potensial antara ujung-ujung masing-masing hambatan tersebut!
- Sebuah aki mempunyai gaya gerak listrik 12 V dan hambatan dalam 0,1  $\Omega$ . Jika aki ini dialiri arus 10 A, maka hitunglah tegangan antarkedua terminalnya!

(UMPTN '94 Rayon B No. 34)



## Refleksi

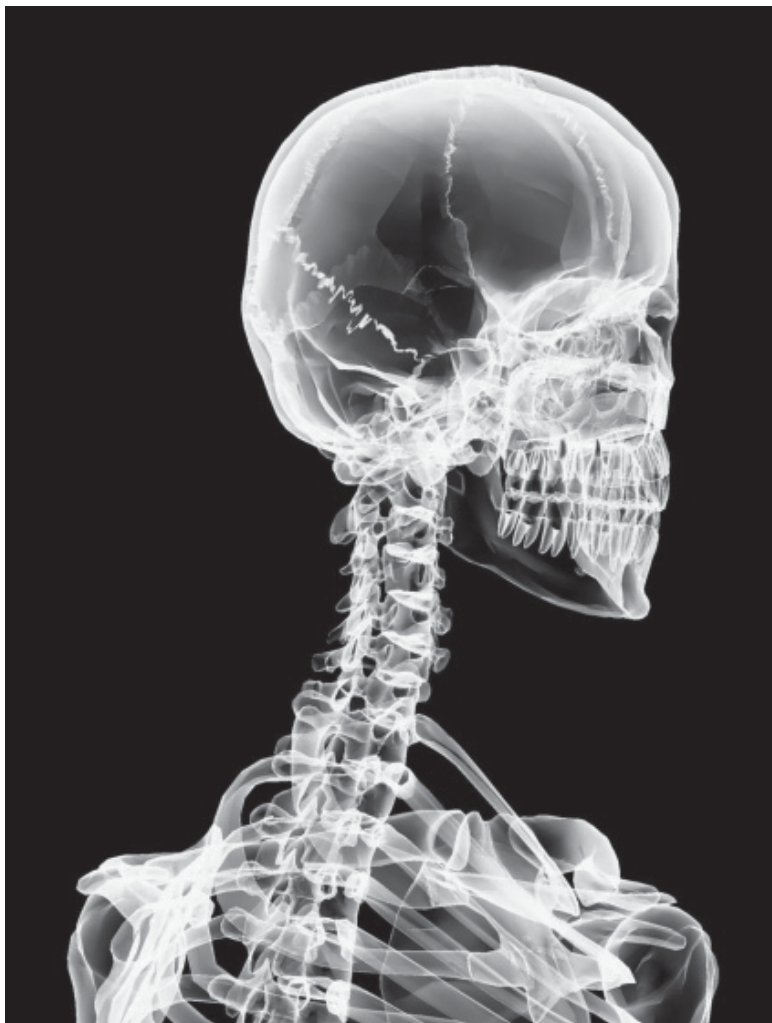
Setelah mempelajari bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

1. arus listrik;
2. hukum Ohm dan hambatan listrik;
3. hukum I Kirchhoff;
4. hukum II Kirchhoff;
5. hambatan pengganti untuk rangkaian seri dan paralel;
6. penerapan arus listrik DC dalam kehidupan sehari-hari;
7. penerapan arus listrik AC dalam kehidupan sehari-hari; dan
8. bagian-bagian alat-alat ukur listrik dan fungsinya serta prinsip kerja alat ukur tersebut;

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajailah kembali sebelum melanjutkan pada bab berikutnya.

## Bab VI

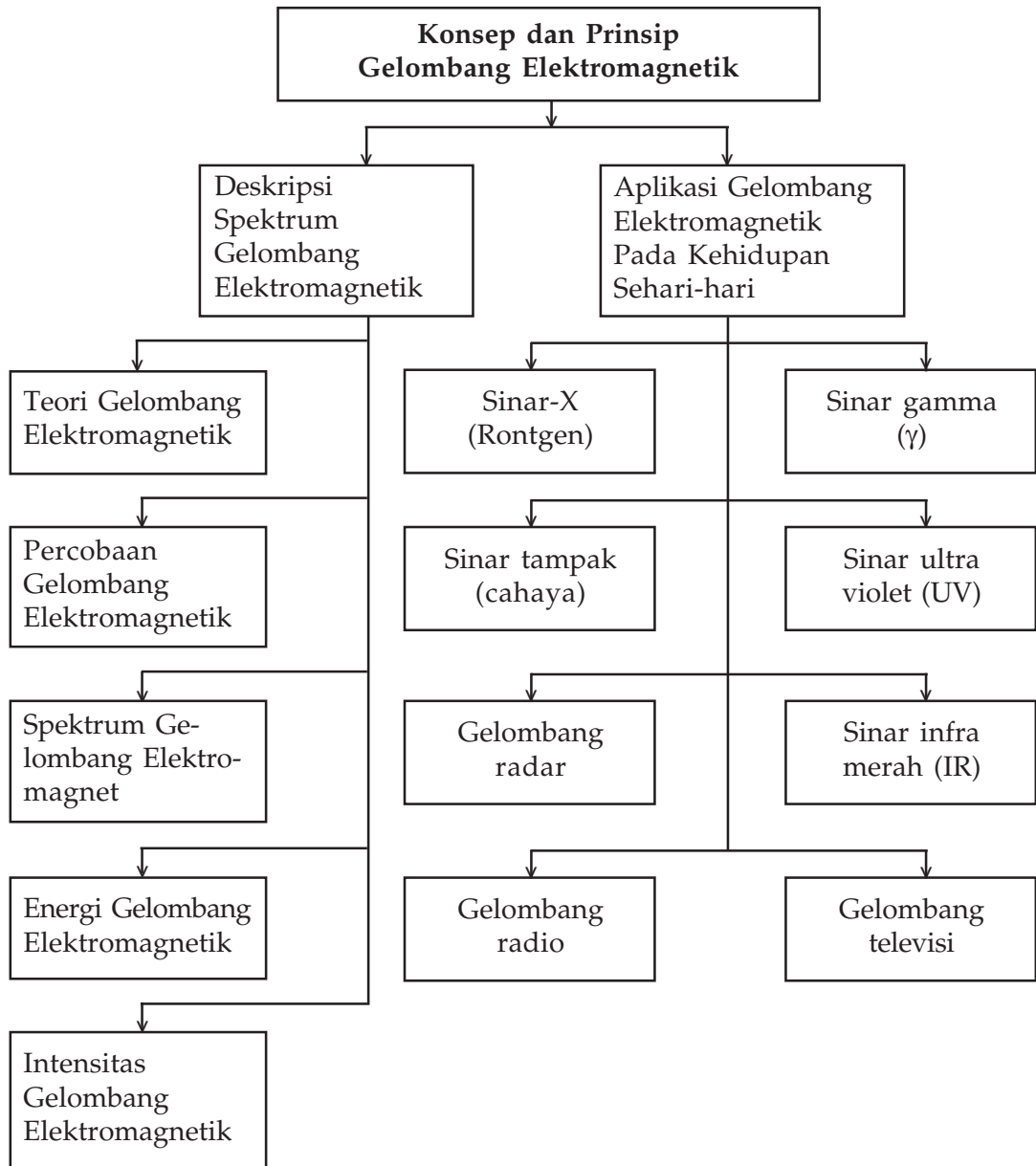
# Gelombang Elektromagnetik



Sumber : <http://www.fysioweb.nl>

Hasil foto sinar-X atau Rontgen memperlihatkan gambar thorak. Sinar- X salah satu dari gelombang elektromagnetik digunakan dalam bidang kedokteran untuk mengetahui penyakit yang ada di dalam tubuh manusia misal patah tulang

# Peta Konsep



## Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari bab ini, kalian diharapkan mampu:

1. mendeskripsikan spektrum gelombang elektromagnetik, dan
2. menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari.



## Motivasi Belajar

Dalam kehidupan sehari-hari kita telah memahami tentang gelombang yang terjadi pada tali, gelombang pada permukaan air, gelombang pada permukaan air laut maupun gelombang bunyi. Gelombang-gelombang ini disebut gelombang mekanik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang memerlukan suatu medium untuk merambat. Pada bab ini akan dibahas tentang suatu gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat, yaitu yang disebut gelombang elektromagnetik. Sinar X atau Rontgen merupakan salah satu contoh gelombang elektromagnetik. Tentu kalian sudah tahu penggunaan Rontgen dalam kedokteran. Nah, untuk memahami gelombang elektromagnetik pelajaryliah materi bab ini dengan saksama!



## Kata Kunci

amplitudo  
cahaya  
frekuensi  
intensitas

Ruhmkorf  
medan magnet  
medan listrik  
rapat energi

panjang gelombang  
permeabilitas  
permitivitas  
spektrum

## A. Deskripsi Spektrum Gelombang Elektromagnetik



Sumber : [www.wikipedia](http://www.wikipedia)

### Seputar Tokoh

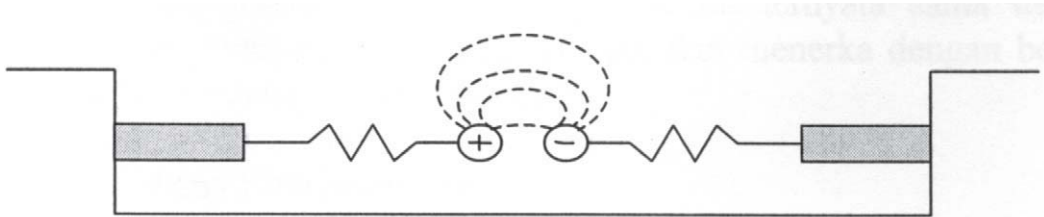
Pada sekitar tahun 1860, **James Clark Maxwell** (1831-1878), seorang fisikawan dari Scotlandia berhasil menemukan kaitan antara masalah tentang listrik dan magnetisme. Kaitan yang pertama adalah muatan listrik yang mengalir (arus listrik) dapat menghasilkan medan magnet di sekitar kawat berarus tersebut, seperti dijelaskan dalam Hukum Biot-Savart atau hukum Ampere. Kaitan yang kedua adalah perubahan medan magnet yang dapat menghasilkan gaya gerak listrik terinduksi, seperti dijelaskan dalam Hukum Faraday.

### 1. Teori Gelombang Elektromagnetik

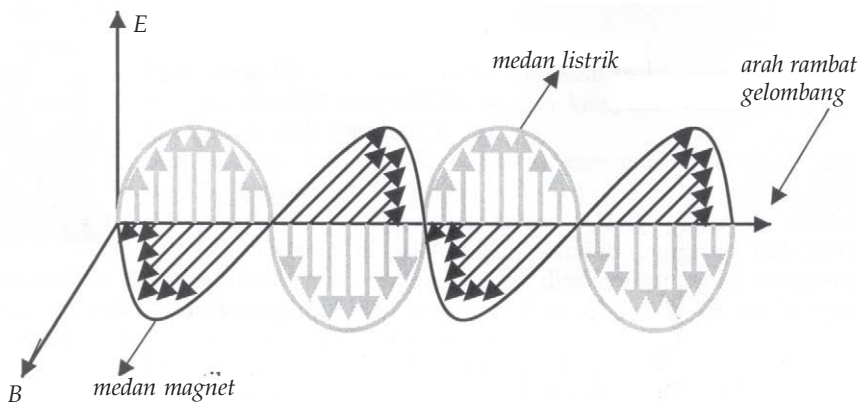
**Faraday** menemukan bahwa perubahan medan magnet dapat menghasilkan gaya gerak listrik terinduksi atau medan listrik. Maxwell berpendapat bahwa perubahan medan listrik akan menimbulkan medan magnet. Perubahan medan magnet



dijelaskan pada **Gambar 6.1**. Perubahan magnet listrik dan medan magnet ditimbulkan dengan cara dua bola isolator bermuatan positif dan negatif digetarkan sehingga jaraknya berubah-ubah sesuai dengan frekuensi getaran tersebut. Perubahan medan magnet tersebut juga menimbulkan medan listrik. Timbulnya medan listrik ini ditandai dengan dipancarkannya gelombang elektromagnetik. Pada **Gambar 6.2** ditunjukkan perubahan medan listrik dan medan magnet yang menimbulkan adanya gelombang elektromagnetik.



**Gambar 6.1** Perubahan medan magnet yang dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik. (Bob Foster, 2003).



**Gambar 6.2** Perambatan gelombang elektromagnetik yang tegak lurus arah medan listrik dan magnet.

Pada **Gambar 6.2** dijelaskan bahwa arah medan magnet selalu saling tegak lurus terhadap arah medan listrik, sedang arah rambat gelombang elektromagnetik selalu tegak lurus baik terhadap medan listrik maupun terhadap medan magnet sehingga gelombang elektromagnetik ini termasuk gelombang transversal. Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik ini ditentukan oleh mediumnya yaitu:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \dots (6.1)$$

dengan:

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa,

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa,

$c$  = laju perambatan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa.

Sebagai contoh perhitungan kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik ini diperoleh dengan memasukkan nilai  $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$  Wb/Am (tetapan yang sering muncul pada hukum Gauss) dan nilai  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  C/Nm<sup>2</sup> (tetapan yang sering muncul pada hukum Biot-Savart dan hukum Ampere) ke persamaan (6.1) sehingga diperoleh nilai:

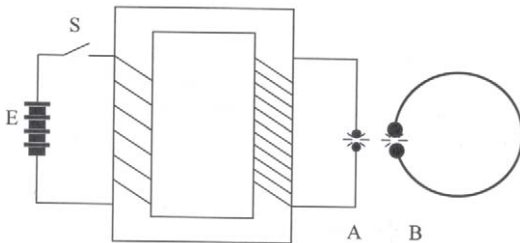
$c = 2,998 \times 10^8$  m/s atau sering didekati dengan  $3 \times 10^8$  m/s.

Nilai kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik ini ternyata sama dengan nilai kecepatan perambatan cahaya dalam ruang hampa, dan menerka dengan benar bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik.

## 2. Percobaan Gelombang Elektromagnetik

Sampai akhir hayatnya ternyata Maxwell belum bisa membuktikan hipotesa tentang teori gelombang elektromagnetiknya.

Pada tahun 1887, **Heinrich Hertz** ilmuwan fisika yang pertama kali menguji hipotesa Maxwell ini dengan kumparan Ruhmkorf seperti ditunjukkan pada **Gambar 6.3**.



**Gambar 6.3** Kumparan Ruhmkorf untuk membangkitkan dan mendeteksi gelombang elektromagnetik (Bob Foster, 2003)

Jika sakelar S digetarkan maka kumparan Ruhmkorf akan menginduksikan pulsa tegangan pada kedua elektrode bola di sisi A sehingga terjadi percikan api karena adanya pelepasan muatan. Percikan bunga api di sisi A diikuti percikan bunga api pada kedua elektrode bola di sisi B. Berdasarkan

pengamatan ini, disimpulkan terjadi pengiriman tenaga gelombang elektro-magnetik dari sisi A (loop pengirim) ke sisi B (loop penerima).

Dalam percobaan-percobaan selanjutnya, Hertz berhasil mengukur bagian gelombang elektromagnetik yang lain, seperti gelombang elektromagnetik frekuensi radio dengan

## Seputar Tokoh



**Hertz (1857 - 1894)**

*Heinrich Rudolf Hertz adalah penemu gelombang radio, yang sekaligus mendemonstrasikan gelombang radio dan menentukan kelajuannya.*

*(www.wikipedia)*

nilai frekuensi 100 MHz. Dengan nilai kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik ini seperti yang diramalkan oleh Maxwell. Sifat-sifat cahaya seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi dan polarisasi telah dibuktikan oleh Hertz terjadi juga pada gelombang elektromagnetik. Untuk menghargai jasa-jasa Hertz maka nama **Hertz** dipakai sebagai satuan frekuensi dalam sistem SI.

Berdasarkan pada uraian di atas, dapat disimpulkan beberapa sifat gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut:

- Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi pada saat yang bersamaan.
- Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus.
- Kuat medan listrik dan magnet besarnya berbanding lurus satu dengan yang lain, yaitu menurut hubungan  $E = c.B$ .
- Arah perambatan gelombang elektromagnetik selalu tegak lurus arah medan listrik dan medan magnet.
- Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa.
- Gelombang elektromagnetik merambat dengan laju yang hanya bergantung pada sifat-sifat listrik dan magnet medium.
- Laju rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa merupakan tetapan umum dan nilainya  $c = 3 \times 10^8$  m/s.
- Gelombang elektromagnetik adalah berupa gelombang transversal.
- Gelombang elektromagnetik dapat mengalami proses pemantulan, pembiasan, polarisasi, interferensi, dan difraksi (lenturan).
- Gelombang elektromagnetik merambat dalam arah garis lurus.
- Gelombang elektromagnetik tidak disimpangkan oleh medan listrik maupun medan magnet karena tidak bermuatan listrik.

### 3. Spektrum Gelombang Elektromagnet

Gelombang elektromagnet terdiri atas bermacam-macam gelombang yang frekuensi dan panjang gelombangnya berbeda, tetapi semua gelombang-gelombang penyusun ini mempunyai kecepatan rambat yang sama yaitu:

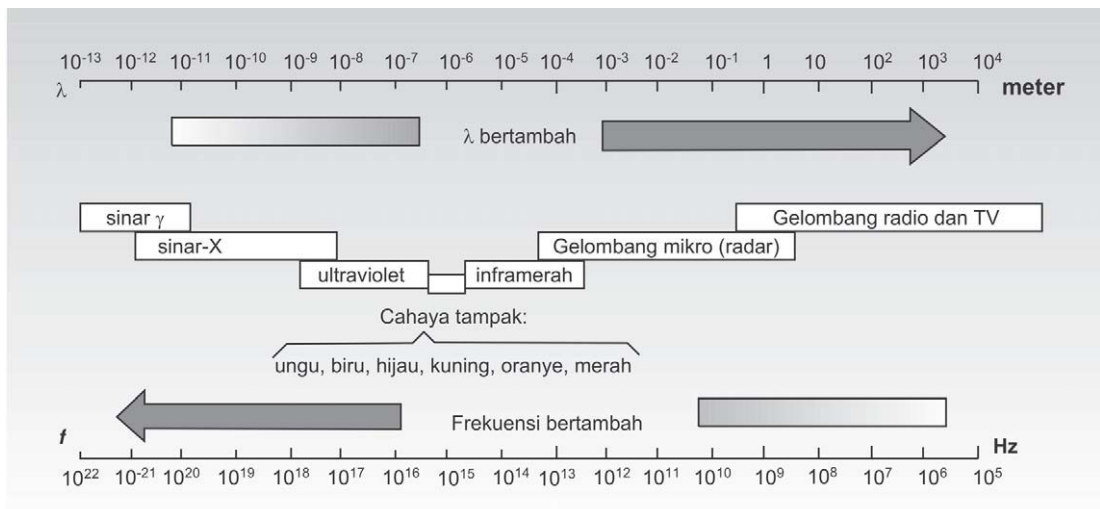
$c = 3 \times 10^8$  m/s. Hubungan antara frekuensi gelombang  $f$  atau  $\nu$ , panjang gelombang  $\lambda$  dan kecepatan perambatan  $c$  adalah sebagai berikut:

$$c = f\lambda \quad \dots (6.2)$$

Spektrum gelombang elektromagnetik diurutkan mulai panjang gelombang paling pendek sampai paling panjang adalah sebagai berikut:

- Sinar gamma ( $\gamma$ )
- Sinar (rontgen)
- Sinar ultra violet (UV)
- Sinar tampak (cahaya tampak)
- Sinar infra merah (IR)
- Gelombang radar (gelombang mikro)
- Gelombang televisi
- Gelombang radio

Spektrum gelombang elektromagnetik ditunjukkan pada **Gambar 6.4** berikut.



**Gambar 6.4** Spektrum gelombang elektromagnetik (Bob Foster, 2003)

## 4. Energi Gelombang Elektromagnetik

Kalau kita berada di tepi pantai, kita melihat ombak air laut menghantam karang di pantai dan mendengar deburan ombak. Kita mengetahui bagaimana bencana alam, tsunami (gelombang air laut) merobohkan bangunan-bangunan yang diterjangnya. Kita kena cahaya matahari, kita merasakan kepanasan artinya kita menerima energi panas. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang laut membawa energi. Bagaimana halnya dengan gelombang elektromagnetik ini?

Gelombang elektromagnetik ini juga membawa energi yaitu dalam bentuk medan listrik dan medan magnet, seperti ditunjukkan pada **Gambar 6.2**. Kita tinjau suatu gelombang elektromagnetik yang menjalar ke arah sumbu  $x$  maka medan listrik dan medan magnet sesaatnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E = E_m \sin (kx - \omega t) \quad \dots (6.3)$$

$$B = B_m \sin (kx - \omega t) \quad \dots (6.4)$$

dengan:

$E_m$  = amplitudo medan listrik,

$B_m$  = amplitudo medan magnet,

$k$  = tetapan angka gelombang,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\omega$  = frekuensi sudut,  $\omega = 2\pi f$

Maxwell berhasil menemukan hubungan antara amplitudo medan listrik dan amplitudo medan magnet yaitu:

$$\frac{E_m}{B_m} = -\frac{E}{B} = -c \quad \dots (6.5)$$

dengan:

$c$  = laju perambatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa. ( $c = 3 \times 10^8$  m/s).

Perbandingan antara amplitudo medan listrik dengan amplitudo medan magnetik dari suatu gelombang elektromagnetik selalu sama dengan laju perambatan cahaya dalam ruang hampa.



## Contoh Soal

Gelombang elektromagnetik mempunyai amplitudo medan  $E = 500 \text{ V/m}$ . Berapa amplitudo medan magnetiknya?

**Penyelesaian:**

Amplitudo medan magnetik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (6.5) yaitu:

$$B_m = -\frac{E_m}{c} = -\frac{500}{3 \times 10^8} = -1,67 \times 10^{-6}$$

Suatu gelombang elektromagnetik mempunyai medan listrik dan medan magnet, sehingga gelombang elektromagnetik ini juga membawa tenaga atau rapat energi (besar energi per satuan volume). Rapat energi listrik dinyatakan sebagai berikut:

$$u_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad \dots (6.6)$$

dengan:

$u_e$  = rapat energi listrik ( $\text{J/m}^3$  atau  $\text{Jm}^{-3}$ );

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik =  $8,85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$ ; dan

$E$  = kuat medan listrik ( $\text{N/C}$  atau  $\text{NC}^{-1}$ ).

Rapat energi magnet per satuan volume,  $u_m$  dinyatakan sebagai berikut:

$$u_m = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad \dots (6.7)$$

dengan:

$u_m$  = rapat energi magnet ( $\text{J/m}^3$  atau  $\text{Jm}^{-3}$ ),

$\mu_0$  = permeabilitas magnet =  $4 \times 10^{-7} \text{Wb A}^{-1} \text{m}^{-1}$ , dan

$B$  = besar induksi magnet ( $\text{Wb/m}^2 = \text{T}$ ).

## 5. Intensitas Gelombang Elektromagnet

Intensitas gelombang elektromagnetik biasanya dinyatakan dalam laju energi (daya) per satuan luas permukaan yang tegak lurus arah rambat gelombang elektromagnetik. Laju energi (daya) per satuan luas permukaan yang tegak lurus arah rambat gelombang elektromagnetik dinyatakan dengan suatu vektor yang disebut vektor Poynting. Vektor Poynting dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho_s = \frac{1}{\mu_0} \rho_E \times \rho_B \quad \dots (6.8)$$

Arah vektor  $\rho_s$  adalah searah dengan arah rambat gelombang elektromagnetik. Satuan  $\rho_s$  dalam sistem SI dinyatakan dalam  $W/m^2$ .

Laju energi rata-rata dapat diperoleh dengan memasukkan persamaan (6.3) dan (6.4) ke persamaan (6.8), sehingga diperoleh:

$$S = \frac{EB}{\mu_0} = \frac{E_m B_m \sin^2(kx - vt)}{\mu_0} \quad \dots (6.9)$$

Jika fungsi kuadrat sinus dirata-ratakan terhadap ruang dan waktu akan diperoleh faktor  $\frac{1}{2}$ . Laju energi rata-rata adalah:

$$S = \frac{E_m B_m}{2\mu_0} \quad \dots (6.10)$$



### Contoh Soal

Suatu berkas cahaya laser He - Ne mempunyai frekuensi  $4,7 \times 10^{14}$  Hz (warna merah). Hitunglah panjang gelombang cahaya laser tersebut.

**Penyelesaian:**

Hubungan panjang gelombang dengan frekuensi ditunjukkan pada persamaan (6.2): yaitu:  $c = f\lambda$  atau dapat dituliskan  $\lambda = \frac{c}{f}$ , dengan  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

Untuk cahaya merah:  $f_1 = 4,7 \times 10^{14}$  Hz sehingga:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4,7 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 6,32 \times 10^{-7} \text{ m} = 632 \text{ nm}$$

Jadi panjang gelombang berkas laser He-Ne adalah 632 nm.



### Contoh Soal

Seseorang mengukur kedalaman laut dengan cara mengirimkan gelombang mikro sampai ke dasar laut dan kemudian mengamati pantulan gelombang mikro tersebut. Jika gelombang mikro yang dipantulkan terdeteksi dalam waktu  $6 \mu\text{s}$ , maka hitunglah kedalaman laut tersebut!

**Penyelesaian:**

Laju rambat gelombang mikro adalah tetap, sehingga jarak yang ditempuh  $s = c\Delta t$ , dengan  $\Delta t$  waktu perambatan gelombang. Jarak yang ditempuh:  $s = 2 \times$  kedalaman laut ( $h$ ), sehingga kedalaman laut:

$$h = \frac{c \times \Delta t}{2} = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m/s}) \times (6 \times 10^{-6})}{2} = 900 \text{ m}$$



### Inovatif : Wawasan Kewirausahaan

*Diskusikan dengan teman kalian dan laporkan secara tertulis kepada guru kalian!*

Jika kita mempunyai sumber cahaya yang intensitasnya sangat tinggi (LASER), maka pikirkan dan buatlah suatu metode yang digunakan untuk mengukur jarak antara bumi dan bulan.





## Keingintahuan

Pikirkan dan buatlah suatu metode percobaan untuk membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik dapat merambat tanpa medium sedangkan bunyi tidak dapat merambat tanpa medium.

## B. Aplikasi Gelombang Elektromagnetik pada Kehidupan Sehari-hari

Berdasarkan kenyataan bahwa gelombang elektromagnetik terdiri atas banyak jenis sinar gamma ( $\gamma$ ), sinar (Rontgen), sinar ultraviolet, sinar tampak, sinar infra merah, gelombang radar, gelombang televisi dan gelombang radio. Pada bagian ini akan dibahas tentang aplikasi gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.

### 1. Sinar Gamma ( $\gamma$ )



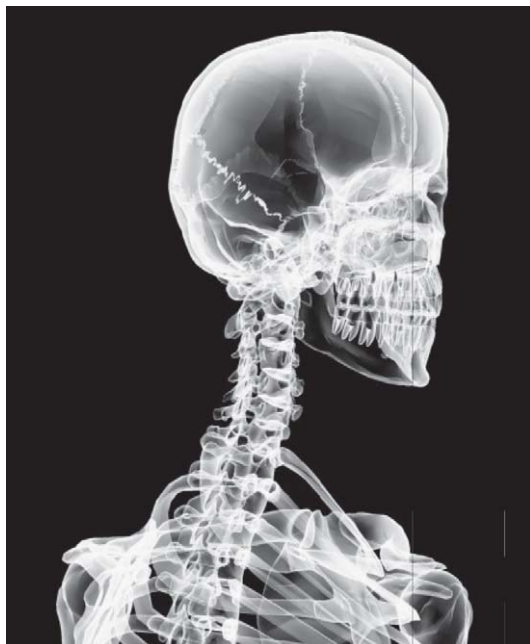
Sumber : <http://www.alexian/camer.com>

**Gambar 6.5** Penggunaan sinar gamma untuk pengobatan pasien

Sinar gamma termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara  $10^{20}$  Hz –  $10^{25}$  Hz. Sinar gamma merupakan hasil reaksi yang terjadi dalam inti atom yang tidak stabil. Sinar gamma mempunyai daya tembus yang paling kuat dibanding gelombang-gelombang yang masuk dalam kelompok gelombang elektromagnetik. Sinar gamma dapat menembus pelat besi yang tebalnya beberapa cm. Penyerap yang baik untuk sinar gamma adalah timbal.

Aplikasi sinar gamma dalam bidang kesehatan adalah untuk mengobati pasien yang menderita penyakit kanker atau tumor. Sumber radiasi yang sering digunakan pada pengobatan penyakit-penyakit ini adalah Cobalt-60 atau sering ditulis Co-60. Salah satu alat untuk mendeteksi sinar gamma adalah *detektor Geiger - Muller*. Ada jenis detektor sinar gamma yang lain yaitu detektor *sintilasi NaI-Tl*. Salah satu contoh penggunaan sinar gamma untuk pengobatan pasien ditunjukkan pada **Gambar 6.5**.

## 2. Sinar-X (Rontgen)



Sumber : <http://www.fysiowek.nl>

**Gambar 6.6** Penggunaan sinar-X untuk pengobatan pasien, foto tengkorak dengan sinar rontgen

Sinar-X ditemukan oleh **Wilhem Conrad Rontgen** pada tahun 1895 sehingga sering disebut sebagai sinar Rontgen. Sinar-X termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara  $10^{16}$  Hz -  $10^{20}$  Hz. Sinar-X merupakan hasil transisi elektron-elektron di kulit bagian dalam, transisi terjadi dalam atom. Sinar-X mempunyai daya tembus terbesar kedua sesudah sinar gamma. Sinar-X dapat menembus daging manusia. Sinar sering digunakan dalam bidang kesehatan untuk mengecek pasien yang mengalami patah tulang. Pasien yang mengalami patah tulang diambil fotonya dengan sinar-X. Sinar-X juga digunakan di bandara pada pengecekan barang-barang penumpang di pesawat. Di pelabuhan digunakan untuk mengecek barang-barang (peti kemas) yang akan dikirim dengan kapal laut. Salah satu contoh penggunaan sinar-X untuk pengobatan pasien ditunjukkan pada **Gambar 6.6**.

## 3. Sinar Ultraviolet (UV)

Sinar ultraviolet termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara  $10^{15}$  Hz -  $10^{16}$  Hz. Sinar ultraviolet ini merupakan hasil transisi elektron-elektron pada kulit atom atau molekul. Sinar ultraviolet tidak tampak dilihat oleh mata telanjang tetapi sinar ini dapat dideteksi dengan menggunakan pelat-pelat film tertentu yang peka terhadap gelombang ultraviolet. Matahari merupakan sumber radiasi ultraviolet yang alami. Sinar ultraviolet yang dihasilkan oleh matahari tidak baik pada kesehatan khususnya kulit jika mengenai manusia. Manusia terlindungi dari sinar ultraviolet dari matahari karena adanya lapisan ozon di atmosfer yang berfungsi menyerap sinar ultraviolet ini. Aplikasi sinar ultraviolet ini banyak dipakai di laboratorium pada penelitian bidang spektroskopi, salah contohnya untuk mengetahui unsur-unsur yang ada dalam bahan-bahan tertentu.

## 4. Sinar Tampak (Cahaya)

Sinar tampak sering juga disebut sebagai *cahaya*. Sinar tampak termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara  $4,3 \times 10^{14}$  Hz -  $7 \times 10^{14}$  Hz. Sinar ultraviolet ini merupakan hasil transisi elektron-elektron pada kulit atom atau molekul. Matahari merupakan sumber cahaya tampak yang alami. Sinar tampak ini terdiri dari berbagai warna, dari warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu. Kita semua bisa melihat warna benda karena benda memantulkan warna-warna ini dan masuk kembali ke mata kita. Banyak sekali aplikasi dari cahaya pada kehidupan kita, antara lain dengan cahaya kita bisa melihat indahnya pemandangan, kita dapat memotret sehingga gambarnya menjadi berwarna seperti aslinya, kita dapat melihat televisi berwarna, dan sebagainya. Seperti juga sinar ultraviolet, sinar tampak banyak dipakai juga dalam bidang spektroskopi untuk mengetahui unsur-unsur yang ada dalam bahan.

## 5. Sinar Inframerah (IR)

Sinar inframerah ini merupakan hasil transisi vibrasi atau rotasi pada molekul. Sinar inframerah termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi di bawah  $4,3 \times 10^{14}$  Hz sampai sekitar 3 GHz. Sinar inframerah tidak tampak dilihat oleh mata telanjang tetapi sinar infra merah dapat dideteksi dengan menggunakan pelat-pelat film tertentu yang peka terhadap gelombang inframerah. Pesawat udara yang terbang tinggi ataupun satelit-satelit dapat membuat potret-potret permukaan bumi, dengan mempergunakan gelombang inframerah. Seperti juga sinar ultraviolet dan sinar tampak, sinar inframerah banyak dipakai juga dalam bidang spektroskopi untuk mengetahui unsur-unsur yang ada dalam bahan.

## 6. Gelombang Radar (Gelombang Mikro)

Gelombang mikro (microwave) mempunyai frekuensi 3 GHz. Gelombang mikro ini dapat digunakan untuk alat komunikasi, memasak, dan radar. *Radar* adalah singkatan dari *Radio Detection and Ranging*. Antena radar dapat bertindak sebagai pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik.

Di pangkalan udara, antena pemancar radar dapat berputar ke segala arah untuk mendeteksi adanya pesawat terbang yang menuju atau meninggalkan pangkalan udara. Dalam bidang transportasi, gelombang radar dipakai untuk membantu kelancaran lalu lintas pesawat di pangkalan udara atau bandara. Gelombang radar digunakan juga pada bidang pertahanan yaitu untuk melengkapi pesawat tempur sehingga bisa mengetahui keberadaan pesawat musuh.

## 7. Gelombang Televisi

Gelombang televisi mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dari gelombang radio. Gelombang televisi ini merambat lurus, tidak dapat dipantulkan oleh lapisan-lapisan atmosfer bumi. Gelombang televisi banyak dipakai dalam bidang komunikasi dan siaran. Pada proses penangkapan siaran televisi sering diperlukan stasiun penghubung (*relay*) agar penangkapan gambar dan suara lebih baik. Untuk televisi stasiun Jakarta, maka di wilayah Bandung diperlukan sebuah stasiun penghubung yang terletak di puncak gunung Tangkuban Perahu.



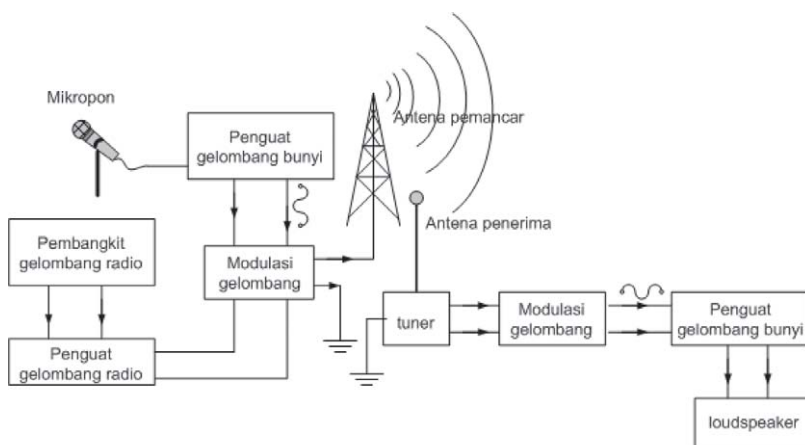
Sumber : <http://www.zen 7094.ze>

**Gambar 6.7.** Sebuah antena pemancar televisi

Penayangan siaran televisi untuk daerah yang lebih jauh lagi, misalnya untuk Indonesia bagian timur agar kualitas gambar dan suara bagus diperlukan sebuah satelit sebagai stasiun penghubung. Kita harus menyewa sebuah satelit yang bertindak sebagai stasiun penghubung, jika kita ingin melihat siaran langsung dari luar negeri, seperti pertandingan sepak bola, tinju, dan sebagainya.

## 8. Gelombang Radio

Gelombang radio ini dipancarkan dari antena pemancar dan diterima oleh antena penerima. Luas daerah yang dicakup dan panjang gelombang yang dihasilkan dapat ditentukan dengan tinggi rendahnya antena. Gelombang radio tidak dapat secara langsung didengar, tetapi energi gelombang ini harus diubah menjadi energi bunyi oleh pesawat radio sebagai penerima. Penggunaan gelombang radio untuk komunikasi ditunjukkan pada **Gambar 6.8**.



**Gambar 6.8.** Penggunaan gelombang radio untuk komunikasi

Di samping hal ini, gelombang radio sering digunakan untuk komunikasi yaitu penggunaan pesawat telepon, telepon genggam (*hand phone*), dan sebagainya.



### Life Skills : Kecakapan Akademik

*Diskusikan dengan teman kalian dan laporkan secara tertulis kepada guru kalian!*

Kita sering menggunakan telpon genggam (HP) untuk menghubungi teman, mengirim SMS, dan sebagainya. Coba buatlah skema penjalaran gelombang dimulai dari telpon genggam kita sampai ke telpon genggam teman kalian.



### Keingintahuan

Saat ini dalam proses pemesanan barang, pengiriman arsip sering digunakan mesin *faximile*. Jelaskan secara ringkas cara kerja mesin *faximile*. Diskusikan dengan teman kalian dan laporkan hasilnya kepada guru kalian!



## Ringkasan

- Perubahan medan listrik dan medan magnet menimbulkan gelombang elektromagnetik.
- Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik yaitu:
 
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$
- Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi pada saat yang bersamaan.
- Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus.
- Arah perambatan gelombang elektromagnetik selalu tegak lurus arah medan listrik dan medan magnet.
- Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa.
- Gelombang elektromagnetik merambat dengan laju yang hanya bergantung pada sifat-sifat listrik dan magnet medium.
- Laju rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa memerlukan tetapan umum dan nilainya:
 
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s.}$$
- Gelombang elektromagnetik berupa gelombang transversal.
- Gelombang elektromagnetik dapat mengalami proses pemantulan, pembiasan, polarisasi, interferensi, dan difraksi (lenturan).
- Gelombang elektromagnetik merambat dalam arah garis lurus.
- Gelombang elektromagnetik tidak disimpangkan oleh medan listrik maupun medan magnet karena tidak bermuatan listrik.
- Kuat medan listrik dan medan magnet besarnya berbanding lurus satu dengan yang lain, yaitu menurut hubungan  $E = cB$ .
- Hubungan antara frekuensi gelombang  $f$  atau  $\nu$ , panjang gelombang  $\lambda$  dan kecepatan perambatan  $c$  adalah sebagai berikut  $c = f\lambda$ .
- Urutan spektrum gelombang elektromagnetik diurutkan mulai panjang gelombang paling pendek sampai paling panjang adalah sebagai berikut: sinar gamma ( $\gamma$ ), sinar (rontgen), sinar ultraviolet (UV), sinar tampak (cahaya tampak), sinar inframerah (IR), gelombang radar (gelombang mikro), gelombang televisi dan gelombang radio.
- Intensitas gelombang elektromagnetik dinyatakan dalam laju energi (daya) persatuan luas permukaan yang tegak lurus arah rambat gelombang elektromagnetik.
- Laju energi (daya) per satuan luas permukaan dinyatakan dengan suatu vektor yang disebut vektor Poynting.
- Vektor Poynting dinyatakan sebagai berikut:
 
$$\rho_s = \frac{1}{\mu_0} \rho_E \times \rho_B$$
- Arah vektor  $\rho_s$  adalah searah dengan arah rambat gelombang elektromagnetik.
- Satuan  $\rho_s$  dalam sistem SI dinyatakan dalam  $W/m^2$ .
- Lajur energi rata-rata adalah:
 
$$S = \frac{E_m B_m}{2\mu_0}$$



Kerjakan di buku tugas kalian!

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

1. Gelombang elektromagnetik tidak dipengaruhi oleh medan magnet maupun medan listrik. Hal ini karena gelombang elektromagnetik ....
  - a. memiliki kecepatan tinggi
  - b. tidak bermassa
  - c. tidak bermuatan listrik
  - d. tidak bermassa dan tidak bermuatan listrik
  - e. memiliki frekuensi tinggi
2. Suatu perubahan medan listrik menghasilkan ....
  - a. suatu gelombang magnetik
  - b. gelombang bunyi
  - c. gelombang mekanik
  - d. gelombang elektromagnetik
  - e. tidak ada yang istimewa
3. Sifat-sifat gelombang elektromagnetik antara lain:
  - (1) dapat merambat dalam ruang hampa
  - (2) kelajuannya ke segala arah adalah sama
  - (3) merupakan gelombang transversal
  - (4) kelajuannya sama dengan kelajuan cahayaYang benar adalah pernyataan ... (**Ebtanas tahun 1998**)
  - a. (1), (2), (3)
  - b. (1), (2), (3), (4)
  - c. (1), (3), (4)
  - d. (2), (3), (4)
  - e. (2), (4)
4. Yang termasuk gelombang elektromagnetik adalah ... (**Ebtanas tahun 1986**)
  - a. dapat didifraksikan tetapi tidak dapat dipolarisasikan
  - b. dapat dipolarisasikan tetapi tidak dapat berinterferensi
  - c. dapat berinterferensi dan difraksi
  - d. dapat dibelokkan dalam medan listrik maupun medan magnet
  - e. memerlukan medium untuk perambatannya

5. Gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang terpanjang adalah ....
  - a. sinar gamma
  - b. sinar -X
  - c. sinar inframerah
  - d. sinar ultra ungu
  - e. gelombang radio
  
6. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik yang benar untuk variasi frekuensi besar ke frekuensi kecil adalah ....
  - a. cahaya biru, cahaya hijau, sinar inframerah, gelombang radar
  - b. cahaya hijau, cahaya biru, sinar -X, sinar gamma
  - c. sinar inframerah, sinar ultraviolet, cahaya hijau, cahaya biru
  - d. gelombang radar, cahaya hijau, cahaya biru, gelombang radio
  - e. sinar -X, sinar gamma, cahaya biru, cahaya hijau
  
7. Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik tergantung dari ....
  - a. frekuensi gelombang
  - b. panjang gelombang
  - c. frekuensi dan panjang gelombang
  - d. permitivitas dan permeabilitas medium
  - e. nilainya selalu tetap
  
8. Maxwell menghitung bahwa laju cahaya dalam vakum dihasilkan oleh persamaan  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ . Satuan  $c$  adalah m/s dan satuan  $\epsilon_0$  adalah  $C^2/(Nm^2)$ , maka satuan  $\mu_0$  adalah ....
  - a.  $N \cdot 1A^2$
  - b.  $NA^{-2}$
  - c.  $NA^2$
  - d.  $Wbm^{-2}A$
  - e.  $T A/m$
  
9. Persamaan gelombang elektromagnetik yang menyatakan hubungan  $E$ ,  $B$ , dan  $c$  secara benar adalah ....
 

a. $B = m_0 e_0 Ec$	d. $c = \sqrt{EB}$
b. $E = cB$	e. $c = \sqrt{\frac{1}{EB}}$
c. $c = EB$	



10. Daya rata-rata radiasi gelombang elektromagnetik pada suatu titik berjarak 0,5 m adalah 400 watt, maka kuat medan listrik maksimumnya adalah ...
- 210 V/m
  - 310 V/m
  - 410 V/m
  - 510 V/m
  - 610 V/m

**B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan jelas!**

1. Tentukan rentang panjang gelombang (dalam vakum) untuk cahaya tampak yang memiliki tentang frekuensi antara  $4 \times 10^{14}$  Hz (cahaya merah) dan  $7,9 \times 10^{14}$  Hz (cahaya ungu). Nyatakan jawabanmu dalam nanometer!
2. Berkas sinar X yang dihasilkan dalam suatu mesin sinar X memiliki panjang gelombang 2,1 nm. Berapa frekuensi sinar X ini?
3. Kedalaman laut diukur dengan mengirim gelombang mikro sampai ke dasar laut. Ternyata pulsa pantul muncul setelah 8  $\mu$ s. Tentukan kedalaman laut tersebut.
4. Medan listrik maksimum suatu gelombang elektromagnet di suatu tempat adalah 200 N/C. Cepat rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa  $3 \times 10^8$  m/s dan permitivitas listrik untuk ruang hampa  $8,85 \times 10^{-12}$  C/Nm<sup>2</sup>. Hitung laju energi rata-rata tiap satuan luas gelombang elektromagnetik!
5. Suatu gelombang elektromagnetik dalam vakum memiliki amplitude medan listrik 210 V/m. Hitung amplitude medan magnetiknya!
6. Suatu sistem radar mengirim pulsa-pulsa gelombang radio dengan panjang gelombang sangat pendek. Berapa mikrosekond setelah sebuah pulsa dikirim dan dipantulkan oleh sebuah pesawat terbang yang berada 30 km jauhnya akan diterima oleh stasiun rada?

7. Medan magnetik dalam suatu gelombang elektromagnetik memiliki puncak  $1,77 \times 10^{-8}$ . Berapa besar energi yang diangkut oleh gelombang ini per meter persegi per sekon?
8. Sebuah sumber cahaya monokromatik memancarkan daya elektromagnetik 100 W merata ke segala arah.
  - a. Hitung rapat energi listrik rata-rata pada jarak 1 m dari sumber!
  - b. Hitung rapat energi magnetik rata-rata pada jarak yang sama dari sumber!
  - c. Tentukan intensitas gelombang pada lokasi itu!
9. Medan listrik dalam suatu gelombang elektromagnetik dapat dinyatakan dengan persamaan gelombang berjalan:  $E_y = 100 \sin (10^7x - wt)$  (dalam SI). Tentukan amplitude dari medan magnetik yang terkait, panjang gelombang serta frekuensinya!
10. Filamen sebuah lampu pijar memiliki hambatan  $150 \Omega$  dan membawa arus dc 1 A. Filamen memiliki panjang 8 cm dan jari-jari 0,9 mm.
  - a. Hitung vektor poynting pada permukaan filamen!
  - b. Tentukan besar medan magnetik dan medan listrik pada permukaan filamen!



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, seharusnya kalian memahami tentang:

1. sifat gelombang elektromagnetik,
2. spektrum gelombang elektromagnetik,
3. energi gelombang elektromagnetik, dan
4. menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari.

Apabila ada bagian-bagian yang belum kalian pahami, pelajarilah kembali sebelum melanjutkan pada bab berikutnya.

## Uji Kompetensi Akhir Semester 2

Kerjakan di buku tugas kalian!

Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

- Sebuah lup dengan jarak fokus 6 cm digunakan untuk mengamati sebuah benda dengan jarak baca 25 cm, maka jarak benda, perbesaran lup, dan perbesaran linearnya masing-masing adalah ....
  - $7\frac{17}{19}$  cm;  $5\frac{1}{6}$ ;  $5\frac{1}{6}$
  - $7\frac{17}{19}$  cm;  $4\frac{1}{6}$ ;  $3\frac{1}{6}$
  - $4\frac{26}{31}$  cm;  $5\frac{1}{6}$ ;  $5\frac{1}{6}$
  - $4\frac{26}{31}$  cm;  $4\frac{1}{6}$ ;  $3\frac{1}{6}$
  - 25 cm;  $4\frac{1}{6}$ ;  $1\frac{1}{6}$
- Sebuah mikroskop mempunyai jarak fokus objektif dan okuler masing-masing 0,9 cm dan 5 cm. Jarak antara lensa objektif dan okuler adalah 13 cm. Sebuah benda terletak 1 cm di muka lensa objektif. Perbesaran bayangannya adalah ....
  - 35 kali
  - 45 kali
  - 50 kali
  - 60 kali
  - 70 kali
- Dalam sebuah mikroskop, bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif adalah ....
  - nyata, tegak, diperbesar
  - nyata, terbalik, diperkecil
  - maya, tegak, diperbesar
  - nyata, terbalik, diperbesar
  - maya, terbalik, diperbesar
- Perbesaran sudut suatu teleskop dengan  $f_{ob} = 75$  cm dan  $f_{ok} = 25$  cm adalah ....
  - 3 kali
  - 5,3 kali
  - 18,75
  - 50 kali
  - 100 kali

5. 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
  
6. Titik jauh penglihatan seseorang 100 cm di muka mata. Orang ini memerlukan kacamata dengan lensa yang dayanya (dalam dioptri) ....
  - a. 0,5
  - b. 0,3
  - c. 3
  - d. -3
  - e. -1
  
7. Titik dekat seseorang terletak pada 120 cm di depan mata. Untuk melihat dengan jelas suatu benda yang terletak 30 cm di depan mata, kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai adalah (dioptri) ....
  - a. 1,5
  - b. -1,5
  - c. 2,5
  - d. -2,5
  - e. 3,5
  
8. Seorang pria yang menggunakan lensa dengan kekuatan 3 dioptri harus memegang surat kabar paling dekat 25 cm di depan matanya agar dapat membaca dengan jelas. Jika pria itu melepaskan kacamata dan tetap ingin membaca surat kabar dengan jelas, berapa jauh surat kabar itu paling dekat ke matanya?
  - a. 30 cm
  - b. 75 cm
  - c. 100 cm
  - d. 150 cm
  - e. 200 cm
  
9. 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. 6,25 kali

10. Seorang bermata normal yang bertitik dekat 25 cm mengamati benda dengan lup. Jarak antara mata dengan lup 5 cm ternyata mata berakomodasi maksimum, hingga lup menghasilkan perbesaran sudut 5x, maka jarak benda di depan lup adalah sejauh ....
- 4 cm
  - 4,16 cm
  - 4,5 cm
  - 5 cm
  - 5,25 cm
11. Sebuah mikroskop mempunyai objektif yang berjarak titik api 2 cm. Sebuah objek diletakkan 2,2 cm di bawah objektif. Jika perbesaran okuler 10 kali maka perbesaran mikroskop itu ....
- 100 kali
  - 110 kali
  - 200 kali
  - 220 kali
  - 300 kali
12. Jarak titik api objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 1,8 cm dan 6 cm. Pada pengamatan mikroorganisme dengan menggunakan mikroskop ini oleh mata normal tidak berakomodasi, jarak antara objektif dan okuler 24 cm. Dalam hal ini mikroorganisme terletak di muka objektif sejauh .... (dalam cm).
- 1,9
  - 2
  - 2,2
  - 2,4
  - 2,5
13. Jarak titik api lensa objektif dan okuler dari teropong bintang berturut-turut adalah 150 cm dan 30 cm. Bila teropong bintang dipakai oleh mata normal tidak berakomodasi, maka panjang teropong adalah ....
- 30 cm
  - 120 cm
  - 150 cm
  - 180 cm
  - 210 cm
14. Sebuah teropong dipakai untuk melihat bintang yang menghasilkan perbesaran 6 kali. Jarak lensa objektif terhadap okuler 35 cm. Teropong ini digunakan dengan mata tak berakomodasi. Maka jarak fokus okulernya adalah ....
- 3,5 cm
  - 5 cm
  - 7 cm
  - 10 cm
  - 30 cm

15. Pada saat membaca jarak terdekat yang dapat dilihat seorang kakek rabun dekat adalah 40 cm. Kekuatan lensa kacamata yang diperlukan adalah ....
- $\frac{3}{2}$  dioptri
  - $\frac{2}{3}$  dioptri
  - $\frac{4}{3}$  dioptri
  - $\frac{4}{3}$  dioptri
  - $\frac{1}{4}$  dioptri
16. Agar supaya sebuah bohlam listrik 25 Volt, 100 watt dapat bekerja dengan layak ketika dihubungkan dengan sumber DC 125 volt maka diperlukan tambahan hambatan listrik .... (*UM-UGM 2003, Kode 322*)
- 25 ohm secara seri
  - 25 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara seri
  - 20 ohm secara seri dan 25 ohm secara paralel
17. Sebuah bola lampu listrik dibuat 220 V/50 W, yang mana dari pernyataan-pernyataan berikut yang benar ....
- dayanya selalu 50 watt
  - tegangan minimum diperlukan untuk menyalakan adalah 220 V
  - hambatannya 484 ohm
  - diperlukan aliran arus sebesar  $\frac{5}{22}$  ampere untuk menyalakannya
  - menghabiskan energi sebesar 50 joule dalam 1 detik bila dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V
18. Suatu galvanometer dengan hambatan dalam  $R_g$  ingin dijadikan voltmeter. Galvanometer tersebut menunjukkan skala penuh saat arus yang melaluinya sebesar  $I_g$ . Jika voltmeter yang dirancang diharapkan dapat menunjukkan skala penuh pada pengukuran tegangan sebesar  $V$ , maka hambatan depan yang harus dipasang secara seri dengan galvanometer tersebut harus berharga .... (*SPMB 2004, Kode 550, Regional III*)
- $\frac{(V + R_g I_g)}{I_g}$
  - $\frac{(V - R_g I_g)}{I_g}$
  - $(R_g I_g - V)I_g$
  - $\frac{V}{I_g - 2 R_g}$
  - $\frac{V}{I_g + R_g}$

19. Alat pemanas listrik memakai 5 A apabila dihubungkan dengan sumber 110 V. Hambatannya adalah .... (dalam ohm).
- a. 0,05  
b. 5  
c. 22  
d. 110  
e. 550
20. Susunan tiga buah hambatan yang besarnya sama menghasilkan hambatan  $2 \Omega$ . Jika susunannya diubah, maka dapat dihasilkan hambatan  $1 \Omega$ . Besar hambatan tersebut adalah .... (SPMB 2004, Kode 150, Regional I)
- a.  $1 \Omega$   
b.  $2 \Omega$   
c.  $3 \Omega$   
d.  $4 \Omega$   
e.  $5 \Omega$
21. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah hambatan listrik menghasilkan arus listrik 0,6 A. Jika pada rangkaian tersebut ditambahkan sebuah hambatan listrik 4 ohm dan dihubungkan secara seri dengan hambatan yang pertama maka arus akan turun menjadi 0,5 A maka gaya gerak listrik (ggl) baterai adalah ....
- a. 4 V  
b. 5 V  
c. 6 V  
d. 12 V  
e. 24 V
22. Dua buah beban listrik dengan hambatan yang sama, yaitu  $R$  ohm, dihubungkan dengan saluran listrik PLN dengan tegangan  $V$  volt; berturut-turut dirangkai paralel sehingga dihasilkan daya  $P_1$ , kemudian dirangkai seri dengan daya  $P_2$ . Maka perbandingan daya  $P_1$  dan  $P_2$  adalah .... (UMPTN 200, Kode 22, Rayon C)
- a. 1 : 1  
b. 1 : 2  
c. 2 : 1  
d. 1 : 4  
e. 4 : 1
23. Sebuah kawat konduktor mempunyai panjang  $L$ , diameternya  $D$ , hambatannya  $R$ . Jika diameternya diperkecil menjadi  $\frac{D}{2}$  tapi volumenya tetap, maka hambatan listriknya menjadi ....
- a. 0,25 R  
b. 0,5 R  
c. R  
d. 2 R  
e. 4 R

24. Sebuah amperemeter mempunyai hambatan 18 ohm dan berdaya ukur 10 mA. Agar daya ukur ampere meningkat menjadi 100 mA, harus dipasang hambatan .... (SPMB 2003, Kode 721, Regional I).
- 0,8 ohm seri dengan amperemeter
  - 0,8 ohm paralel dengan amperemeter
  - 2,0 ohm seri dengan amperemeter
  - 2,0 ohm paralel dengan amperemeter
  - 8,0 ohm seri dengan amperemeter
25. Suatu amperemeter yang ideal, seharusnya mempunyai hambatan dalam yang besarnya ....
- tak terhingga
  - besar sekali
  - sembarang
  - kecil
  - nol
26. Medan listrik dalam suatu gelombang elektromagnetik dinyatakan dengan  $E_y = 20 \sin (2\pi \times 105x - \omega t)$  dalam SI, frekuensi gelombang elektromagnetik tersebut adalah ....
- $3 \times 10^8$  Hz
  - $3 \times 10^{10}$  Hz
  - $3 \times 10^{13}$  Hz
  - $2\pi \times 10^5$  Hz
  - $2\pi \times 10^5$  Hz
27. Radiasi dari matahari mencapai bumi diperkirakan dengan kelajuan  $1350 \text{ J/det.m}^2$ . Dengan mengasumsi hanya terdapat satu gelombang elektromagnet, maka kerapatan energi total yang terbawa oleh gelombang elektromagnetik adalah ....
- $4,5 \times 10^{-6} \text{ J/m}^3$
  - $4,5 \times 10^6 \text{ J/m}^3$
  - $9 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3$
  - $9 \times 10^6 \text{ J/m}^3$
  - $9 \times 10^{-12} \text{ J/m}^3$
28. Kuat medan listrik maksimum dari gelombang elektromagnetik adalah  $1000 \text{ N/C}$ , diketahui pula bahwa gelombang elektromagnetik tersebut merambat di dalam ruang hampa yang mempunyai  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb A}^{-1}\text{m}^{-1}$ . Intensitas gelombang tersebut adalah ....
- $1,33 \text{ W/m}^2$
  - $2,66 \text{ W/m}^2$
  - $1,33 \text{ kW/m}^2$
  - $2,66 \text{ kW/m}^2$
  - $1,33 \text{ MW/m}^2$



29. Nilai perbandingan panjang gelombang antara gelombang mikro ( $f = 2,4 \times 10^9$  Hz) yang digunakan untuk pemasak microwave dengan gelombang radio ( $f = 6 \times 10^5$  Hz) yang dipancarkan dari sebuah stasiun radio AM adalah ....
- $6 \times 10^4$
  - $5 \times 10^4$
  - $4 \times 10^4$
  - $2,5 \times 10^{-4}$
  - $1,6 \times 10^{-4}$
30. Pernyataan yang benar tentang kerapatan energi gelombang elektromagnetik di bawah ini adalah ....
- kerapatan energi sebanding dengan kuat medan listrik
  - kerapatan energi sebanding dengan kuat medan magnetik
  - kerapatan energi berbanding terbalik dengan kuat medan listrik
  - kerapatan energi berbanding terbalik dengan medan magnetik
  - kerapatan energi sebanding dengan kuadrat medan magnetik atau sebanding dengan kuadrat medan listrik
31. Ionosfer adalah suatu daerah gas terionisasi dalam atmosfer atas. Ionosfer bertanggung jawab terhadap ....
- warna biru langit
  - pelangi
  - komunikasi radio jarak jauh
  - menyaring sinar ultraviolet dari matahari
  - kemampuan satelit mengorbit bumi
32. Gelombang-gelombang elektromagnetik mengangkut ....
- panjang gelombang
  - muatan listrik
  - frekuensi
  - arus listrik
  - energi
33. Medan listrik maksimum dalam suatu gelombang elektromagnetik di suatu tempat adalah  $100 \text{ N/C}$ . Cepat rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa  $3.108 \text{ m/s}$  dan permitivitas listrik untuk ruang hampa  $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$ . Laju energi rata-rata tiap satuan luas gelombang elektromagnetik tersebut di atas ....  
(*Ebtanas tahun 1998*).
- $26,550 \text{ W/m}^2$
  - $17,700 \text{ W/m}^2$
  - $13,275 \text{ W/m}^2$
  - $8,850 \text{ W/m}^2$
  - $2,950 \text{ W/m}^2$

34. Untuk amplitude kuat medan listrik tertentu, laju energi rata-rata per satuan luas gelombang elektromagnetik adalah  $90,0 \text{ W/m}^2$ . Jika amplitude kuat medan listrik ditingkatkan menjadi dua kali semula maka energi rata-rata per satuan luas gelombang elektromagnetik sekarang adalah .... (dalam  $\text{W/m}^2$ ).
- a. 22,5  
b. 45,0  
c. 90,0  
d. 180  
e. 360
35. Jika daya radiasi total matahari  $a$  watt dan lintasan bumi mengelilingi matahari berupa lingkaran yang jari-jarinya  $b$  meter, maka intensitas cahaya matahari di bumi adalah .... (dalam  $\text{watt/meter}^2$ )
- a.  $\frac{a}{b}$   
b.  $\frac{a}{(2\pi b)}$   
c.  $\frac{a}{(\pi b^2)}$   
d.  $\frac{a}{(4\pi b^2)}$   
e.  $\frac{3a}{(4\pi b^2)}$
36. 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
37. Sifat-sifat berikut:
- 1) Berasal dari perubahan medan listrik dan medan magnet secara periodik.
  - 2) Memerlukan medium untuk merambat.
  - 3) Memiliki kecepatan rambat  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  di ruang hampa, dan
  - 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), dan (4)

38. Seorang pilot pesawat tempur menembakkan radar untuk mengetahui jarak pesawatnya dengan pesawat musuh yang ada di hadapannya. Piranti pemancar dan penerima radar yang ia gunakan mencatat waktu yang diperlukan sejak radar ditembakkan hingga diterima kembali adalah  $50 \mu\text{s}$ . Ini berarti ia dan pesawat musuh terpisah pada jarak ....
- 3,5 km
  - 5,5 km
  - 7,5 km
  - 9,5 km
  - 15 km
39. Sebuah rangkaian isolator menghasilkan kuat medan listrik maksimum  $3\pi \times 10^4 \text{ N/C}$ . Hitung laju rata-rata dari energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ....
- $\frac{\pi}{8} \times 10^7 \text{ J/m}^2$
  - $\frac{\pi}{4} \times 10^7 \text{ J/m}^2$
  - $\frac{3\pi}{4} \times 10^7 \text{ J/m}^2$
  - $\frac{\pi}{2} \times 10^7 \text{ J/m}^2$
  - $\frac{5\pi}{8} \times 10^7 \text{ J/m}^2$
40. Gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi terkecil adalah ....
- sinar gamma
  - sinar X
  - sinar inframerah
  - sinar ultra ungu
  - gelombang radio

## Daftar Pustaka

- Issac A. 1985. *Dictionary of Physics*. Sphere Books Ltd: London.
- Jardine J. 1989. *Physics Through Applications*. Oxford: Oxford University Press.
- Lafferty, P. 2001. *Jendela Iptek, "Gaya dan Gerak (Terjemahan)*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Nordling C. dan Osterman. 1987. *Physics Handbook, Student Edition, Chartwell-Bratt Ltd*. Lud: Sweden.
- Sumartono P.S. 1994. *Fisika, FMIPA-UGM*. Yogyakarta: UGM Press.
- Tippler P.A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Jilid 1*. Alih Bahasa Prasetio L dan Rahmad W.A. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.

---

---

# LAMPIRAN

---

---

## Glosarium

Amperemeter	: Alat untuk mengukur besar kuat arus listrik.
Amplitudo	: Simpangan terjauh dari suatu benda yang berositasi.
Angka signifikan	: Angka berarti yang harus diberikan pada proses pengukuran.
Arus listrik	: Jumlah muatan listrik yang melewati suatu luas penampang dan penghantar listrik tiap satu satuan waktu.
Arus listrik bolak-balik	: Suatu arus listrik yang sedemikian sehingga menghasilkan arahnya berubah-ubah dengan frekuensi tetap.
Arus searah	: Suatu arus listrik yang aliran netto muatannya hanya dalam satu arah
Asas Black	: Suatu asas yang menyatakan panas yang berikan sama dengan panas yang diterima.
Beda potensial listrik	: Selisih besar potensial listrik antara dua buah titik
Coulomb	: Satuan muatan listrik dalam sistem satuan internasional
Celcius	: Satuan muatan listrik dalam sistem satuan internasional
Daya	: Kemampuan untuk melakukan usaha tiap satu satuan waktu.
Daya akomodasi mata	: Daya suatu mata untuk mengatur kecembungan lensa mata
Elektron	: Suatu partikel elementer yang mempunyai massa diam $9,109558 \times 10^{-31}$ kg dan muatan negatif sebesar $1,602192 \times 10^{-19}$ coulomb.
Energi	: Kemampuan untuk melakukan usaha.
Fahrenheit	: Satuan suhu suatu benda yang diukur dengan termometer Fahrenheit
Frekuensi	: Kelajuan dari suatu pengulangan kejadian yang teratur.
Gaya aksi	: Gaya yang ditimbulkan oleh suatu benda terhadap benda lain yang saling bersentuhan.

Gaya gesek	: Gaya yang arahnya menentang arah gerak benda pada suatu permukaan yang saling bersentuhan dan besarnya tergantung kondisi permukaan yang saling bersentuhan tersebut.
Gaya gravitasi bumi	: Gaya tarik yang ditimbulkan oleh bumi terhadap suatu benda.
Gaya reaksi	: Gaya yang ditimbulkan oleh suatu benda yang merupakan perlawanan terhadap gaya aksi yang ditimbulkan oleh benda lain yang saling bersentuhan.
Gaya normal	: Gaya reaksi bidang terhadap suatu benda dan arahnya tegak lurus bidang dimana benda berada.
Gaya luar	: Suatu gaya dari luar yang dikenakan pada suatu benda atau system.
Gelombang	: Gelombang elektromagnetik.
Gerak lengkung	: Gerak benda pada lintasan lengkung.
Gerak lurus	: Gerak pada lintasan lurus.
Gerak lurus beraturan	: Gerak lurus dengan kecepatan konstan.
Gerak lurus berubah beraturan	: Gerak lurus dengan percepatan konstan.
Gerak melingkar	: Gerak benda dengan lintasan gerak pada lingkaran.
Gerak melingkar beraturan	: Gerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap/konstan.
Gerak melingkar berubah beraturan	: Gerak melingkar dengan percepatan sudut tetap.
Hukum Ohm	: Hukum yang menyatakan bahwa tegangan listrik sebanding dengan kuat arus.
Hukum I Kirchhoff	: Hukum yang menyatakan bahwa arus yang masuk titik cabang = arus keluar.
Hukum II Kirchhoff	: Hukum yang menyatakan bahwa dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar ggl penurunan tegangan = 0.
Hukum II Newton	: Percepatan benda berbanding lurus dengan gaya luar yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massa benda.

Hukum III Newton	: Dua benda saling berinteraksi, benda utama melakukan gaya pada benda kedua ( $F_{aksi}$ ) yang sama besar tetapi berlawanan dengan gaya yang dilakukan oleh kedua benda ( $F_{reaksi}$ ).
Intensitas	: Daya per satuan luasan.
Iris	: Bagian dari mata yang berfungsi memberi warna pada mata.
Joule	: Satuan usaha dalam SI, besarnya sama dengan kerja yang dilakukan oleh gaya 1 Newton untuk memindahkan benda sejauh 1 meter.
Kelvin	: Skala suhu
Kalor	: Energi yang diberikan oleh benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.
Kalor jenis	: Banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan setiap kilogram massa untuk menaikkan/menurunkan suhu satu Kelvin atau satu derajat Celcius.
Kalor uap	: Banyaknya kalor yang diperlukan setiap kilogram zat untuk menguap pada titik didihnya.
Kamera	: Alat optik yang mampu merekam suatu pemandangan secara permanen pada pelat film.
Kapasitas kalor	: Jumlah kalor yang diperlukan/dilepaskan jika suhu benda tersebut dinaikkan atau diturunkan.
Kecepatan rata-rata	: Perpindahan suatu benda dibagi waktu yang diperlukan benda tersebut untuk berpindah.
Kecepatan sesaat	: Kecepatan pada waktu tertentu.
Kecepatan sudut	: Sudut yang ditempuh tiap satuan waktu.
Kelajuan	: Gerak per satuan waktu
Kelajuan rata-rata	: Gerak yang ditempuh dibagi waktu yang diperlukan
Kelembaban	: Sifat benda untuk mempertahankan kedudukannya.
Konduksi	: Proses perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai perpindahan partikel tersebut.
Konveksi	: Proses perpindahan kalor.
Konversi satuan	: Mengubah satuan pengukuran.
Kumparan Ruhmkorf	: Alat yang digunakan untuk menyelidiki gelombang elektromagnetik.
Laju perambatan	: Besar kecepatan gelombang merambat.
Lensa objektif	: Lensa yang berada terdekat dengan benda.



Lensa okuler	: Lensa yang berada dekat dengan mata.
Lup	: Lensa yang digunakan untuk melihat benda-benda kecil.
Medan listrik	: Daerah di sekitar muatan listrik yang masih dipengaruhi oleh gaya listrik.
Metode grafis	: Metode operasi penjumlahan/pengurangan vektor dengan grafis.
Mikroskop cahaya	: Mikroskop yang menggunakan cahaya sebagai sumber penglihatan.
Mikroskop elektron	: Mikroskop yang mempunyai perbesaran lebih dari 1 juta kali
Muai panjang	: Pertambahan panjang karena kenaikan suhu.
Muai luas	: Perubahan luas suatu benda karena perubahan suhu.
Muai volum	: Perubahan volum suatu benda karena perubahan suhu.
Multimeter	: Alat ukur listrik yang dapat digunakan untuk mengukur kuat arus, tegangan dan hambatan.
Ohm	: Satuan hambatan listrik
Ohmmeter	: Alat untuk mengukur besar hambatan listrik
Panjang gelombang	: Jarak antara 1 puncak dengan puncak atau satu lembah dengan lembah pada gelombang.
Penghantar	: Benda yang dapat menghantar.
Percepatan	: Perubahan kecepatan dalam waktu tertentu.
Percepatan rata-rata	: Percepatan benda yang bergerak selang waktu $t_1$ dan $t_2$ .
Percepatan sesaat	: Percepatan benda pada waktu tertentu atau $\Delta t \rightarrow 0$ ( $\Delta t$ mendekati nol).
Perlambatan	: Percepatan yang bertanda negatif, kecepatannya semakin berkurang.
Periskop	: Teleskop yang digunakan di kapal selam.
Permeabilitas	: Dilambangkan $\mu_0$ , suatu tetapan yang nilainya : $4 \times 10^{-7} \text{ WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$
Permitivitas	: Dilambangkan $\epsilon_0$ , suatu tetapan yang nilainya : $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$
Pupil	: Celah lingkaran yang lebarnya diatur oleh iris dan berguna untuk mengatur cahaya yang masuk ke mata.
Rapat arus	: Besar kuat arus listrik persatuan luas penampang.
Rapat energi	: Tenaga : energi dikalikan medan kuadrat.

Retina	: Lapisan serat syaraf yang mengandung struktur indra cahaya dan menyampaikan informasi ke otak.
Sinar gamma	: Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi = $10^{20}$ Hz - $10^{25}$ Hz
Sinar tampak	: Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi = $4,3 \times 10^{14}$ Hz - $7 \times 10^{14}$ Hz
Sinar ultraviolet	: Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi = $10^{15}$ Hz - $10^{16}$ Hz
Sinar X	: Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi = $10^{16}$ Hz - $10^{20}$ Hz
Suhu	: Tingkat derajat panas suatu benda/sistem.
Tegangan	: Beda potensial antarujung-ujung penghantar.
Termometer	: Alat untuk mengukur suhu.
Teropong bias	: Teropong yang menggunakan lensa untuk menangkap bayangan.
Teropong Hubble	: Teropong yang digunakan untuk mengamati benda-benda angkasa.
Teropong pantul	: Teropong yang menggunakan cermin untuk menangkap bayangan.
Titik dekat mata	: Jarak terdekat di mana lensa memfokuskan cahaya yang masuk tepat jatuh di retina.
Titik jauh mata	: Jarak terjauh di mana lensa memfokuskan cahaya tepat di retina.
Titik tripler air	: Suatu titik, di mana fasa uap, cair dan padat berada bersama-sama dalam keadaan setimbang.
Vektor	: Suatu besaran yang punya nilai dan arah.
Volt	: Satuan tegangan listrik
Voltmeter	: Alat untuk mengukur besar tegangan listrik.
Watt	: Satuan daya.
Wattmeter	: Alat untuk mengukur daya.

## Indeks Subjek

### A

Aberasi 81  
aksi 55,62,191  
Akurat 3  
amperemeter 164,165,166,167,168,169,170,171,177,207  
Amplitudo 183,188  
angka signifikan 5,6  
arus 9,11,23,125,126,147,148,149,150,151,152,153,  
155,156,157,158,159,160,161,163,164,165,166,  
167,168,169, 170,171,173,174,175,176,177,  
183,202,206,207,209  
Arus bolak-balik 163  
arus searah 160,161,173  
Asas Black 110,133,135

### B

beda potensial 147,148,150,152,156,158,160,165,166,  
167,168,169,170,171,173,177  
besaran 1,2,5,7,8,9,12,14,15,22,23,31,44,111,146,147,  
149  
besaran pokok 7,9,149  
besaran turunan 12,14,149

### C

cahaya 12,49,82,83,84,85,89,90,91,92,95,100,101,125,  
130,182,185,187,188,190,191,193,197,199,  
200,201,202,209  
celcius 111,126,136,138,140  
coulomb 149,150,160,170

### D

daya 79,81,93,96,23,131,161,168,169,171,189,191,192,  
197,202,207,209  
dimensi 9,14,24,56

### E

elektron 8,31,91,92,125,148,150,151,152,172,173,192,  
193  
emisivitas 131,136  
energi 109,111,112,116,118,119,123,124,125,130,131,132,  
133,134,136,140,141,147,160,170,183,187,  
189,190,194,197,199,201,202,206,208,209,  
211  
energi rata-rata 189,190,199,201,209

### F

Fahrenheit 4,11,24,111,112,136,140  
frekuensi 3,45,48,163,199

### G

galvanometer 164,165,166,167,168,169,174,175,206  
gaya aksi 55,62

gaya gerak listrik 148,150,158,170,173,176,177,183,  
207  
gaya gesek 67,68  
gaya gravitasi 52,53,61  
gaya luar 49,50  
gaya normal 62  
gaya reaksi 55,62  
gelombang 3,8,10,181,182,183,184,185,186,187,188,  
189,190,191,192,193,194,195,196,197,  
198,199,200,201,202,208,209,210,211,  
125,130,131,136  
gelombang elektromagnetik 130,131,136,181,182,183,  
184,185,186,187,188,189,191,192,193,194,195,  
197,198,199,200,201,202,208,209,210,211  
gelombang inframerah 193  
gelombang mikro 8,193  
gelombang radar 191,194,197,200  
gelombang televisi 187,194  
gerak lengkung 31,62  
gerak lurus 30,31,38,42,63  
gerak lurus beraturan 38,63  
gerak Lurus Berubah Beraturan 40,63  
gerak melingkar 31,44,45,58,62,64  
gerak melingkar beraturan 30,31,45,47,48,73  
gerak melingkar berubah beraturan 31,47,58  
gesekan 49,55,56

### H

hambatan 147,148,150,152,153,155,156,157,158,161,  
163,164,165,166,167,168,169,170,171,  
172,173,174,175,176,177,202,206,207  
Hukum I Kirchoff 155  
hukum I Newton 50,61  
hukum II Kirchoff 171  
Hukum II Newton 50  
Hukum III Newton 54,55,62  
Hukum Ohm 146,152,170

### I

intensitas 82,182,183,189,197,208  
iris 82,100

### J

jarak perpindahan 57  
joule 115,116,126,129,135,138,140,160,161,171,173,  
175,206

### K

Kalor 109,110,111,112,113,115,118,119,120,123,124,  
128,130,133,134,135,136,138,139,140  
kalor jenis 112,113,114,115,133,134,136,138,139,140  
kalor lebur 118,135,138,139,140  
kalor uap 119  
kamera 88,89,90,97,99,101  
kapasitas kalor 112,115,119,120

kawat 145,148,149,151,152,153,154,164,170,176  
 kecepatan rata-rata 33,34,35,63,71  
 kecepatan sesaat 35,64  
 kecepatan sudut 46,47,58,62,64,67,70  
 kelajuan 31,32,33,38,47,48,55,59,60,61,69,70,73,199,  
 208  
 kelajuan rata-rata 32,33  
 kelembaman 49,61  
 kelvin 111,113,115,126,135  
 kerucut 82  
 kesetimbangan fase 117  
 Kirchoff 155,171  
 komunikasi 194,195,209  
 konduksi 124,125,134,136,139,141  
 konveksi 124,128,129,130,134,136  
 konversi satuan 13  
 kumparan Ruhmkorf 185

## L

laju 30,34,35,36,45,58,64,65,67,73,125,128,130,147,  
 169,185,186,188,189,196,197,200,201,209,211  
 laju energi 132,189,197,201,209  
 laju perambatan 185,188  
 lensa 81,82,91,94,101,102,203,204,205  
 lensa kristalin 82  
 lensa objektif 91,92,93,94,95,103,104,105  
 listrik 116,133,145,146,147,148,149,150,152,153,155,156,  
 157,158,160,161,162,163,164,165,166,167,  
 168,169,170,171,173,174,176,177,183,184,  
 185,186,187,188,189,195,196,197,199,200,  
 201,202,206,207,208,209,210,211  
 Lup 86,97,101

## M

massa 5,8,9,10,14,15,44,48,50,51,54,61,67,112,113,118,  
 119,123,125,128,135,138,140,173  
 mata berakomodasi maksimum 105  
 mata tak berakomodasi 105  
 medan 125,183,184,185,186,187,188,,188,189,195,196,  
 197,199,200,201,202,208,209,210,211  
 medan listrik 183,184,185,186,187,188,189,195,196,  
 197,199,200,201,202,208,209,210,211  
 medan magnetik 125,188,202,,208,209  
 medium 131,183,186,191,196,200,210  
 mekanika 31,48,61  
 metode analitis 19  
 metode Grafis 16,17  
 metode poligon 16,17  
 mho 153  
 mikroskop cahaya 90,92  
 mikroskop elektron 91,92  
 muatan 147,148,149,150,151,160,162,170,183,185,209  
 multimeter 146,169,171,172

## N

non-ohmik 152,170

## O

ohm 152,153,161,165,167,168,172,173,174,175,176,  
 177,206,207

ohmik 152,170  
 ohmmeter 164,169,171

## P

panjang gelombang 186,190,194,197,200,201,202,208,  
 209  
 paralel 171  
 penghantar 145,147,149,150,151,152,153,170  
 penjalaran 195  
 perambatan 184,185,186,188,191,195,197,200  
 percepatan 15,23,30,31,35,36,37,40,42,44,47,50,51,  
 52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,  
 65,66,67,68,69,70,71,72,73  
 percepatan gravitasi 42,44,52,53,54,55,57,62,66,67,68,  
 69,71,73  
 Percepatan rata-rata 36,59,63  
 Percepatan Sentripetal 59  
 Percepatan sesaat 37,63  
 periskop 95,98,101  
 perlambatan 37,38,42,43,44,69,70  
 permeabilitas 185,189,200  
 Permittivitas 183  
 potensial 147,148,150,152,153,156,158,160,165,166,  
 167,168,169,170,171,173,174,177  
 pupil 82,100

## R

radar 182,187,191,194,197,200,202,210  
 radiasi 191,192,201,209  
 rangkaian 146,147,148,150,155,156,157,158,159,160,  
 164,166,168,169,170,171,173,176,207,211  
 rapat arus 149,151,170  
 rapat energi 183,189  
 rapat energi listrik 189  
 rapat energi magnetik 202  
 reamur 111,112,140  
 ruang hampa 185,186,188,196,199,201,208,209,210

## S

satuan 3,4,5,7,8,10,11,12,13,15,22,23,37,40,45,46,51,64,  
 65,112,116,148,149,150,153,161,164,166,167,  
 168,170,171,185,189,197,200,201,209  
 sel 90,91  
 seri 155,156,157,158,164,166,167,168,170,171,172,173,  
 174,175,176,177  
 signifikan 3  
 sinar 85,95,99,125,130,181,182,183,186,187,191,192,  
 193  
 sinar gamma 191,192,197,200,211  
 sinar inframerah 193  
 sinar tampak 191,193,197  
 sinar ultraviolet 191,192,193,197,200,209  
 sinar X 201,210,211  
 sistem cgs 12  
 Spektrum 182,183,186,187  
 suhu 4,11,12,15,23,24,111,112,113,114,115,117,118,119,  
 120,121,122,124,125,126,128,129,130,131,132,  
 133,134,135,136,137,138,139,140,141,152,170

## T

tegangan 23,48,54,67,70,150,152,154,156,157,158,  
159,160,161,162,163,164,166,167,168,169,  
170,171,172,173,174,175,176,177,185,206,  
207  
termometer 111,135  
teropong 81,93,95,98  
teropong Hubble 95  
Titik dekat 81,101,103  
Titik Kritis 111  
Titik tripel 118,135

## V

vektor 2,15,16,17,18,19,20,21,22,23,25,26,32,35,44,  
59,189,198,202  
vektor Poynting 189,198  
volt 150,152,153,158,160,166,174,176,177,206  
voltmeter 164,166,167,168,169,171,175,177,206  
volume 13,15,23,113,117,121,122,123,189

## W

watt 125,129,131,141,161,168,171,174,201,206,209  
wattmeter 164,168,171  
Wheatstone 168,171

## Indeks Pengarang

### A

ampere 9,11,149,150,152,153,160,164,170,173,175,  
177,206,207  
Antoni van Leeuwenhoek 91

### C

coulomb 149,150,160,170

### D

Daguerre 89

### F

Faraday 183

### G

Galileo 93  
George Simon Ohm 148

### H

Hans Lippershey 93  
Heinrich Hertz 185  
Hertz 45,185  
Hubble 95,97

### I

Issac Newton 51  
James Clark Maxwell 183  
James Prescott Joule 115  
Janssen 91  
Joseph Niepce 88  
Joule 115,160,161,171,173,175,206

### K

Kirchoff 155,171

### N

newton 14,30,48,49,50,51,54,55,56,61,62,65

### O

ohm 146,148,152,157,170,171,206,207

### R

Rontgen 181,182,183,191,192

### S

Sumartono 9,10,213

### T

Tipler 7,9,10,18, 82,83,90,95,60,19,121,125,126,131,  
149

### W

Wilhem Conrad Rontgen 192

### Z

Zacharias Janssen 91

## Konstanta Fisika

Konstanta Stefan	$\sigma$	$5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Percepatan gravitasi bumi	$g$	$10 \text{ m/s}^2$
Radius bumi	$R$	$6,4 \times 10^6 \text{ m}$
Kecepatan cahaya	$c$	$2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s}$ atau $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Muatan elektron	$e$	$1,602\,177 \times 10^{-19} \text{ C}$
Permeabilitas ruang hampa	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
Permitivitas ruang hampa	$\varepsilon_0$	$8,854\,187\,817 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}$

## Kunci Jawaban

### Bab I Uji Kompetensi

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> 1. c<br/>3. c<br/>5. d<br/>6. d<br/>9. b</p> | <p><b>B.</b> 1. <math>43,21^\circ</math><br/>3. <math>20\sqrt{3}</math> N<br/>5. 6,2 N<br/>7. 5 N<br/>9. <math>F_x = 5\sqrt{3}</math> N<br/><math>F_y = 5</math> N<br/><math>R = 10</math> N</p> |
|---|--|

11. a  
13. b  
15. a  
17. c  
19. d

### Bab II Uji Kompetensi

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <p><b>A.</b> 1. d<br/>3. c<br/>5. a<br/>7. b<br/>9. b</p> | <p><b>B.</b> 1. 20 km,<br/>20 km/jam<br/>3. 10 m</p> | <p>5. <math>5 \text{ ms}^{-2}</math><br/>7. <math>0,4 \pi</math><br/>9. 3 sekon</p> |
|---|--|---|

### Bab III Uji Kompetensi

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> 1. a<br/>3. c<br/>5. d<br/>7. b<br/>9. d</p> | <p><b>B.</b> 1. 2,6 cm, 0,5 kali<br/>3. -10<br/>5. 39 cm</p> |
|---|--|

### Bab IV Uji Kompetensi

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> 1. b<br/>3. c<br/>5. a<br/>6. c<br/>9. c</p> | <p><b>B.</b> 1. <math>-25,6^\circ\text{C}</math><br/>3. <math>7,8^\circ\text{C}</math><br/>5. <math>1,005 - 10 \text{ j}</math><br/>7. 0,025 kg<br/>9. 1452 watt/m<sup>2</sup></p> |
|---|--|

### Bab V Uji Kompetensi

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>A.</b> 1. c<br/>3. b<br/>5. c<br/>6. c<br/>9. c</p> | <p><b>B.</b> 1. 95 km<br/>3. <math>0,66 \Omega</math><br/>5. 12 V</p> |
|---|---|

### Bab VI Uji Kompetensi

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> 1. c<br/>3. b<br/>5. e<br/>7. c<br/>9. b</p> | <p><b>B.</b> 1. 380 nm s.d.<br/>750 nm<br/>3. 1200 km<br/>5. <math>7 \times 10^{-7}</math> T<br/>7. <math>37 \text{ mw/m}^2</math><br/>9. <math>A = 100</math><br/><math>\lambda = \frac{2\pi}{10^7}</math><br/><math>f = \frac{3 \cdot 10^{15}}{2\pi} \text{ Hz}</math></p> |
|---|--|

### Uji Kompetensi Akhir Semester Gasal

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>A.</b> 1. b<br/>3. a<br/>5. b<br/>7. c<br/>9. e<br/>11. c<br/>13. e<br/>15. b</p> | <p><b>B.</b> 1. 20 km,<br/>20 km/jam<br/>3. <math>\frac{4}{3}\pi \text{ m/s}</math><br/>5. <math>10\sqrt{3} \text{ m.s}^{-1}</math></p> |
|---|---|

### Uji Kompetensi Akhir Semester Genap

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> 1. a<br/>3. b<br/>5. c<br/>7. e<br/>9. d<br/>11. c<br/>13. c</p> | <p>15. e<br/>17. e<br/>19. d<br/>21. a<br/>23. c<br/>25. e</p> |
|---|--|







**ISBN 978-979-068-802-5 (nomor jilid lengkap)**  
**ISBN 978-979-068-805-6**

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

**Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp11.495,-**