



Suparmo  
Tri Widodo

Suparmo  
Tri Widodo

Panduan Pembelajaran Fisika X

SMA & MA

Panduan Pembelajaran

# Fisika

Untuk SMA & MA

Kelas **X**



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional



Suparmo  
Tri Widodo

Panduan Pembelajaran

# Fisika

Untuk SMA & MA

Kelas **X**



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi oleh Undang-undang

---

Untuk SMA dan MA

# Panduan Pembelajaran Fisika X

**Disusun oleh:**

Suparmo  
Tri Widodo

**Editor:**

Susilowati

**Setting/Lay Out:**

Ika widyaningsih E

**Perwajahan:**

Wahyudin Miftahul Anwar

**Ilustrator:**

Adi Wahyono

530.07

SUP

SUPARMO

p

Panduan Pembelajaran Fisika untuk SMA/MA Kelas X /  
disusun oleh: Suparmo, Tri Widodo; editor, Susilowati ; ilustrator,  
Adi Wahyono .— Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen  
Pendidikan Nasional, 2009.

vii, 268 hlm, : ilus. ; 25 cm

Bibliografi : hlm. 263-264

Indeks

ISBN: 978-979-068-819-3 (no jilid lengkap)

ISBN: 978-979-068-820-9

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul. II. Tri Widodo  
III. Susilowati IV. Adi Wahyono

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit CV Karya Mandiri Nusantara

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan Departemen  
Pendidikan Nasional

Diperbanyak oleh ..

## Kata Sambutan

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

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

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

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

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

Jakarta, Juni 2009  
Kepala Pusat Perbukuan

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya bahwa Tim Penulis telah berhasil menyusun buku **Panduan Pembelajaran Fisika untuk Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah kelas X**. Tim Penulis dan Editor berupaya semaksimal mungkin untuk berkarya dengan harapan buku kami dapat membantu pencapaian kompetensi siswa dalam rangka meningkatkan kualitas bangsa Indonesia. Buku ini dapat digunakan sebagai pegangan siswa maupun guru.

Buku ini disajikan dengan pendekatan pembelajaran sistem CTL (*Contextual Teaching and Learning*) agar siswa dan guru mendapatkan arahan dalam melaksanakan proses pembelajaran baik di dalam maupun di luar kelas. Soal-soal pilihan ganda dan uraian ditempatkan pada bagian akhir setiap bab untuk mengetahui sejauh mana siswa mencapai kompetensi yang diharapkan. Hal ini dimaksudkan agar siswa dapat belajar secara tuntas dengan memahami materi yang disajikan dan dapat menerapkannya untuk memecahkan soal-soal latihan.

Semoga buku ini dapat menjadi panduan bagi siswa dan guru dalam melaksanakan pendidikan yang berbasis kompetensi, dan tidak lupa kami ucapkan terima kasih dan rasa penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para siswa dan guru yang menggunakan buku ini. Kritik dan saran akan sangat membantu kami dalam melakukan revisi untuk kesempurnaan edisi berikutnya.

Jakarta, Juni 2007

**Penulis**

# Daftar Isi

<b>Kata Sambutan</b> .....	<b>iii</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>iv</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>v</b>
<b>Bab I. Besaran Fisika dan Pengukuran</b> .....	<b>1</b>
A. Besaran .....	3
B. Angka Penting dan Angka Pasti .....	8
C. Kesalahan .....	12
D. Mengenal Beberapa Alat Ukur .....	16
Evaluasi .....	22
<b>Bab II. Vektor</b> .....	<b>27</b>
Besaran Vektor dan Besaran Skalar .....	29
Evaluasi .....	40
<b>Bab III. Gerak Lurus</b> .....	<b>43</b>
A. Gerak Lurus Beraturan .....	45
B. Gerak Lurus Berubah Beraturan .....	52
C. Persamaan pada Gerak Lurus Berubah Beraturan .....	58
Evaluasi .....	63
<b>Bab IV. Gerak Melingkar</b> .....	<b>67</b>
A. Gerak Melingkar Beraturan .....	69
B. Percepatan Sentripetal .....	73
C. Gerak Melingkar Berubah Beraturan .....	76
Evaluasi .....	81
<b>Bab V. Hukum-hukum Newton tentang Gerak</b> .....	<b>87</b>
A. Hukum I Newton .....	91
B. Hukum II Newton .....	93
C. Hukum III Newton .....	99
Evaluasi .....	113
<b>Evaluasi Semester Gasal</b> .....	<b>119</b>

<b>Bab VI. Alat Optik .....</b>	<b>123</b>
A. Pendahuluan .....	125
B. Mata .....	133
C. Kamera .....	138
D. Lup .....	139
E. Mikroskop .....	143
F. Teropong.....	146
G. Optalmoskop .....	151
Evaluasi .....	156
<b>Bab VII. Suhu, Kalor, dan Pemuaiian .....</b>	<b>159</b>
A. Kalor dan Pengaruhnya Terhadap Suatu Zat..	161
B. Cara Perpindahan Kalor .....	176
C. Hukum Kekekalan Energi untuk Kalor .....	185
Evaluasi .....	189
<b>Bab VIII. Listrik Dinamis.....</b>	<b>193</b>
A. Arus Listrik .....	195
B. Hubungan antara Tegangan dengan Kuat Arus Listrik .....	200
C. Hukum I Kirchoff .....	206
D. Hukum II Kirchoff .....	209
E. Susunan Komponen-komponen Listrik.....	211
F. Perbedaan Antara Tegangan DC dengan AC dan Rangkaian Sederhana .....	216
G. Energi Listrik dan Daya Listrik .....	222
H. Transformator .....	224
Evaluasi .....	228
<b>Bab IX. Gelombang Elektromagnetik .....</b>	<b>233</b>
A. Teori Gelombang Elektromagnet Maxwell .....	235
B. Spektrum Gelombang Elektromagnetik .....	237
Evaluasi .....	244
<b>Evaluasi Semester Genap.....</b>	<b>248</b>
<b>Evaluasi Akhir.....</b>	<b>252</b>
<b>Glosarium .....</b>	<b>258</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>263</b>
<b>Indeks .....</b>	<b>265</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>268</b>

# Bab I

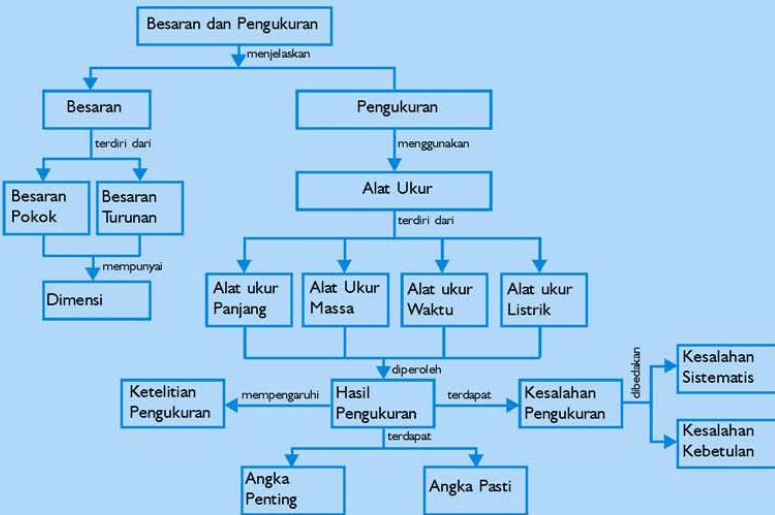
## Besaran Fisika dan Pengukuran

Sumber gambar: CD Image

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengukur besaran fisika (massa, panjang, dan waktu)

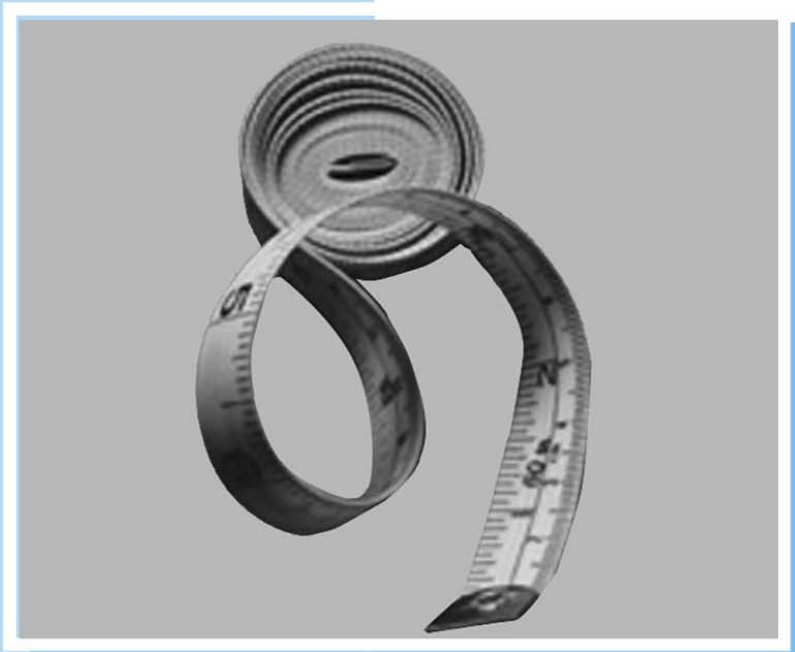
Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikan **Peta konsep** berikut:



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Besaran
2. Satuan
3. Dimensi





Sumber : CD Image  
Gambar: Alat ukur jahit

Pembentuk utama fisika adalah besaran-besaran fisika yang dipakai untuk menyatakan hukum-hukum fisika. Untuk mendapatkan bentuk besaran, pengukuran eksperimental yang teliti diperlukan, meskipun pemikiran kreatif juga memainkan peranan. Pengukuran suatu besaran dibuat relatif terhadap suatu standar atau satuan tertentu, dan satuan ini harus dinyatakan bersama dengan nilai numerik besaran. Misalnya, kita dapat mengukur panjang, satuan panjang seperti inci, kaki, kilometer, atau mil. Tidak mempunyai arti sama sekali dengan menyatakan panjang suatu benda tertentu adalah 16,8. Satuan haruslah diberikan; agar jelas, 16,8 meter sangat berbeda dengan 16,8 inci atau 16,8 kilometer.

## A. Besaran

### 1. Besaran Pokok

Dalam kegiatan laboratorium tidaklah mungkin dihindarkan kegiatan-kegiatan pengamatan dan pengukuran. Selain mempergunakan alat-alat ukur perlu diketahui besaran apa yang akan diukur, sehingga hasil pengamatan ini menghasilkan data-data fisis. Data-data ini berupa bilangan dengan satuan-satuan yang akan membandingkan data-data tersebut dengan satuan baku (satuan standar). Satuan standar ini adalah satuan-satuan yang diakui secara internasional, sedangkan besaran-besaran yang diukur diturunkan dari besaran-besaran pokok. Perhatikan besaran-besaran pokok pada Tabel 1.1!

**Tabel 1.1 Besaran Pokok, Lambang, Satuan, dan Simbol**

No.	Besaran Pokok	Lambang	Satuan Baku	Simbol
1.	Panjang	$l$	meter	m
2.	Massa	$m$	kilogram	kg
3.	Waktu	$t$	sekon	s
4.	Arus listrik	$i$	ampere	A
5.	Suhu	$T$	kelvin	K
6.	Jumlah zat	$N$	mol	mol
7.	Intensitas cahaya	$I$	candela	cd

Besaran yang lebih besar atau kecil diukur dengan kelipatan sepuluh dari satuan dasar ini, dengan menambahkan awalan sebagaimana yang diperlihatkan pada tabel 1.2!

**Tabel 1.2 Awalan Satuan, Simbol, dan Arti (dalam meter)**

No.	Awalan	Simbol	Arti
1.	Tera	T	$10^{12}$
2.	Giga	G	$10^9$
3.	Mega	M	$10^6$
4.	Kilo	k	$10^3$
5.	Hecto	h	$10^2$
6.	Deca	da	$10^1$
7.	Deci	d	$10^{-1}$
8.	Centi	c	$10^{-2}$

9.	Mili	m	$10^{-3}$
10.	Mikro	$\mu$	$10^{-6}$
11.	Nano	n	$10^{-9}$
12.	Piko	p	$10^{-12}$

Terdapat suatu kebiasaan dalam fisika yang dikenal dengan penulisan ilmiah untuk menyatakan nilai besaran dalam bentuk  $a \times 10^n$ . Renungkan, mengapa para ilmuwan lebih suka menuliskan dalam bentuk penulisan ilmiah? Dalam hal ini  $a$  merupakan bilangan  $-10 < a < 10$  dan  $n$  bilangan bulat positif atau negatif. Misalnya:

- 1380000 ditulis  $1,38 \times 10^6$ .
- 0,00067 ditulis  $6,7 \times 10^{-4}$ .

Standarisasi satuan selalu diperbarui mengingat kebutuhan tingkat ketelitian dan cara penentuannya. Standarisasi yang baru di antaranya adalah:

- 1 meter =  $1650763,73 \lambda\text{-Kr}$   
 $\lambda\text{ Kr}^{86}$  = panjang gelombang spektrum krypton dalam ruang hampa yang dikenal dalam spektroskopi dengan notasi  $2p^{10} - 5d^5$ .
- 1 kilogram = massa dari tabung platina iridium yang disimpan di International Bureau of Weights and Measures. Bakuannya kedua ialah massa atom C-12 sebagai 12 satuan massa atom.
- 1 sekon = waktu yang diperlukan atom cesium 133 untuk melakukan getaran sebanyak 9.192.631.770. Frekuensi karakteristik dari Isotop Cesium (Cs-133) inilah yang mendasari jam atomik yang dipakai oleh IBWM.
- 1 ampere = arus listrik yang mengalir melalui dua buah kawat sejajar yang amat panjang dan berjarak 1 meter di dalam hampa memberikan gaya sebesar:  $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ;  $\mu_0$  = permeabilitas hampa udara
- $$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} \text{ T m/A.}$$
- 1 kelvin =  $\frac{1}{273,16}$  dari suhu titik *triple* air, yaitu suatu kondisi yang hanya memiliki satu suhu dan tekanan di mana air, es, dan uap air berada dalam satu titik keseimbangan.

- 1 mol = banyaknya zat yang mempunyai massa sebesar berat atomnya.
- 1 candela (lilin) = seperenambelas dari intensitas cahaya yang dihasilkan dari 1 cm<sup>2</sup> radiasi benda hitam yang pijar pada suhu platina membeku = 2046 K.

## 2. Besaran Turunan

Selain besaran pokok dan satuan standar seperti pada tabel 1.1, dikenal juga besaran dan satuan turunan, perhatikan tabel 1.3!

**Tabel 1.3 Besaran Turunan, Lambang, Satuan, dan Simbol**

No.	Besaran Turunan	Lambang	Satuan	Simbol
1.	Kecepatan	$v$	meter/sekon	$m/s = ms^{-1}$
2.	Percepatan	$a$	meter/sekon <sup>2</sup>	$m/s^2 = ms^{-2}$
3.	Gaya	$F$	newton	N
4.	Luas	$L$	meter <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
5.	Volume	$V$	meter <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
6.	Massa jenis	$\rho$	kilogram/meter <sup>3</sup>	$kg/m^3 = kgm^{-3}$
7.	Tekanan	$P$	pascal	Pa
8.	Usaha	$W$	joule	J

## 3. Dimensi

Pada umumnya besaran mempunyai dimensi, yang dimaksud dengan dimensi suatu besaran adalah bagaimana cara besaran tersebut disusun dari besaran pokok. Dimensi besaran pokok dinyatakan dengan lambang berupa huruf besar dan biasanya diberi kurung persegi, seperti terlihat dalam tabel 1.4. Dimensi besaran turunan diperoleh dengan jalan menurunkan atau menjabarkan dari dimensi besaran pokok. Tabel 1.5 menunjukkan beberapa contoh dimensi turunan.

**Tabel 1.4 Dimensi Besaran Pokok**

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

**Tabel 1.5 Dimensi Besaran Turunan**

No.	Nama Besaran Turunan	Lambang Dimensi
1.	Kecepatan	[L] [T] <sup>-1</sup>
2.	Percepatan	[L] [T] <sup>-2</sup>
3.	Gaya	[M] [L] [T] <sup>-2</sup>
4.	Luas	[L] <sup>2</sup>
5.	Volume	[L] <sup>3</sup>
6.	Massa jenis	[M] [L] <sup>-3</sup>
7.	Tekanan	[M] [L] <sup>-1</sup> [T] <sup>-2</sup>
8.	Usaha Dan sebagainya.	[M] [L] <sup>2</sup> [T] <sup>-2</sup>

Pada tabel 1.5, kecepatan mempunyai satuan meter per sekon atau ms<sup>-1</sup>. Meter adalah besaran panjang yang mempunyai dimensi [L], sedangkan sekon besaran waktu mempunyai dimensi [T]. Oleh karena itu, kecepatan mempunyai dimensi [L] [T]<sup>-1</sup>.

### **Analisis Dimensional**

Dengan diketahuinya dimensi dari suatu besaran maka kita dapat menentukan hubungan kesetaraan antara dua besaran yang berbeda. Contoh penggunaan analisis dimensional antara lain sebagai berikut.

- a. Untuk mengungkapkan adanya hubungan kesetaraan antara dua besaran yang seperti tampak berbeda.  
Misalnya:

$$\text{Energi kinetik } (E_k) = \frac{1}{2} mv^2 \text{ dengan usaha } (W) = F \times S.$$

Dimensi energi kinetik dapat diturunkan dari:

$$E_k = \frac{1}{2} \text{ massa} \times (\text{kecepatan})^2$$

$$\begin{aligned} \text{Dimensi } E_k &= \text{dimensi besaran massa} \times (\text{dimensi besaran} \\ &\text{kecepatan})^2 \\ &= [M] \times \{ [L] [T]^{-1} \}^2 \\ &= [M] \times [L]^2 [T]^{-2} \\ &= [M] [L]^2 [T]^{-2} \end{aligned}$$

Sedangkan dimensi usaha dapat diturunkan dari:

$$\begin{aligned} W &= \text{gaya} \times \text{perpindahan} \\ &= \text{massa} \times \text{percepatan} \times \text{perpindahan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi } W &= \text{dimensi besaran massa} \times \text{dimensi besaran} \\
 &\quad \text{percepatan} \times \text{dimensi besaran panjang} \\
 &= [M] \times [L] [T]^{-2} \times [L] \\
 &= [M] [L]^2 [T]^{-2}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian terlihat bahwa dimensi  $E_k$  sama dengan dimensi  $W$ . Jadi, dapat disimpulkan bahwa ada kesetaraan antara energi kinetik dengan usaha. Karena satuan energi kinetik adalah joule maka satuan usaha juga joule. Jika dua besaran dapat dijumlahkan maka kedua besaran mempunyai dimensi sama.

## Aksi Fisika

*“Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!”*

Suatu besaran dapat dinyatakan dalam dimensi. Coba diskusikan dengan teman sebangku.

1. Jabarkan dimensi yang lain seperti percepatan, gaya dan usaha! Secara fisis, apa manfaat adanya dimensi?
2. Carilah besaran dan satuan yang mempunyai dimensi yang sama selain yang disebutkan dalam contoh!

- b. Dengan menggunakan analisis dimensi, memudahkan untuk menentukan kebenaran suatu persamaan.

Misalkan, persamaan  $S = v t$ , di mana  $S$  = perpindahan,  $v$  = kecepatan, dan  $t$  = waktu.

Benarkah persamaan itu? Tentu, untuk menjawab pertanyaan ini kita harus menentukan dimensinya sebagai berikut.

$S$  = perpindahan, merupakan besaran panjang dan mempunyai dimensi  $[L]$

$v$  = kecepatan, mempunyai dimensi  $[L][T]^{-1}$

$t$  = waktu, mempunyai dimensi  $[T]$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi } v t &= [L][T]^{-1} \times [T] \\
 &= [L]
 \end{aligned}$$

Persamaan di atas menunjukkan dimensi  $v t$  sama dengan dimensi  $S$ . Jadi, persamaan  $S = v t$  adalah benar.

## Contoh Soal 1.1

Tentukan dimensi dari:

1. Tekanan!
2. Energi potensial!
3. Daya!

**Penyelesaian:**

1. Tekanan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas.

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

$$= \frac{[M][L][T]^{-2}}{[L]^2} = [M] [L]^{-1} [T]^{-2}.$$

2. Energi potensial  $E_p$  didefinisikan sebagai massa  $\times$  percepatan gravitasi  $\times$  ketinggian suatu tempat.

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

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

3. Daya didefinisikan sebagai usaha per satuan waktu.

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{[M][L]^2[T]^{-2}}{[T]} = [M] [L]^2 [T]^{-3}$$

## B. Angka Penting dan Angka Pasti

Nelly mengukur sebatang galah dengan dua alat ukur panjang yang berbeda. Alat ukur A berskala terkecil cm (sentimeter). Alat ukur B berskala terkecil mm (milimeter). Dari pengukuran diperoleh hasil seperti pada tabel 1.6.

**Tabel 1.6 Contoh Pengukuran dalam Centimeter dan Milimeter**

No.	Alat Ukur yang Digunakan	Hasil Pengukuran	Hasil Pengukuran dalam Satuan Meter
1.	A	246,8 cm	2,468 m
2.	B	2467,9 mm	2,4679 m

Dari hasil pengukuran, bantulah Nelly menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut!

- Dengan alat ukur A:
  - Angka berapakah yang merupakan angka taksiran?
  - Bolehkah kalian menyebut angka taksiran yang lain? Jika boleh, sebutkan!
  - Angka-angka berapakah yang merupakan angka pasti?
  - Bolehkah kalian menyebut angka pasti yang lain?
- Dengan alat ukur B, jawablah pertanyaan-pertanyaan seperti no.1!

3. Dari pengukuran dengan alat ukur A dan dengan alat ukur B, manakah yang lebih teliti?
4. Sebutkan kesimpulan apa saja dari hasil pengukuran itu!

### 1. Pengertian Angka Penting

Pada hasil pengukuran 2,468 m, terdapat satu angka taksiran yaitu angka 8 dan 3 angka pasti yaitu angka 2, 4, dan 6. Jadi, terdapat 4 angka penting. Pada hasil pengukuran 2,4679 m terdapat satu angka taksiran, yaitu angka 9, dan 4 angka pasti, yaitu angka 2, 4, 6, dan 7. Jadi, terdapat 5 angka penting. Dapat diyakini hasil pengukuran 2,4679 m lebih teliti dari hasil pengukuran 2,468 m.

Dari kegiatan yang dilakukan oleh Nelly dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Setiap melakukan pengukuran, ada satu angka yang diragukan, yang disebut *angka taksiran*. Dan satu atau lebih angka yang tidak diragukan, yang disebut *angka pasti*. Keduanya disebut *angka penting*.
- b. Semakin banyak cacah angka penting pada suatu pengukuran, semakin teliti hasil pengukuran itu.

### 2. Menghitung Cacah Angka Penting

Angka-angka penting sebagai lambang bilangan dinyatakan dengan angka 0 sampai dengan angka 9. Perhatikan contoh pada tabel 1.7 berikut!

**Tabel 1.7 Contoh Hasil Pengukuran Cacah Angka Penting**

No.	Hasil Pengukuran	Cacah Angka Penting
1.	Massa benda 1,67 g	3
2.	Panjang tali 2,376 m	4
3.	Volume benda 20,0 m <sup>3</sup>	3
4.	Tebal buku 0,4 cm	1
5.	Diameter kawat 0,06 cm	1
6.	Massa cincin 0,70 g	2
7.	Berat benda 5,006 N	4
8.	Panjang jalan 32000 km	2



Dari tabel 1.7 di atas, untuk memudahkan cara menentukan cacah angka penting dapat digunakan pedoman sebagai berikut.

- a. Untuk angka penting yang ada tanda komanya, cacah angka penting dihitung dari angka bukan nol yang paling kiri ke kanan, perhatikan dengan cermat no. 1 – 7!
- b. Untuk angka penting yang tidak ada tanda komanya, cacah angka penting dihitung dari angka bukan nol paling kanan ke kiri, lihat no. 8!
- c. Hasil pengukuran panjang jalan sebesar 32.000 km (lihat no. 8), bisa ditulis lebih sederhana  $3,2 \times 10^7$  m. Penulisan semacam ini disebut penulisan dengan menggunakan notasi ilmiah atau penulisan ilmiah. Notasi ilmiah diperkenalkan untuk mempermudah, hal-hal sebagai berikut.
  - 1) Jarak pengukuran yang sangat jauh atau sebaliknya, misalkan jarak matahari ke bumi  $149600000000$  m =  $1,496 \times 10^{11}$  m. Jari-jari inti atom =  $1,2 \times 10^{-11}$  m.
  - 2) Massa suatu benda yang nilainya sangat besar atau sebaliknya, misalkan massa bumi =  $598 \times 10^{24}$  kg dan massa elektron sebesar  $9,1 \times 10^{-31}$  kg.
  - 3) Dimensi waktu yang sangat besar atau sebaliknya, misalkan umur jagat raya menurut perhitungan Hubble sudah  $2 \times 10^{10}$  tahun dan waktu hidup suatu partikel pion sebesar  $2,6 \times 10^{-8}$  sekon.

### 3. Berhitung dengan Angka Penting

Dalam mengolah data, kita sering membagi, mengalikan, menjumlah atau mengurangkan. Untuk itu digunakan aturan-aturan sebagai berikut.

- a. Hasil penjumlahan atau pengurangan dengan angka penting hanya boleh ada satu angka taksiran.
- b. Hasil kali atau hasil bagi dari angka penting, mempunyai cacah angka penting yang sama dengan cacah angka penting dari faktor kali atau bagi yang cacah angka pentingnya paling sedikit.
- c. Pada penarikan akar pada angka penting, menghasilkan angka yang memiliki cacah angka penting sama dengan cacah angka penting yang ditarik akarnya.
- d. Perhatikan, Nelly menimbang 40 butir telur massanya 2,735 kg. Angka 40 di sini diperoleh tidak dari mengukur tetapi diperoleh dari menimbang. Angka tersebut dinamakan *angka eksak* atau *angka pasti*. Aturan pada angka penting tidak diberlakukan pada angka eksak.

## Contoh Soal 1.2

1. Penjumlahan dan pengurangan angka penting
  - a. Batang A panjangnya 678,234 cm, batang B panjangnya 21,76 cm. Berapa panjang batang jika satu sama lain disambung?
  - b. Sebuah batang panjang 613,478 cm. Sisa berapa sentimeter, jika dipotong 13,42 cm?

### **Penyelesaian:**

- a.  $678,234 + 21,76 = 699,994$   
Karena hanya boleh ada satu angka yang diragukan, maka panjang batang 699,99 cm (dibulatkan).
  - b.  $613,478 - 13,42 = 600,058$   
Karena hanya boleh ada satu angka yang diragukan (angka taksiran) maka panjang batang 600,06 cm (dibulatkan).
2. Perkalian angka penting  
Dengan aturan angka penting, hitung luas bidang yang panjangnya 21,3 cm dan lebarnya 2,4 cm!

### **Penyelesaian:**

Luas bidang:  $21,3 \text{ cm} \times 2,4 \text{ cm} = 51,12 \text{ cm}^2$

Hasilnya:  $51 \text{ cm}^2$  (hasil kali mempunyai cacah angka penting sama dengan cacah angka penting dari faktor kali yang cacah angka pentingnya paling sedikit).

3. Pembagian dengan angka penting  
Jika diketahui massa benda 867,8 kg dan volume benda 2,4 kg. Tentukan massa jenis benda!

### **Penyelesaian:**

$$\text{Massa jenis} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{867,8 \text{ kg}}{2,4 \text{ m}^3} = 361,583 \text{ kgm}^{-3}$$

Karena faktor bagi yang angka pentingnya paling sedikit pada angka 2,4 yaitu terdiri atas dua angka penting maka hasil pembagian harus mempunyai 2 angka penting, yaitu 360. Jadi, massa jenis benda tersebut adalah  $360 \text{ kgm}^{-3}$ . Angka nol yang terakhir bukan angka penting.

4. Menarik akar angka penting  
Dengan menggunakan aturan angka penting hitunglah:

a.  $\sqrt{5}$

b.  $\sqrt{26}$

**Penyelesaian:**

- a.  $\sqrt{5} = 2,236$ , karena cacah angka penting  $\sqrt{5}$  adalah satu angka maka  $\sqrt{5} = 2$ .
  - b.  $\sqrt{26} = 5,099$ , karena cacah angka penting  $\sqrt{26}$  adalah dua angka maka  $\sqrt{26} = 5,1$ .
5. Mengalikan angka penting dengan angka eksak  
Satu butir telur massanya 62,54 gram. Hitunglah massa dari 14 butir telur!

**Penyelesaian:**

Angka 14 bukan angka penting, tetapi angka eksak maka tidak mengandung angka penting. Jadi, massa 14 telur =  $14 \times 62,54 = 875,56$  gram. Ditulis 875,6 (terdiri dari 4 angka penting).

### Latihan 1.1

1. Panjang sebuah pensil 20,1 cm. Hitung panjangnya jika dipotong 2,6 cm!
2. Hitung luas meja dengan panjang 82,72 cm dan lebar 41,2 cm!
3. Hitung massa jenis kelereng dengan massa 12,32 gram dan volume 2,13 cm<sup>3</sup>!
4. Hitung massa 25 buah apel, jika masing-masing apel massanya 200,2 gram!
5. Hitung luas meja belajar yang kalian gunakan di sekolah!

### C. Kesalahan

Hasil percobaan dalam fisika dinyatakan secara kuantitatif. Maka harus dilakukan pengukuran yang sangat teliti. Dalam hal ini sangat diperlukan alat ukur dengan skala bervaliditas tinggi. Walaupun demikian, setiap melakukan percobaan tidak bebas dari kesalahan-kesalahan.

## 1. Kesalahan Sistematis

### a. Kesalahan Alat Ukur

Alat ukur tidak ada yang sempurna baik pada pembuatannya maupun penerapannya.

### b. Kesalahan Paralaks

Kesalahan ini bersifat perorangan, yaitu pengamat kurang memahami cara membaca atau mengamati alat ukur.

### c. Kesalahan karena Kecerobohan

Misalkan kita menimbang zat cair, karena kurang hati-hati ada bagian zat cair yang terpercik maka ketika ditimbang untuk kedua kalinya, massanya berkurang.

## 2. Kesalahan Kebetulan

Kesalahan kebetulan ditimbulkan oleh hal-hal yang tidak dapat diramalkan terlebih dahulu.

### a. Kesalahan Menaksir

Angka taksiran seseorang berbeda dengan angka taksiran orang lain. Atau karena kelelahan, taksiran seseorang berbeda dari waktu ke waktu.

### b. Kesalahan Gangguan

Kesalahan gangguan disebabkan karena perubahan kondisi, misalnya adanya perubahan suhu, perubahan tegangan listrik, perubahan tekanan udara, dan guncangan alat ukur.

## 3. Meningkatkan Ketelitian

Salah satu cara untuk meningkatkan ketelitian adalah dengan cara melakukan pengukuran berkali-kali, perhatikan tabel 1.8!

**Tabel 1.8 Contoh Meningkatkan Ketelitian  
(Pengukuran Luas Meja)**

Pengukuran	Panjang	Lebar	Luas
I	$a_1$	$b_1$	$A_1 = a_1 b_1 = \dots$
II	$a_2$	$b_2$	$A_2 = a_2 b_2 = \dots$
III	$a_3$	$b_3$	$A_3 = a_3 b_3 = \dots$
IV	$a_4$	$b_4$	$A_4 = a_4 b_4 = \dots$

Pada tabel 1.8, kita menentukan luas meja dengan melakukan 4 kali pengukuran. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang kita harapkan, maka ditentukan nilai rata-ratanya.

Luas meja rata-rata =

$$A_r = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4}$$

#### a. Kesalahan Relatif

Pengukuran pertama

$$r_1 = \frac{A_1 - A_r}{A_r}$$

Selanjutnya dapat ditentukan kesalahan relatif kedua, ketiga, dan keempat, sehingga kesalahan relatif rata-rata dapat dihitung.

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{4}$$

Kita dapat juga memperoleh kesalahan mutlak S dengan

$$S = r \times A_r$$

#### b. Kesalahan Mutlak

Kesalahan jenis ini merupakan jumlah harga mutlak dari perbedaan harga setiap pengukuran terhadap harga rata-ratanya dibagi dengan cacah pengukuran ( $i$ ).

$$S_i = \frac{\sum |A_i - A_r|}{i}$$

Kita juga dapat menyatakan kesalahan dalam bentuk persentase terhadap harga reratanya.

$$r = \frac{S}{A_r} \times 100\%$$

Kesalahan ini disebut kesalahan relatif. Oleh karena itu, hasil dapat dituliskan.

$$A = A_r \pm S \text{ atau } A = A_r \pm r.$$

### Contoh Soal 1.3

Untuk mengukur volume sebuah balok, dilakukan 3 kali pengukuran pada panjang, lebar, dan tebal. Diperoleh data seperti pada tabel 1.9.

**Tabel 1.9 Hasil Data Pengukuran**

No.	Panjang	Lebar	Tebal	Volume
1.	2,42 cm	1,68 cm	0,20 cm	.....
2.	2,43 cm	1,67 cm	0,21 cm	.....
3.	2,41 cm	1,68 cm	0,20 cm	.....

Hitunglah volume balok!

**Penyelesaian:**

Dihitung volume balok pada masing-masing pengukuran:

$$V_1 = 2,42 \text{ cm} \times 1,68 \times 0,20 \text{ cm} = 0,81 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 2,43 \text{ cm} \times 1,67 \times 0,21 \text{ cm} = 0,85 \text{ cm}^3$$

$$V_3 = 2,41 \text{ cm} \times 1,68 \times 0,20 \text{ cm} = 0,81 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume balok rata-rata} = \bar{V} &= \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \\ &= \frac{0,81 \text{ cm}^3 + 0,85 \text{ cm}^3 + 0,81 \text{ cm}^3}{3} \\ &= 0,82 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Kesalahan relatif pada pengukuran:

$$\text{Pertama: } S_1 = |V_1 - \bar{V}| = |0,81 - 0,82| = 0,01$$

$$\text{Kedua: } S_2 = |V_2 - \bar{V}| = |0,85 - 0,82| = 0,03$$

$$\text{Ketiga: } S_3 = |V_3 - \bar{V}| = |0,81 - 0,82| = 0,01$$

$$\text{Kesalahan rata-rata} = S_i = \frac{0,01 + 0,03 + 0,01}{3} = 0,16$$

$$\text{Kesalahan relatif } r = \frac{0,016}{0,82} \times 100\% = 19,5\%$$

Sehingga hasil perhitungan volume dituliskan  $(0,82 \pm 0,16) \text{ cm}^3$  atau  $(0,82 \pm 19,5 \%) \text{ cm}^3$ .

## Latihan 1.2

1. Untuk mengukur luas sebuah papan dilakukan 3 kali pengukuran panjang dan lebar, dengan data seperti tabel 1.10.

**Tabel 1.10 Data Pengukuran**

No.	Panjang	Lebar	Luas
1.	4,38 cm	3,79 cm	.....
2.	4,35 cm	3,77 cm	.....
3.	4,37 cm	3,77 cm	.....

Hitung:

- a. luas rata-rata papan,
  - b. kesalahan relatif rata-rata,
  - c. luas meja yang dapat dipertanggungjawabkan!
2. Dari jenis-jenis kesalahan, kesalahan apakah yang paling sering terjadi pada pengukuran?
  3. Lakukan 5 kali pengukuran luas papan tulis yang kalian miliki di kelas, hitung:
    - a. luas rata-ratanya,
    - b. kesalahan relatifnya,
    - c. luas meja yang bisa dipertanggungjawabkan!

## D. Mengenal Beberapa Alat Ukur

Dalam fisika, kita mengenal beberapa alat ukur, antara lain alat ukur panjang, massa, waktu, kuat arus listrik, tegangan listrik, suhu, dan lain-lainnya.

### 1. Alat Ukur Panjang

Alat ukur panjang yang sering digunakan dalam fisika antara lain: penggaris, jangka sorong, dan mikrometer.

#### a. Jangka Sorong

Jangka sorong mempunyai rahang tetap dan rahang sorong yang dapat digeser, yang dilengkapi dengan 10 bagian skala. Skala ini disebut *nonius* atau *vernir*. Jangka sorong mempunyai ketelitian 0,1 mm. Harga ini diperoleh karena pada skala vernir dibagi 10 bagian.

Untuk bagian skala nonius 1 mm. Pada gambar 1.1b, angka nol dari nonius terletak antara angka 11 dan 12 milimeter pada skala utama. Garis skala nonius yang berimpit dengan skala utama adalah garis skala nonius 4. Jadi, hasil pengukuran adalah 11,4 milimeter. Angka 1 dan 1 pada pengukuran tadi disebut angka pasti, sedangkan angka 4 disebut angka taksiran, tetapi tidak boleh diabaikan. Angka-angka 1, 1, dan 4 disebut angka penting.

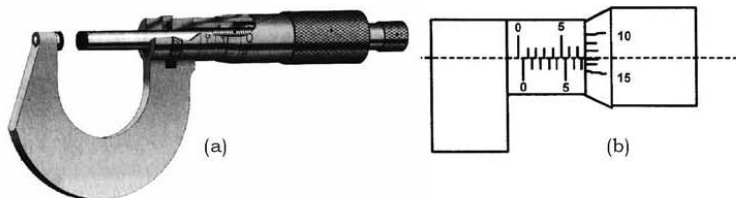


Sumber: Sains dan Kehidupan

**Gambar 1.1** Jangka sorong (a) dan cara membaca pada jangka sorong (b)

### b. Mikrometer Sekrup

Pada gambar 1.2, pengukuran tebal karet dengan menggunakan mikrometer sekrup.



Sumber: Sains dan Kehidupan

**Gambar 1.2** Mikrometer sekrup (a) dan cara membaca pada mikrometer sekrup (b)

Mikrometer sekrup mempunyai skala tetap dan skala ulir. Skala ulir mempunyai skala 0 sampai dengan 50. Tiap satu putaran skala ulir bergeser 0,5 mm.

Jadi, satu skala pada ulir =  $\frac{1}{50} \times 0,5 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$ .

Maka ketelitian mikrometer = 0,01mm.

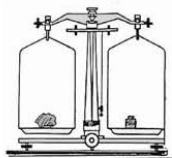
Pada gambar 1.2b, skala tetap menunjukkan angka 7,0 mm lebih, lebihnya dapat dilihat pada skala ulir. Pada skala ulir menunjuk angka 13. Jadi, lebihnya =  $13 \times 0,01 \text{ mm} = 0,13 \text{ mm}$ . Jadi, tebal karet penghapus =  $7,0 \text{ mm} + 0,13 \text{ mm} = 7,13 \text{ mm}$ .



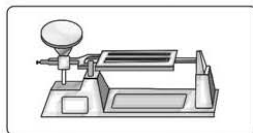
## 2. Alat Ukur Massa

Dalam percakapan sehari-hari perbedaan antara massa dan berat tidak begitu penting. Bahkan kita akan ditertawakan apabila mengatakan: “Massa petinju itu 120 kg”. Tetapi di dalam fisika massa dan berat adalah besaran-besaran fisika yang berbeda. Oleh karena berat (yang benar adalah gaya berat) berbanding lurus dengan massa, kita dapat mengukur massa sebuah benda dengan cara membandingkan gaya gravitasi bumi terhadap benda itu dengan gaya gravitasi bumi terhadap massa standar. Untuk maksud ini kita gunakan neraca sama lengan yang dilengkapi dengan anak timbangan seperti tampak pada gambar 1.3a.

Anak timbangan itu dimaksudkan sebagai massa standar apabila neraca dalam keadaan seimbang maka massa benda yang ditimbang sama dengan massa sejumlah anak timbangan yang digunakan. Alat lain untuk mengukur massa benda adalah neraca Ohaus (gambar 1.3b).



(a)



(b)

Sumber: *BGMI*

**Gambar 1.3** Neraca sama lengan (a) dan neraca Ohaus (b)

Dalam keadaan tanpa beban neraca diusahakan seimbang. Kemudian letakkan benda yang akan diukur massanya di atas piring neraca! Aturilah posisi anak timbangan sampai tercapai keseimbangan kembali! Dengan demikian massa benda sama dengan massa yang ditunjukkan oleh posisi anak timbangan.

## 3. Alat Ukur Waktu

Alat ukur waktu yang sering digunakan dalam kegiatan fisika adalah *stopwatch* (lihat gambar 1.4). Misalnya, untuk mengukur selang waktu sebuah benda yang dilempar sampai jatuh kembali. Tekan pertama kali untuk mengembalikan posisi jarum ke titik nol. Tekan kedua kali bersamaan dengan saat benda dilempar. Tekan ketiga kali



Sumber: *Sains dan Kehidupan*

**Gambar 1.4** Stopwatch

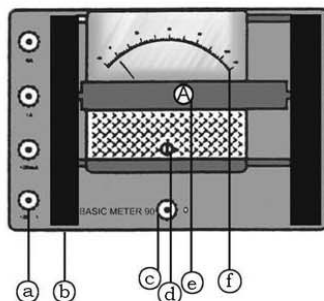
saat benda jatuh. Selang waktu dapat dibaca pada jarum, jarum pendek menunjukkan skala menit, jarum panjang skala detik.

#### 4. Alat Ukur Listrik

Alat ukur listrik yang sering digunakan pada kegiatan fisika di SMA adalah basicmeter. Basicmeter dapat digunakan untuk mengukur kuat arus listrik dan tegangan listrik (lihat gambar 1.5).

Gambar 1.5 di samping memperlihatkan bagian-bagian *basicmeter* 90.

- Binding post* untuk memilih batas ukur maksimum
- Saklar pemilih fungsi (voltmeter / amperemeter)
- Ground*/ nol
- Penyetel nol
- Petunjuk fungsi alat
- Skalameter



Sumber: Zat dan Energi

Gambar 1.5 Bagian-bagian basicmeter

Alat ukur listrik yang lain misalnya lihat gambar 1.6!

- Voltmeter, untuk mengukur tegangan listrik.
- Amperemeter, untuk mengukur kuat arus listrik.
- Multimeter atau multitester, untuk mengukur kuat arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan.



(a)



(b)



(c)

Sumber: Sains dan Kehidupan

Gambar 1.6 Voltmeter (a), amperemeter (b), dan multitester (c)

“Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!”

## Dimensi Fisika



Kalian pasti sering melihat alat seperti pada gambar di samping. Alat apa yang terlihat pada gambar tersebut? Besaran apakah yang dapat diukur oleh alat itu, laju, kecepatan, atau keduanya?

### Percobaan

Setelah kita pahami penggunaan alat ukur marilah kita terapkan pada suatu percobaan. Misalnya mencari hubungan antara kuat arus dan tegangan listrik pada suatu penghantar.

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk memahami hubungan kuat arus dan tegangan listrik.

#### Konsep:

Suatu penghantar listrik mempunyai hambatan.

#### Saran penyajian:

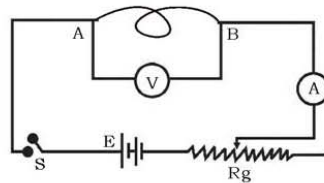
Melakukan percobaan untuk menentukan hambatan penghantar.

#### Alat dan bahan:

1. Hambatan geser ( $R_g$ )
2. Voltmeter atau basicmeter yang diposisikan untuk mengukur tegangan ( $V$ )
3. Amperemeter atau basicmeter yang diposisikan untuk mengukur kuat arus ( $A$ )
4. Sumber tegangan (2 buah baterai)
5. Seutas kawat penghantar
6. Pemutus arus atau saklar ( $S$ ).

#### Persiapan percobaan:

1. Susunlah alat-alat seperti pada gambar 1.7!
2. Posisikan hambatan geser pada posisi maksimum!



Gambar 1.7 Skema rangkaian alat percobaan

**Langkah-langkah percobaan:**

1. Alirkan arus listrik dengan menekan tombol saklar!
2. Baca dan catatlah kuat arus ( $i$ ) pada amperemeter! Perhatikan skalanya dinyatakan dalam ampere atau miliampere! Mengapa ini perlu diperhatikan?
3. Baca tegangan ( $V$ ) pada voltmeter! Bagaimana skala yang dinyatakan dalam alat tersebut?
4. Geser sedikit hambatan geser ke posisi minimum. Apa sebenarnya fungsi hambatan geser?
5. Catat kuat arus dan tegangan!
6. Ulangi langkah 3 sampai 5 kali geseran!
7. Dengan mengubah hambatan geser, maka nilai  $i$  dan  $V$  akan berubah, mengapa?
8. Bagaimana hubungan antara ketiga variabel tersebut?
9. Putuskan arus listrik dengan menekan saklar!

**Hasil pengamatan:**

1. Catat hasil pengamatan pada tabel 1.11 di bawah ini!

**Tabel 1.11 Data Hasil Pengukuran**

No.	$i$ (ampere)	$V$ (volt)	$R = \frac{V}{i}$ (ohm)
1.	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....
4.	.....	.....	.....
5.	.....	.....	.....

2. Buatlah grafik hubungan antara tegangan ( $V$ ) dan kuat arus ( $i$ )!
3. Pada grafik yang kalian buat, bagaimana komentar kalian tentang hubungan  $V$  dan  $i$ ?
4. Jelaskan hubungan antara  $V$  dan  $R$ !
5. Berilah kesimpulan yang dapat dipakai sebagai kata kunci dari hasil pengukuran yang kalian lakukan!

## Rangkuman

1. Besaran pokok: panjang, massa, waktu, arus listrik, suhu, jumlah zat, dan intensitas cahaya.
2. Besaran turunan, diantaranya: kecepatan, percepatan, gaya, luas, volume, massa jenis, tekanan, usaha.
3. Setiap pengukuran harus memperhatikan angka penting dan aturannya.
4. Macam kesalahan yang bisa muncul ketika melakukan pengukuran.
  - a. Kesalahan sistematis
  - b. Kesalahan kebetulan
5. Alat ukur dalam pengukuran:
  - a. Alat ukur panjang: jangka sorong, mikrometer sekrup.
  - b. Alat ukur massa: neraca sama lengan, neraca ohaus.
  - c. Alat ukur waktu: stopwatch.
  - d. Alat ukur listrik: basicmeter, voltmeter, amperemeter, dan multitester.

## Evaluasi

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

1. Meter<sup>2</sup> kilogram per sekon<sup>3</sup> adalah satuan . . . .
  - a. energi
  - b. daya
  - c. momen kelembaman
  - d. momen gaya
  - e. momentum sudut
2. Satuan tekanan dalam SI adalah . . . .
  - a. atmosfer
  - b. pascal
  - c. cm Hg
  - d. newton
  - e. mm Hg
3. Besaran-besaran di bawah ini yang tidak merupakan besaran turunan adalah . . . .
  - a. momentum
  - b. kecepatan
  - c. gaya
  - d. massa
  - e. volume

4. Dimensi berat sama dengan dimensi . . . .
  - a. massa
  - b. gaya
  - c. energi kinetik
  - d. usaha
  - e. daya
5. Besaran-besaran berikut yang dapat dijumlahkan adalah . . . .
  - a. massa dan berat
  - b. berat dan gaya
  - c. percepatan dan kecepatan
  - d. gaya dan daya
  - e. usaha dan daya
6. Pada pengukuran panjang diperoleh hasil 0,1070 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran adalah . . . .
  - a. dua
  - b. tiga
  - c. satu
  - d. empat
  - e. lima
7. Pada pengukuran massa suatu benda diperoleh 0,001350 kg. Jumlah angka penting pada pengukuran adalah . . . .
  - a. enam
  - b. lima
  - c. empat
  - d. tiga
  - e. dua
8. Dari hasil pengukuran sebidang tanah diperoleh panjang 15,35 m dan lebar 8,24 m. Luas bidang tanah adalah . . . .
  - a. 126 m<sup>2</sup>
  - b. 126,5 m<sup>2</sup>
  - c. 126,48 m<sup>2</sup>
  - d. 126,484 m<sup>2</sup>
  - e. 126,4840 m<sup>2</sup>
9. Jika sebuah mangga bermassa 210,2 gram maka 16 mangga mempunyai massa . . . .
  - a. 3,400 gram
  - b. 3,360 gram
  - c. 3,363 gram
  - d. 3,3632 gram
  - e. 3,300 gram
10. Jika alat ukur berskala kilometer, panjang benda adalah . . . .
  - a. 4,450 km
  - b. 4,4500 km
  - c. 4450 m
  - d. 4450,0 m
  - e.  $4,450 \times 10^3$  km

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

1. Tentukan dimensi dari:
  - a. Kecepatan
  - b. Percepatan
  - c. Momentum
  - d. Gaya
  - e. Tekanan
  - f. Usaha
  - g. Daya
  - h. Energi Kinetik
  - i. Impuls
  - j. Massa jenis
2. Tunjukkan  $v = v_0 + at$  bahwa secara dimensional persamaan tersebut benar, di mana  $v$  dan  $v_0$  adalah kecepatan,  $a$  adalah percepatan dan  $t$  adalah waktu!
3. Ukur panjang, lebar, tinggi, dan massa dari buku fisika ini. Dari hasil pengukuran yang diperoleh hitung:
  - a. volume buku tersebut,
  - b. luas satu halaman buku,
  - c. kerapatan kertas yang dipakai (dalam  $m^{-2}$ ).
4. Percepatan  $a$  sebuah partikel yang bergerak melingkar beraturan dengan kecepatan  $v$ , dengan jari-jari  $r$  adalah berbanding lurus dengan  $r^n$  dan  $v^m$ . Dengan analisis dimensional bagaimana cara menentukan nilai  $n$  dan  $m$ ?
5. Sebuah kubus mempunyai rusuk 1,47 cm dan massa 2,1 gram. Berapakah massa jenis kubus?
6. Aturan angka penting tidak berlaku pada angka eksak. Mengapa?
7. Pengukuran waktu menggunakan stopwatch, jarum menit menunjukkan angka 1 lebih, jarum panjang pada skala 35 lebih  $2/5$  skala. Sebutkan hasil pembacaannya!
8. Delapan anak menentukan waktu ayun bandul. Masing-masing mencatat 4,57 sekon, 4,56 sekon, 4,58 sekon, 4,60 sekon, 4,57 sekon, 4,56 sekon, 4,55 sekon, dan 4,56 sekon.
  - a. Berapa detikkah nilai rata-rata waktu ayun pada pengukuran?
  - b. Berapakah kesalahan relatif rata-rata pada pengukuran?
9. Lima orang siswa mengukur panjang sepotong galah dengan penggaris berskala mm diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut.

No.	Nama Siswa	Hasil Pengukuran
1.	Abidin	54,66 cm
2.	Basuki	54,65 cm
3.	Cahyani	54,64 cm
4.	Deni	54,61 cm
5.	Endang	54,66 cm

- a. Adakah diantara 5 orang siswa yang melakukan kesalahan membaca alat ukur?
  - b. Hitunglah panjang rata-rata galah!
10. a. Anggaplah bahwa setiap  $\text{cm}^3$  (sentimeter kubik) air mempunyai massa 1 gr, tentukan massa 1 kubik air dinyatakan dalam kg!
- b. Jika waktu 10 jam, air mengalir dengan volume  $5700 \text{ m}^3$  maka berapa kelajuan massa air yang mengalir dalam kg/s?

## Aplikasi

**“Ayo kembangkan semangat kewirausahaan dan etos kerja kalian!”**

### Konversi Suatu Besaran dan Satuan

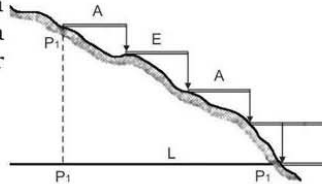
#### 1. Pengukuran Lantai Ruangan

- a. Buatlah kelompok di mana tiap kelompok terdiri dari 4 hingga 5 siswa!
- b. Siapkan sebuah mistar yang panjangnya antara 3 – 5 m!
- c. Dalam sebuah mistar akan terlihat adanya perbedaan skala. Amati kedua skala mistar tersebut, misalnya dalam bentuk m dan *feet* atau m dan *inches*. Sebutkan skala mistar yang dipakai!
- d. Gunakan mistar tersebut untuk mengukur panjang dan lebar lantai di suatu ruangan, misalkan ruang kelas dan ruang belajar!
- e. Laporkan hasil pengukuran yang dinyatakan dalam dua skala!
- f. Konversikan besaran dan satuan hasil pengukuran yang dinyatakan dalam SSI!
- g. Berapa nilai 1 feet dan 1 inches bila dikonversi ke m?



## 2. Pengukuran Jarak

- Pada daerah datar, pengukuran jarak digunakan dengan dua buah mistar ukur yang silih berganti didempetkan satu sama lain. Ukurlah panjang dan lebar lapangan olahraga di sekolahmu dengan cara tersebut!
- Untuk daerah yang curam digunakan sistem batu duga seperti pada gambar samping!



Sumber: Teknik sekitar kita  
Sistem batu duga

Ukurlah panjang lereng tebing di dekat sekolahmu dengan cara seperti pada gambar di atas!

# Bab II



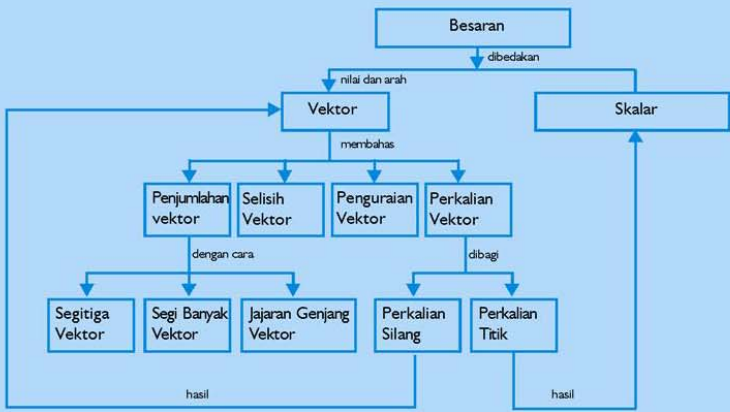
## Vektor

Sumber gambar: CD Image

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat melakukan penjumlahan vektor, mencari selisih vektor dan menguraikan vektor.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Besaran vektor
2. Besaran skalar

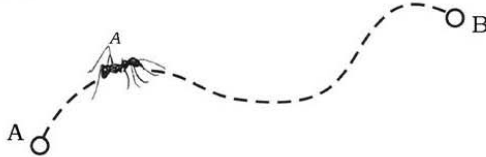


Sumber gambar: *CD Image*  
Gambar: *Pesawat tempur*

Penggambaran suatu diagram dan keadaan fisika tertentu adalah sangat membantu dalam ilmu fisika, dalam hal ini berguna, terutama ketika menghadapi vektor. Besaran-besaran yang memiliki sifat seperti pergeseran disebut vektor. Begitu juga dengan pesawat terbang yang menempuh jarak dari satu tempat pindah ke tempat yang lainnya. Untuk membahasnya kita ikuti penjelasan dalam bab ini.

## Besaran Vektor dan Besaran Skalar

Gambar 2.1 menunjukkan seekor semut bergerak dari lubang A menuju lubang B menurut lintasan yang digambarkan dengan garis putus-putus.



**Gambar 2.1** Lintasan perpindahan dari seekor semut

Dengan menggunakan gambar 2.1 di atas maka:

1. Bayangkan dan gambarkan secara sketsa jarak yang ditempuh oleh semut pada buku tulis!
2. Ukurlah jarak dengan penggaris dari sketsa perjalanan seekor semut!
3. Bayangkan dalam pikiran kalian, jika menggambarkan perpindahan seekor semut kebalikan arah dengan no. 1!
4. Ukur kembali jarak perjalanan semut tersebut!
5. Apa yang bisa kalian kemukakan dari pengertian antara perpindahan dan jarak berdasarkan sketsa dan jarak yang dibuat?

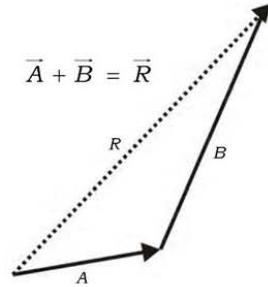
Jarak yang ditempuh semut adalah panjang lintasan garis putus-putus yang ditempuh oleh semut. Jarak merupakan besaran skalar. Contoh besaran skalar yang lain misalnya, massa, laju, volume, massa jenis, waktu, dan lain-lainnya. Besaran skalar adalah besaran fisika yang sudah cukup jelas apabila dinyatakan nilainya saja, misalkan 10 kg. Sedangkan AB adalah perpindahan kedudukan semut, yaitu keadaan awal di A dan keadaan akhir di B. Perpindahan merupakan besaran vektor. Besaran vektor adalah besaran fisika yang dinyatakan dengan nilai dan arahnya, misalkan semut berjalan  $0,2 \text{ ms}^{-1}$ . Jadi, makna  $0,2 \text{ ms}^{-1}$  adalah semut berjalan 0,2 m tiap sekon dan arahnya pasti dipertanyakan, bukan? Contoh besaran vektor yang lain: berat, kecepatan, gaya, impuls.

## 1. Menjumlahkan Vektor

### a. Segitiga Vektor

Pada gambar 2.2 menunjukkan cara penjumlahan vektor  $\vec{A}$  dan vektor  $\vec{B}$  yang dikenal sebagai penjumlahan cara segitiga vektor. Vektor  $\vec{R}$  adalah resultan dari kedua vektor tersebut. Secara matematika dapat ditulis  $\vec{A} + \vec{B} = \vec{R}$ .

Perhatikan cara menjumlahkan vektor seperti pada gambar 2.2, di mana arah anak panah vektor mempunyai arti fisis yang berbeda, dan bagaimana kalau arahnya semula dibalik, tentu maknanya berbeda walaupun besarnya sama. Oleh karena itu dua vektor dikatakan sama jika mempunyai besar dan arah yang sama.



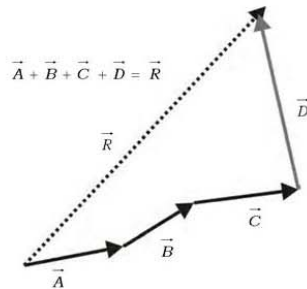
**Gambar 2.2** Penjumlahan vektor cara segitiga

### b. Segi Banyak Vektor

Pada gambar 2.3 menunjukkan cara penjumlahan vektor  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{C}$ , dan  $\vec{D}$ . Hasilnya adalah resultan vektor dari keempat jenis vektor tersebut. Secara matematika dapat ditulis dalam bentuk persamaan  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$ .

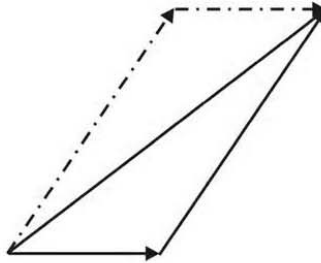
Penjumlahan seperti persamaan di atas disebut juga sebagai penjumlahan vektor dengan cara poligon

Vektor negatif (vektor invers) mempunyai ukuran yang sama dengan vektor  $\vec{A}$  tetapi arahnya berlawanan.



**Gambar 2.3** Penjumlahan segi banyak vektor

**c. Jajaran Genjang Vektor**

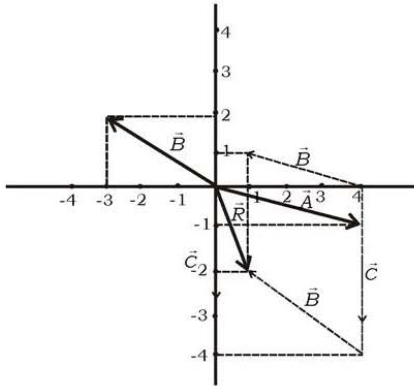


**Gambar 2.4** Penjumlahan vektor dengan jajaran genjang

Pada gambar 2.4 di atas, menunjukkan bahwa vektor  $\vec{A}$  dapat dijumlahkan dengan vektor  $\vec{B}$  dengan cara melukis sebuah jajaran genjang. Di mana diagonal  $\vec{R}$  adalah sebagai resultan vektor dari penjumlahan kedua vektor tersebut.

**Contoh Soal 2.1**

Tiga buah vektor sebidang dalam suatu sistem koordinat tegak lurus seperti pada gambar.



Tentukan resultan dari ketiga vektor tersebut! Untuk menjawabnya dilakukan sebagai berikut. Ambil vektor  $\vec{A}$  sebagai vektor yang dibuat tetap, pindahkan vektor  $\vec{B}$  ke

$\vec{A}$  dengan menempatkan titik pangkal  $\vec{B}$  ke ujung  $\vec{A}$  kemudian pindahkan vektor  $\vec{C}$  ke vektor  $\vec{B}$  hasil pindahan, dengan meletakkan pangkal  $\vec{C}$  ke ujung vektor  $\vec{B}$ . Tarik garis dari titik O ke ujung vektor  $\vec{C}$  pindahan, hasilnya adalah vektor  $\vec{R}$ . Dapat pula melakukan dengan memindahkan vektor  $\vec{C}$  terlebih dahulu kemudian vektor  $\vec{B}$  maka akan diperoleh hasil yang sama.

## Latihan 2.1

Buatlah sketsa perjalanan dari rumahmu sampai ke sekolah untuk setiap ruas jalan yang dilalui dan jabarkan dalam satu vektor perpindahan. Hitung perpindahan total (resultan) secara geometris dengan segitiga atau segi banyak!

*“Ayo kembangkan wawasan lingkungan lokal/  
pengalaman sehari-hari kalian”*



Perhatikan gambar di samping, kalian pasti tahu gambar tersebut. Ya, benar. Gambar di samping adalah kincir angin. Gerakan kincir angin merupakan salah satu contoh penerapan dari vektor. Beri argumentasi kalian, mengapa demikian!

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

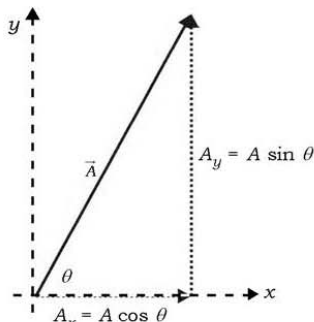
## Dimensi Fisika

### 2. Mencari Selisih Vektor

Jika ada dua vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  maka selisih kedua vektor adalah  $\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$ . Persamaan di atas secara matematika juga bisa ditulis dalam persamaan  $\vec{R} = \vec{A} + (-\vec{B})$ .

### 3. Menguraikan Vektor

Pada pembahasan ini akan dibatasi cara menguraikan sebuah vektor menjadi dua komponen yang saling tegak lurus. Gambar 2.5 menunjukkan sebuah vektor  $\vec{A}$  dapat diuraikan menjadi dua buah vektor yaitu  $A_x$  dan  $A_y$ .  $A_x$  merupakan komponen vektor  $\vec{A}$  ke arah sumbu  $x$ ,  $A_y$ , komponen vektor  $\vec{A}$  ke arah sumbu  $y$ . Besar  $A_x = A \cos \theta$  dan  $A_y = A \sin \theta$ .



**Gambar 2.5** Menguraikan vektor  $\vec{A}$  ke sumbu  $x$  dan  $y$

Dengan menggunakan hukum Pythagoras diperoleh bahwa besar vektor  $|\vec{A}|$  adalah  $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ . Untuk menentukan besarnya sudut  $\theta$ , yaitu sudut yang dibentuk antara vektor  $\vec{A}$  terhadap sumbu  $x$  bisa ditentukan dengan  $\text{tg } \theta = \frac{A_y}{A_x}$ .

#### Aksi Fisika

**"Ayo kembangkan kecakapan sosial dan akademik kalian!"**

Apakah kalian sudah memahami materi vektor? Jika sudah, diskusikan dengan teman sebangku kalian untuk menyelesaikan soal berikut agar dapat lebih mendalami materi vektor!

1. Dengan mengacu persamaan  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$  pada gambar 2.4, gambarkan secara grafik dari persamaan  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$  di mana arah vektor  $\vec{B}$  kebalikan arah, dan gambarkan juga untuk selisih kedua vektor!
2. Mengacu pada persamaan  $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + 2A_x A_y \cos \theta}$  Buatlah persamaan kembali  $|\vec{A}|$  jika sudut  $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ , dan  $180^\circ$ !

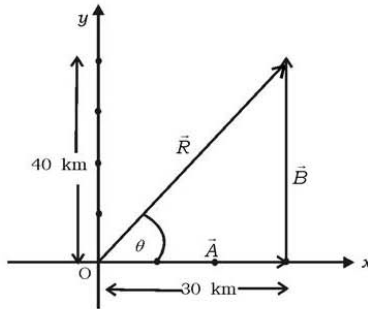
#### Contoh Soal 2.2

1. Sebuah mobil bergerak ke timur sejauh 30 km pada jalan datar. Sesampainya di persimpangan, mobil membelok ke utara sejauh 40 km. Kemudian berhenti. Tentukanlah perpindahan mobil tersebut.



**Penyelesaian:**

Dibuat diagram vektor  $x, y$ . Sumbu  $x$  positif menyatakan arah ke timur, dan sumbu  $y$  positif mengarah ke utara.



$\vec{A}$  adalah pergeseran ke arah timur,  $\vec{B}$  pergeseran ke arah utara, pergeseran resultan  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$  ditunjukkan pada gambar.

Karena  $\vec{B}$  tidak memiliki komponen  $x$  dan  $\vec{A}$  tidak memiliki komponen  $y$  maka

$$R_x = A_x + B_x = 30 \text{ km} + 0 = 30 \text{ km}$$

$$R_y = A_y + B_y = 0 + 40 \text{ km} = 40 \text{ km}$$

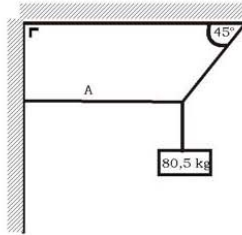
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$
$$= \sqrt{(30 \text{ km})^2 + (40 \text{ km})^2} = 50 \text{ km}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{R_y}{R_x}$$
$$= \frac{40 \text{ km}}{30 \text{ km}} = 1,33$$

$$\theta = \text{Arc tg } (1,33) = 53^\circ$$

Vektor pergeseran  $\vec{R}$  adalah 50 km dengan arah  $53^\circ$  ke utara dari arah timur.

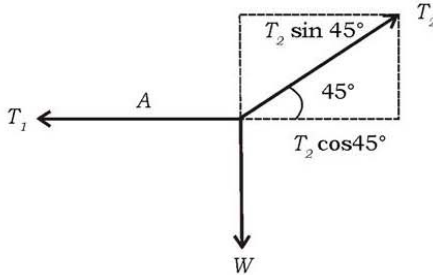
2. Sebuah balok yang massanya 80,5 kg tergantung pada dua utas tali yang bersambungan seperti yang terlihat pada gambar.



Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Hitung besar tegangan pada tali.

**Penyelesaian:**

- a. Diuraikan ke dalam diagram vektor  $x, y$



- b. Oleh karena benda diam maka jumlah gaya ke arah sumbu

$x = 0, \Sigma \vec{F}_x = 0$  dan ke arah sumbu  $y = 0, \Sigma \vec{F}_y = 0$

Untuk yang ke arah sumbu  $x$

$$T_2 \cos 45^\circ - T_1 = 0$$

$$T = T_2 \cos 45^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{2} T_2$$

Untuk yang searah sumbu  $y$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T_2 \sin 45^\circ - W = 0$$

$$T_2 \times \frac{1}{2} \sqrt{2} = W$$

$$T_2 = \frac{W}{\frac{1}{2} \sqrt{2}}$$

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{1}{2}\sqrt{2} T_2 \\
 &= \frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{W}{\frac{1}{2}\sqrt{2}} = W = mg \\
 &= 80,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ ms}^{-2} = 788,9 \text{ newton}
 \end{aligned}$$

## Latihan 2.2

Andi pergi ke sekolah naik sepeda dan berangkat pada saat hari masih pagi. Ia mengayuh sepeda ke utara sejauh 50 m, ke timur sejauh 500 m, ke selatan sejauh 400 m dan ke barat sejauh 50 m dan Andi sampai ke sekolah. Gambar skema lintasan Andi! Tunjukkan vektor perpindahan Andi dan hitung panjangnya!

- Berapa jarak yang ditempuh Andi?
- Besaran manakah yang merupakan vektor dan manakah yang merupakan skalar?

## 4. Perkalian vektor

Pada saat kita membicarakan penjumlahan atau pengurangan vektor, kita beranggapan bahwa vektor-vektor tersebut sejenis. Oleh karena itu kita tidak dapat menjumlahkan antara vektor perpindahan dengan vektor kecepatan. Keadaan ini sama seperti pada saat kita tidak dapat menjumlahkan antara massa dan suhu, antara panjang dan waktu.

Keadaan berbeda pada saat perkalian atau pembagian. Kita dapat mengoperasikan dua besaran yang tidak sejenis untuk menghasilkan besaran yang lain seperti kelajuan, antara panjang dengan waktu.

Operasi perkalian vektor dapat dibedakan ke dalam tiga jenis.

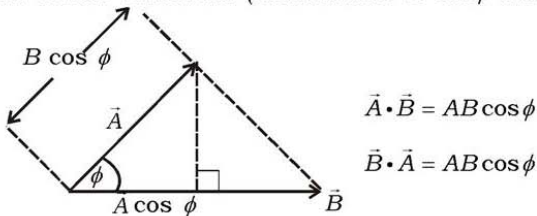
- Perkalian vektor  $\vec{a}$  dengan skalar  $k$  yang menghasilkan vektor baru  $k\vec{a}$  yang besarnya  $k$  kali dari vektor  $\vec{a}$ . Arah vektor baru ini sama dengan vektor sebelumnya, apabila  $k$  adalah positif, dan berlawanan arah apabila  $k$  negatif. Hal ini berlaku juga pada pembagian vektor dengan skalar.

- b. Jenis perubahan vektor yang kedua adalah perkalian vektor dengan vektor dengan hasilnya berupa skalar, sehingga dikenal sebagai perkalian skalar (*scalar product*). Perkalian skalar antara vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  ditulis sebagai  $\vec{A} \cdot \vec{B}$ , dan didefinisikan sebagai:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \phi$$

dengan  $A$  (skalar vektor) adalah besar vektor  $\vec{A}$ ,  $B$  adalah besar vektor  $\vec{B}$  dan  $\cos \phi$  adalah sudut yang dibentuk antara  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Karena  $A$  dan  $B$  adalah skalar, dan  $\phi$  bilangan murni maka hasil perkalian berupa skalar.

Perkalian skalar dapat pula diartikan sebagai perkalian antara besar salah satu vektor (misalkan  $A$ ) dengan komponen vektor lain (dalam arah vektor tersebut. (katakanlah  $B \cos \phi$  atau proyeksi vektor)



**Gambar 2.6** Perkalian vektor dengan vektor

Perkalian jenis ini akan dijumlahkan pada saat membicarakan tenaga yang dilakukan oleh suatu gaya.

- c. Jenis perkalian vektor yang ketiga adalah perkalian antara dua vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  yang menghasilkan vektor  $\vec{C}$ , dituliskan sebagai  $\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$ . Besar vektor  $\vec{C}$  didefinisikan sebagai

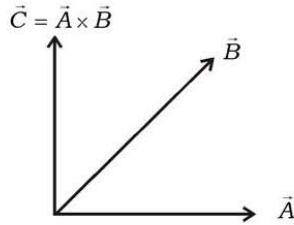
$$C = AB \sin \phi$$

dengan  $\phi$  adalah sudut yang dibentuk oleh  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Perkalian seperti ini dikenal sebagai perkalian silang (*cross product*) atau perkalian vektor.

Oleh karena  $\vec{C}$  merupakan vektor maka diperlukan arah dari  $\vec{C}$ . Arah  $\vec{C}$  didefinisikan tegak lurus pada bidang yang dibentuk oleh  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Untuk menggambarkan arah ini kita dapat menggunakan sekrup yang sumbunya tegak lurus pada bidang yang

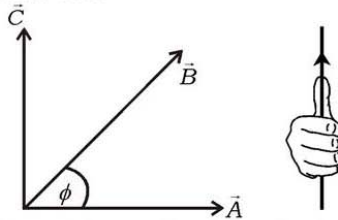
dibentuk oleh  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Bila sekrup diputar dari  $\vec{A}$  ke  $\vec{B}$  maka sekrup akan maju arah majunya ini didefinisikan sebagai arah vektor  $\vec{C}$ . Dengan demikian apabila diputar  $\vec{B}$  ke arah  $\vec{A}$  maka arah C akan berlawanan. Dengan demikian

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$



**Gambar 2.7** Skema arah putar sekrup

Arah  $\vec{C}$  dapat pula didekati dengan kepalan jari tengah tangan kanan, seperti gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Pendekatan vektor dengan kepalan jari tangan

### Contoh Soal 2.3

Suatu vektor  $\vec{A}$  sebesar 10 satuan mengarah ke timur. Vektor lain  $\vec{B}$  (5 satuan) berarah ke utara bekerja pada titik yang sama. Hitunglah (a) perkalian skalar  $\vec{A} \cdot \vec{B}$  dan (b) perkalian vektor  $\vec{A} \times \vec{B}$

**Penyelesaian:**

- a) Oleh karena vektor A dan  $\vec{B}$  saling tegak lurus maka sudut  $\phi = 90^\circ$ . Oleh karena itu

$$\begin{aligned} \vec{A} \cdot \vec{B} &= AB \cos \phi \\ &= (10)(5) \cos 90^\circ \\ &= (50)(0) = 0 \end{aligned}$$

Berarti vektor  $\vec{A}$  tidak memiliki komponen pada arah  $\vec{B}$  .  
 Juga vektor  $\vec{B}$  tidak memiliki komponen pada arah  $\vec{A}$  .

b) Perkalian vektor dari kedua vektor tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\vec{A} \times \vec{B} &= (10) (5) \sin 90^\circ \\ &= (50) \times 1 \\ &= 50\end{aligned}$$

Arahnya tegak lurus pada bidang yang dibentuk adalah  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  .

### Latihan 2.3

Sebuah mobil bergerak 20 km ke arah utara dan kemudian mobil tersebut bergerak 45 km dengan  $60^\circ$  ke arah barat laut.

- Gambar skala perjalanan mobil!
- Tentukan besar dan arah perpindahan mobil tersebut!

## Rangkuman

- Besaran vektor adalah besaran fisika yang mempunyai besar dan arah, contoh: perpindahan.
- Besaran skalar adalah besaran fisika yang hanya mempunyai besar atau nilai saja, contoh: jarak.
- Penjumlahan vektor
  - Segitiga vektor
  - Segi banyak vektor
  - Jajaran genjang vektor

- Menguraikan vektor
 
$$A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \sin \theta$$

Sehingga besar vektor  $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$  dan besarnya sudut

antara vektor A.  $\text{tg} \theta = \frac{A_y}{A_x}$

- perkalian titik (*dot product*)  $\vec{A} \cdot \vec{B} =$  hasilnya berupa bilangan.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \phi$
  - Perkalian silang (*cross product*)  $\vec{A} \times \vec{B} =$  (hasilnya berupa vektor). Besarnya  $\vec{C} = \vec{A} \vec{B} \sin \phi$

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

- Dua buah vektor yang sama besar masing-masing panjang 20 cm dan membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lainnya. Resultan kedua vektor itu panjangnya adalah . . . .
  - nol
  - $\frac{20}{2}\sqrt{3}$  cm
  - 20 cm
  - 40 cm
  - $20\sqrt{3}$
- Jika sebuah vektor dari 12 N diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus dan yang sebuah dari padanya membentuk sudut  $30^\circ$  dengan vektor itu maka besar masing-masing vektor adalah . . . .
  - 6 N dan  $6\sqrt{5}$  N
  - 6 N dan  $6\sqrt{2}$  N
  - $6\sqrt{3}$  N dan 6 N
  - 3 N dan  $6\sqrt{2}$  N
  - 3 N dan  $3\sqrt{3}$  N
- Jika besar perkalian cross dua buah vektor sama dengan perkalian dotnya maka sudut antara kedua vektor tersebut adalah . . . .
  - $120^\circ$
  - $100^\circ$
  - $90^\circ$
  - $60^\circ$
  - $45^\circ$
- Dua buah vektor  $a$  dan  $b$  masing-masing 3 dan 4 satuan. Nilai  $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$  sama dengan:
  - 7 satuan jika sudut antara  $\vec{a}$  dan  $\vec{b} = 0^\circ$
  - 5 satuan jika sudut antara  $\vec{a}$  dan  $\vec{b} = 90^\circ$
  - 1 satuan jika sudut antara  $\vec{a}$  dan  $\vec{b} = 180^\circ$
  - 8 satuan jika sudut antara  $\vec{a}$  dan  $\vec{b} = 60^\circ$
 Yang benar adalah . . . .
  - 1, 2, dan 3
  - 1 dan 3
  - 2 dan 4
  - 4
  - 1, 2, 3, dan 4

5. Dua buah vektor saling sejajar dan searah jika . . . .
- $\vec{a} + \vec{b} = 0$
  - $\vec{a} - \vec{b} = 0$
  - $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$
  - $\vec{a} \times \vec{b} = 0$
  - $\vec{a} : \vec{b} = 0$
6. Tinjau dua pergeseran yang besarnya 6 m dan 8 m. Cara menggabungkan kedua vektor tersebut agar menghasilkan pergeseran resultan 10 m maka keduanya perlu . . . .
- sejajar
  - berlawanan arah
  - membentuk sudut  $45^\circ$
  - membentuk sudut  $60^\circ$
  - membentuk sudut  $90^\circ$
7. Sebuah mobil bergerak 50 km ke arah timur, kemudian 30 km ke arah utara  $30^\circ$ . Apabila ada jalan lurus yang menghubungkan kedua titik tersebut jarak kedua titik tersebut adalah . . . .
- 20 km
  - 40 km
  - 40 km
  - 70 km
  - 80 km
8. Sebuah partikel yang bergerak lurus  $\vec{v}$  ke arah timur di medan magnet  $B$  yang mengarah dari utara ke selatan mengalami pembelokan. Besar hasil perkalian vektor dari kedua besaran tersebut adalah . . . .
- $|\vec{B}||\vec{v}|$
  - $\frac{1}{2}\sqrt{2}|\vec{B}||\vec{v}|$
  - $\frac{1}{2}\sqrt{3}|\vec{B}||\vec{v}|$
  - $\frac{1}{2}|\vec{B}||\vec{v}|$
  - 0
9. Sebuah benda yang terletak di atas alas licin ditarik oleh gaya  $\vec{F}$  yang bekerja  $60^\circ$  dari arah gerak ke arah sumbu  $x$ . Energi yang diperlukan untuk menggerakkan sejauh  $x$  diperoleh dengan perkalian skalar yang besarnya adalah . . . .
- $Fx$
  - $\frac{1}{2}\sqrt{3}Fx$
  - $\frac{1}{2}\sqrt{2}Fx$
  - $\frac{1}{2}Fx$
  - 0



10. Besar komponen suatu vektor ( $\vec{A}$ ) pada arah vektor lain  $\vec{B}$  adalah separuh dari besar vektor  $\vec{A}$ . Sudut yang dibentuk oleh kedua vektor adalah . . . .
- |               |               |
|---------------|---------------|
| a. $0^\circ$  | d. $60^\circ$ |
| b. $30^\circ$ | e. $90^\circ$ |
| c. $45^\circ$ |               |

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

- Besar resultan dua buah gaya adalah  $6\sqrt{2}$  N dan mengapit sudut  $45^\circ$  terhadap salah satu gaya yang besarnya  $(6 + 6\sqrt{2})$  N. Hitung:
  - Besar gaya lainnya!
  - Sinus sudut apit kedua gaya tersebut!
- Seorang menyeberang sungai yang lebar sekali menggunakan sampan dengan kecepatan 20 km/jam ke arah selatan. Jika arus 10 km/jam ke barat. Hitung resultan kecepatan sampan tersebut dan ke mana arahnya!
- Dua vektor setitik tangkap masing-masing besarnya 2 satuan dan 3 satuan, resultan yang terjadi 4 satuan. Berapa besar sudut apit antara kedua vektor tersebut?
- Dua vektor  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  menghasilkan resultan  $\vec{R}$ . Besar  $\vec{R} = \vec{F}_2 = 5$  satuan. Jika sudut apit antara  $\vec{R}$  dan  $\vec{F}_1$  adalah  $30^\circ$ . Tentukan:
  - Sudut apit antara  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$ !
  - Besarnya  $\vec{F}_1$ !
- Sebuah pesawat terbang menempuh 40 km dalam arah  $60^\circ$  utara dari timur, kemudian 10 km ke timur, dan akhirnya  $10\sqrt{3}$  km ke utara. Tentukan besar dan arah perpindahan pesawat terbang tersebut dihitung dari titik berangkatnya!

# Bab III



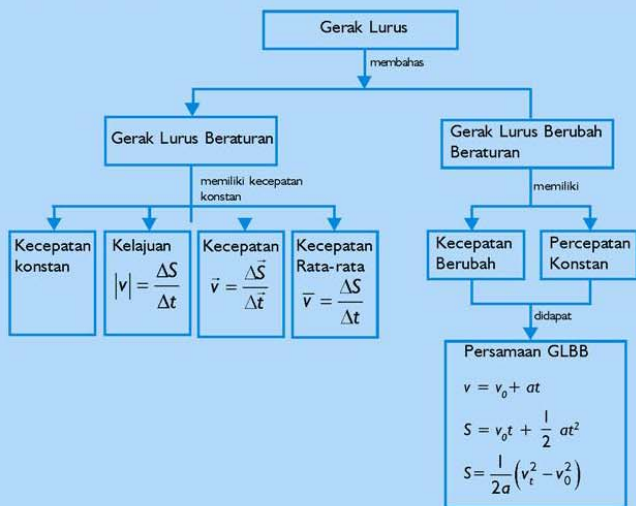
## Gerak Lurus

Sumber gambar: Oxford Ensiklopedi Jilid 6

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menganalisis besaran fisika pada gerak lurus dengan kecepatan dan percepatan konstan.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Kelajuan
2. Waktu
3. Kecepatan
4. Percepatan



**Sumber gambar:** *Oxford Ensiklopedi  
Jilid 6*

**Gambar:** *Mobil balap  
menggunakan parasit*

Gerakan benda-benda seperti bola yang ditendang, mobil yang meluncur, begitu juga matahari dan bulan adalah bagian nyata dari kehidupan sehari-hari. Tak diragukan lagi bahwa gerak merupakan salah satu segi dari dunia fisika yang dipelajari secara saksama. Penelaahan gerak benda dan konsep-konsep yang berhubungan dengan gaya dan energi, membentuk bidang kajian yang disebut mekanika. Mekanika biasanya dibagi menjadi 2 bagian: Kinematika, yang menggambarkan bagaimana benda-benda bergerak, dan dinamika yang berurusan dengan mengapa benda bergerak sebagaimana yang terlihat. Dalam bab ini akan dibahas tentang kinematika.

## A. Gerak Lurus Beraturan

Joni dan Adi bermain kelereng. Joni membidikkan kelerengnya ke kelereng Adi. Ternyata bidikan kelereng Joni tepat mengenai kelereng Adi. Apa makna ketepatan bidikan kelereng Joni? Tentu, ada beberapa pendapat maupun suatu pertanyaan yang bisa kalian kemukakan, bukan? Dikatakan kelereng Joni melakukan suatu gerakan sehingga mengenai kelereng Adi. Apakah ini yang kalian maksudkan? Apakah kalian melihat gerakan kelereng Joni? Diskusikan dengan temanmu dan gambarkan secara sketsa dari gerakan kelereng Joni!

Santi mengendarai sepeda motor bebek pada jalan yang lurus. Mulai dari kilometer 4 sampai dengan kilometer 13, speedometer selalu menunjuk angka 40 km per jam. Apa yang dilakukan oleh Santi dalam melakukan perjalanannya? Siapa yang melakukan gerakan? Apa yang bisa kalian bayangkan terhadap gerakan sepeda motor Santi selama melakukan perjalanannya? Apa arti dari jalan yang lurus sepanjang kilometer 4 sampai kilometer 13? Mengapa speedometer selalu menunjukkan angka 40 km per jam? Apa arti 40 km/jam? Dari berbagai pertanyaan, coba kalian renungkan sebentar dan diskusikan dengan temanmu!

Dari dua contoh kejadian, yaitu mengenai gerakan kelereng dan sepeda motor, ada beberapa hal yang perlu dijadikan kata kunci yaitu gerakan, kecepatan, waktu yang diperlukan, dan lintasan yang ditempuh. Kelereng Joni mengenai kelereng Adi karena melakukan gerakan dengan suatu kecepatan dan waktu tertentu, dan mempunyai suatu bentuk lintasan tertentu. Sepeda motor Santi melakukan gerakan sehingga mempunyai kecepatan tetap yaitu 40 km/jam, yang berarti tiap 1 jam menempuh 40 km sepanjang lintasan jalan yang lurus. Konsep-konsep ini semua akan dibicarakan dalam ilmu fisika dan tentunya kalian diharapkan akan tertarik mempelajarinya.

Dalam ilmu fisika suatu benda yang melakukan gerak dengan lintasan garis lurus dinamakan gerak lurus, dan jika lintasannya melingkar dinamakan gerak melingkar. Suatu benda yang melakukan gerak lurus atau gerak melingkar dengan kelajuan tetap dinamakan gerak lurus beraturan bisa juga gerak melingkar beraturan. Dalam subpokok bahasan ini akan dibahas tentang gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Apa yang dimaksud dengan gerak lurus berubah beraturan? Untuk menjawab pertanyaan ini, kita tunda untuk subpokok bahasan berikutnya!

## 1. Kelajuan

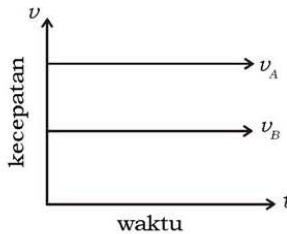
Besar kecepatan atau kelajuan  $|\vec{v}|$  adalah jarak ( $\Delta S$ ) yang ditempuh oleh suatu benda persatuan waktu ( $\Delta t$ ). Oleh karena itu, persamaan untuk kelajuan dapat ditulis:

$$|\vec{v}| = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

dengan  $\Delta S$  dinyatakan dalam m,  $\Delta t$  dinyatakan dalam s maka  $v$  dinyatakan dalam  $\text{ms}^{-1}$ .

Kelajuan adalah besaran skalar? Jelaskan!

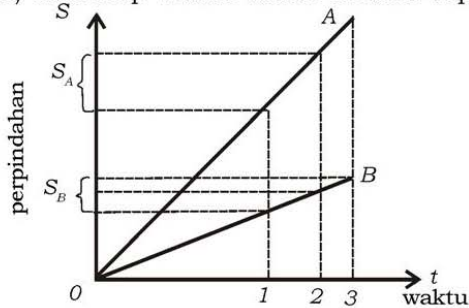
Perhatikan keadaan dua orang, yang pertama (A) berlari sedangkan orang kedua berjalan dengan kecepatan yang tetap. Kita buat gerakan kedua orang ini dalam suatu grafik dengan absisnya adalah waktu dan ordinatnya adalah kecepatan. Hasilnya seperti gambar berikut.



**Gambar 3.1** Grafik  $v$  terhadap  $t$

Garis mendatar  $v_A$  menunjukkan besar kecepatan pada setiap saat untuk pelari A, sedangkan pejalan kaki B, yang lebih lambat, dilambangkan oleh  $v_B$ . Tetapi keduanya berangkat dengan kecepatan yang konstan.

Sekarang apabila gerakan kedua orang itu dibuat dalam perpindahan ( $S$ ) terhadap waktu maka terlihat seperti gambar berikut.



**Gambar 3.2** Grafik  $S$  terhadap  $t$

Kita dapat saja membuat grafik untuk berbagai kasus gerak benda. Misal perjalanan dari rumah ke sekolah, pergerakan anak kecil yang mondar mandir, atau pergerakan mobil yang lalu lalang di jalan.

Sekarang kita akan menemukan cara menggambarkan kecepatan orang berjalan. Kita lihat pada grafik perpindahan terhadap waktu. Pada saat selang waktu tertentu,  $t_1$  sampai  $t_2$ . Jarak yang ditempuh oleh keduanya berbeda. Selang waktu antara  $t_2 - t_1$  dituliskan sebagai  $\Delta t$ . Sedangkan jarak antara  $S_1$  dan  $S_2$  dituliskan  $\Delta S$ . Perbandingan jarak yang ditempuh oleh benda terhadap pada selang waktu yang digunakan disebut kecepatan, rata-rata dituliskan

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1}$$

Kita tahu bahwa pergerakan atau pergeseran mengandung besar dan arah, atau vektor, oleh karena itu kecepatan juga vektor, besar kecepatan disebut sebagai kelajuan (*speed*).

## 2. Kecepatan

Kecepatan ( $\vec{v}$ ) adalah perpindahan ( $\Delta \vec{S}$ ) suatu benda per satuan waktu ( $\Delta t$ ). Sehingga persamaan untuk kecepatan adalah:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

### Aksi Fisika

**“Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!”**

Setelah memahami dan mempelajari Gerak Lurus Beraturan, kalian menemukan bentuk persamaan kelajuan dan kecepatan yang sama. Bagaimana perbedaan dan kesamaan secara fisika bentuk persamaan kelajuan dan kecepatan? Berikan analisis kalian!

## 3. Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Sesaat

Misal sepeda motor Santi bergerak dari P ke C lewat A dan B. Pada saat  $t_P$  ada di P, saat  $t_A$  ada di A, saat  $t_B$  ada di B, dan saat  $t_C$

ada di C. Berdasarkan  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$  kecepatan  $\vec{v}_{PA}$  adalah  $\vec{S}_{PA}$  dibagi  $t_{PA}$ ,

kecepatan  $\vec{v}_{AB}$  adalah  $\vec{S}_{AB}$  dibagi  $t_{AB}$ , dan kecepatan  $\vec{v}_{BC}$  adalah  $\vec{S}_{BC}$  dibagi  $t_{BC}$ .



Secara umum, seluruh perjalanan yang ditempuh oleh Santi adalah kecepatan dari titik P ke titik C,  $\vec{v}_{PC}$  adalah  $\vec{S}_{PC}$  dibagi waktu secara keseluruhan  $t_{PC}$ . Oleh karena itu dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$\vec{v}_{PC} = \frac{\Delta \vec{S}_{PC}}{\Delta t_{PC}} = \frac{\vec{S}_C - \vec{S}_P}{t_C - t_P}$$

Persamaan di atas disebut kecepatan rata-rata ( $\vec{v}_{PC} = \vec{v} = v_{\text{rata-rata}}$ ).

Pada persamaan  $\vec{v}_{PC} = \frac{S_C - S_P}{t_C - t_P}$ , jika  $\Delta t_{PC}$  mendekati nol maka persamaan di atas dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$\vec{v}_{PC} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S_{PC}}{\Delta t_{PC}} = \frac{dS}{dt}$$

Persamaan di atas disebut sebagai kecepatan sesaat

$$(\vec{v}_{PC} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S_{PC}}{\Delta t_{PC}} = \frac{dS}{dt} = v_{\text{sesaat}}).$$

### Percobaan 3.1

Untuk memperdalam pengetahuan tentang gerak lurus, marilah kita melakukan percobaan berikut!

**Tujuan pembelajaran:**

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk memahami hubungan perpindahan  $S$  dengan waktu  $t$ .

**Konsep:**

Gerak lurus beraturan mempunyai kecepatan tetap.

**Saran penyajian:**

Melakukan percobaan untuk menentukan kecepatan.

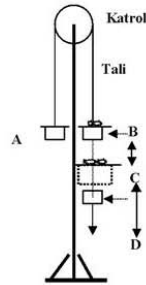
**Alat dan bahan:**

1. Pesawat Atwood lengkap dengan katrol, tali penggantung, dua beban berongga dengan massa sama
2. Stopwatch

3. Pasir
4. Mistar
5. Beban tambahan yang dapat terkait dan tertinggal di C.

**Langkah-langkah percobaan:**

1. Percobaan dilakukan oleh dua-tiga siswa.
2. Susunlah alat-alat seperti gambar 3.3!
3. Lewatkan tali melalui katrol!
4. Ikatkan kedua beban pada masing-masing ujungnya A dan B!
5. Usahakan sistem beban dan tali mencapai keseimbangan di kedua ujungnya, yaitu beban A dan beban B,
6. Kemudian sedikit demi sedikit beban B ditambah pasir, sehingga sistem tersebut bergerak ke bawah. Mengapa?
7. Pada saat beban B melalui titik C, beban tambahan tersebut akan tertinggal, sehingga secara matematika kedua beban tersebut kembali pada keseimbangan antara A dan B, tetapi faktanya B tetap bergerak. Mengapa?
8. Coba pikirkan dari langkah 5 dan 6, bagaimana sistem gerak yang kalian amati sebelum dan sesudah beban B melewati titik C?
9. Untuk menjawab no. 7, ulangi percobaan kalian untuk pengamatan yang lebih teliti!
10. Semua data dimasukkan ke dalam tabel 3.1!
11. Tentukan jarak  $S_{BC}$  pada posisi keseimbangan sampai di titik C dan catat waktu  $t$  yang diperlukan!
12. Ukur jarak yang sama  $S_{BC} = S_{CD}$ , seperti no. 11, yaitu dari titik C ke jarak yang kalian tentukan, misal dari C ke bawah sampai D, dan catat waktu yang diperlukan?
13. Adakah perbedaan waktu yang diperlukan? Mengapa?
14. Ulangilah percobaan ini dengan mengubah-ubah jarak  $S_{BC}$  yang berbeda-beda paling sedikit 3 kali dan dengan menggunakan lembaran data seperti terlihat dalam tabel 3.1!
15. Diskusikan dengan teman kalian untuk menarik suatu kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan!



**Gambar 3.3** Sketsa pesawat



### Hasil pengamatan:

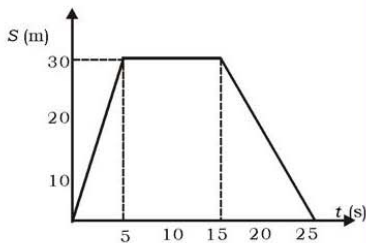
#### 1. Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan Proyek 1

No.	$S_{BC}$ (cm)	$t_{BC}$ (s)	$v_{BC}$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	$S_{CD}$ (cm)	$t_{CD}$ (s)	$v_{CD}$ ( $\text{ms}^{-1}$ )
1.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Rata-rata						

2. Dari tabel 3.1 di atas:
  - a. Buatlah grafik hubungan antara  $S_{BC}$  dan  $t_{BC}$  (pada kertas grafik)!
  - b. Buatlah grafik hubungan antara  $S_{CD}$  dan  $t_{CD}$  (pada kertas grafik)!
  - c. Bandingkan hasil kedua grafik dan berilah komentar menurut bahasa kalian!

### Contoh Soal 3.1

1. Grafik perpindahan  $S$  dan waktu  $t$  dari sebuah benda yang bergerak lurus digambarkan dengan grafik seperti pada gambar di bawah.
  - a. Hitung kecepatan benda sampai dengan detik ke-5!
  - b. Hitung kecepatan benda dari detik ke-5 s/d ke-15!
  - c. Hitung kecepatan benda dari detik ke-15 s/d ke-25!
  - d. Gambarkan lintasan benda pada garis lurus!
  - e. Hitung jarak yang ditempuh benda!
  - f. Hitung perpindahan benda!



**Penyelesaian:**

- a. Besar kecepatan sampai detik ke-5:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{30\text{m}}{5\text{s}} = 6\text{ms}^{-1}$$

- b. Besar kecepatan dari detik ke-5 s/d ke-15:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{(30 - 30)\text{m}}{(15 - 5)\text{s}} = 0\text{ms}^{-1}, \text{ benda dalam posisi}$$

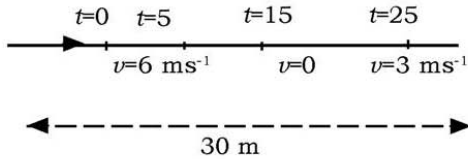
berhenti selama 10s

- c. Besar kecepatan dari detik ke-15 s/d ke-25:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{(0 - 30)\text{m}}{(25 - 15)\text{s}} = -3\text{ms}^{-1}$$

Diskusikan dengan temanmu apa arti tanda negatif pada  $-3\text{ms}^{-1}$ ?

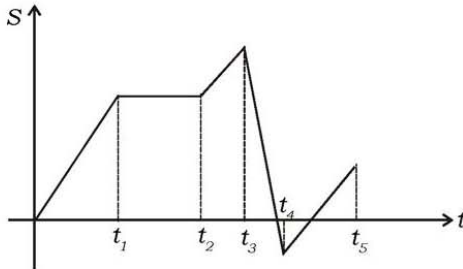
- d.



- e. Gambar (d), menunjukkan bahwa jumlah jarak yang ditempuh oleh benda,  $S = (30 + 30)\text{m} = 60\text{m}$ .

- f. Perpindahan benda (dari gambar d)  $\Delta S = (30 - 30)\text{m} = 0\text{m}$ .

2. Gerak suatu benda dijabarkan dengan grafik kedudukan (S) terhadap waktu (t) seperti berikut.



Jelaskan keadaan kecepatan dari gerak benda tersebut.

**Penyelesaian:**

Grafik di atas merupakan grafik hubungan antara kedudukan ( $S$ ) dan waktu ( $t$ ), oleh karena itu untuk menggambarkan kecepatan diselang waktu yang ditunjukkan.

$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  pada grafik ditunjukkan oleh gradien (kemiringan)

garis pada grafik itu. Pada selang antara  $0 - t_1$ , benda bergerak maju, karena kemiringannya condong ke arah  $t$  positif.  $t_1 - t_2$ , benda tersebut diam, kemiringannya nol artinya tidak mengalami perubahan kedudukan. Benda bergerak maju lagi dengan lebih cepat antara  $t_2 - t_3$  dari pada ( $0 - t$ ) mengapa? Karena sudut kemiringannya lebih besar, saat ( $t_3 - t_4$ ) benda bergerak mundur, mengapa? Kedudukannya semakin kecil dan kemiringannya condong negatif. Setelah itu ( $t_4 - t_5$ ) benda bergerak maju lagi.

**B. Gerak Lurus Berubah Beraturan**

Kembali kepada cerita Joni dan Adi, di mana kedua anak tersebut bermain kelereng. Adi barang kali merasa kesal karena kelereng Joni selalu mengenainya. Akhirnya Adi memperpanjang jarak dengan harapan kelereng Joni tidak sampai mengenai kelerengnya. Apa yang dipikirkan Adi betul, di mana kelereng Joni berhenti sebelum mengenainya. Mengapa harus berhenti, kesal Joni! Timbul pertanyaan di hati Joni, bagaimana agar kelereng Adi bisa ditumbuk oleh kelerengku? Akhirnya Joni dengan keras menekan kelerengnya sehingga mengenai kelereng Adi. Akibat selanjutnya kedua anak tersebut di samping main kelereng juga bermain ilmu-ilmu fisika bukan? Coba renungkan!

Pada cerita Santi, sepeda motornya setelah menempuh jarak 40 km dalam waktu 1 jam tiba-tiba Santi ketemu temannya dan akhirnya dia menggunakan rem sepeda motornya untuk berhenti. Saat menekan rem sampai berhenti diperlukan waktu 10 s. Setelah cerita mengenai ilmu fisika yang dianggapnya mudah dan menyenangkan, Santi melanjutkan perjalanan kembali dan bergerak dengan kecepatan semula. Dari berita tersebut, sebutkan ada berapa konsep fisika yang dialami oleh Santi dengan sepeda motornya? Tentu, kalian berpikir bahwa Santi melakukan

perjalanan dari posisi diam,  $v = 0$  km/jam, terus bergerak dengan kecepatan bertambah hingga mencapai kecepatan,  $v = 40$  km/jam, dan melambat untuk berhenti hingga mendapatkan kecepatan,  $v = 0$  km/jam kembali.

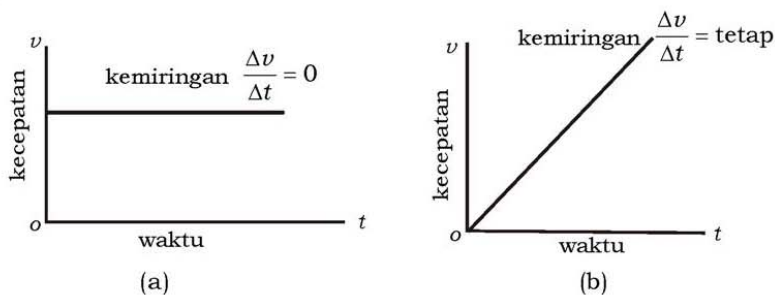
Pada cerita Joni, Adi, dan Santi, ada konsep fisika yang perlu kalian catat yaitu, perubahan kecepatan  $\Delta v$ , perubahan waktu  $\Delta t$ , dan lintasan garis lurus. Adanya perubahan kecepatan yang konstan dengan disertai perubahan waktu, dan bergerak dengan lintasan garis lurus dalam ilmu Fisika disebut gerak lurus berubah beraturan, sering disebut GLBB. Apakah ketiga anak di atas melakukan ini semua? Jelaskan! Bagaimana kalau lintasannya melingkar? Tentunya ada istilah gerak melingkar berubah beraturan, bukan? Dalam subpokok bahasan ini kalian akan dibawa ke pengertian gerak lurus berubah beraturan.

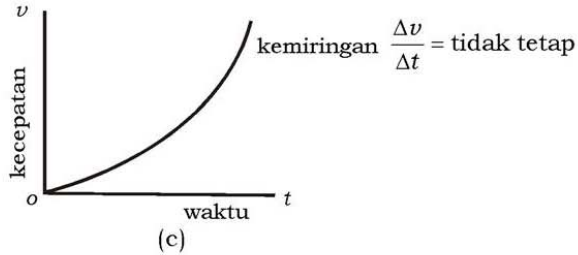
### Percepatan Rata-rata dan Percepatan Sesaat

Kelereng Joni dan sepeda motor Santi adalah dua contoh dari peristiwa fisika. Kelereng Joni mengalami perubahan baik percepatan maupun perlambatan sehingga berhenti sebelum menumbuk kelereng Adi. Sepeda motor Santi juga mengalami percepatan dan juga perlambatan. Perubahan kecepatan  $\Delta v$  setiap selang waktu tertentu  $\Delta t$  disebut percepatan rata-rata. Analogi dengan pengertian kecepatan, gerak lurus berubah beraturan juga dikenal istilah percepatan rata-rata dan percepatan sesaat. Percepatan rata-rata dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$\bar{a} = a_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_C - \vec{v}_P}{t_C - t_P}$$

Pendekatan grafik perubahan kecepatan dapat dilihat pada gambar 3.4.





**Gambar 3.4** Grafik perubahan kecepatan.

Dari grafik percepatan rata-rata, terlihat bahwa percepatan dapat dipandang sebagai kemiringan kurva kecepatan terhadap waktu. Pada gambar (a) garis horisontal menunjukkan bahwa kemiringannya adalah nol, ini berarti bahwa benda bergerak dengan kecepatan tetap maka percepatannya adalah nol. Pada gambar (b) kemiringan garis di mana-mana sama, menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kecepatan dengan laju yang sama. Sehingga percepatannya adalah positif dan tetap. Tetapi dapat pula terjadi penambahan kecepatannya seperti pada gambar (c).

Bagaimana kita menentukan percepatan pada suatu saat tertentu? Untuk itu kita definisikan percepatan sesaat dengan

$$\vec{a}_{\text{sesaat}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Jadi, gerak lurus berubah beraturan adalah gerak dengan lintasan lurus dan percepatan konstan. Jika arah percepatan berlawanan dengan arah kecepatan disebut percepatan yang negatif atau perlambatan.

**“Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!”**

## Dimensi Fisika



Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar

Dengan memperhatikan gambar di samping, kalian akan mendapati bahwa konsep fisika tentang gerak dapat diterapkan pada balap sepeda motor. Konsep gerak yang bagaimana yang dipakai pada balap sepeda motor, berikan analisis dan argumentasi kalian!

## Percobaan 3.2

Untuk memahami gerak lurus berubah beraturan marilah kita lakukan percobaan berikut!

### Kegiatan I:

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk memahami gerak lurus berubah beraturan.

#### Konsep:

1. Benda bergerak bila kedudukannya berubah terhadap acuan tertentu
2. Percepatan adalah perubahan kecepatan setiap selang waktu tertentu.

#### Saran penyajian:

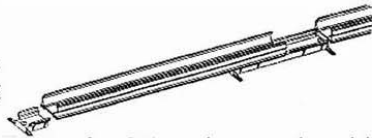
Gerakan trolley makin lama makin cepat.

#### Alat dan bahan:

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. Rel presisi 2 buah<br>atau papan dan balok | 6. Stopwatch (jam henti) 1 buah |
| 2. Penyambung rel 1 buah                      | 7. Tumpukan berpenjepit 1 buah  |
| 3. Kaki rel 2 buah                            | 8. Meja optik 1 buah            |
| 4. Kereta dinamika 1 buah                     | 9. Penggaris 1 buah             |
| 5. Balok bertingkat 1 buah                    |                                 |

#### Persiapan percobaan:

Sambung rel presisi dengan penyambung rel dan pasang pula kaki rel pada kedua rel!

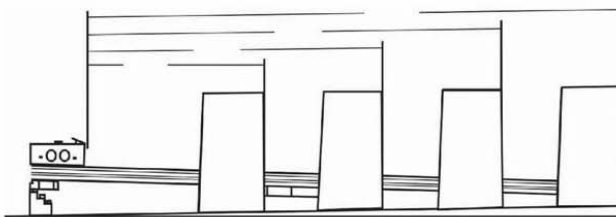


Gambar 3.5 Sambungan rel presisi

#### Langkah-langkah percobaan:

1. Letakkan rel yang telah terpasang pada balok bertingkat di tingkat tertinggi!
2. Letakkan kereta pada kedudukan yang tertinggi di atas rel!
3. Pada jarak 20 cm dari kereta rel letakkan meja optik, lihat gambar 3.5!
4. Sebelum mengambil data, yakinkan rangkaian percobaan sudah benar!
5. Ukur waktu dari pelepasan kereta sampai dengan mulai tampak di belakang meja optik!

- Ulangi langkah 2 sampai dengan 5 untuk diambil waktu rata-rata dan catat ke dalam tabel 3.2!
- Lakukan langkah 2 sampai dengan 5, dengan terlebih dahulu mengubah jarak meja optik dari kereta menjadi 40 cm, 60 cm, dan 80 cm!



Gambar 3.6 Rangkaian percobaan GLBB

**Hasil pengamatan:**

- Isilah tabel 3.2 di bawah ini!

**Tabel 3.2 Hasil Pengamatan Gerak Lurus Berubah Beraturan**

Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan ( $\text{ms}^{-1}$ )	Percepatan ( $\text{ms}^{-2}$ )
20	.....	.....	.....
40	.....	.....	.....
60	.....	.....	.....
80	.....	.....	.....

- Berdasarkan tabel 3.2, buatlah grafik hubungan antara kecepatan  $v$  terhadap waktu  $t$ , lengkapi gambar 3.4!
- Bagaimana analisis secara fisis dari grafik yang kalian buat?
- Tentukan besarnya percepatan masing-masing berdasarkan grafik dengan membuat grafik terlebih dahulu!
- Bagaimana besarnya percepatan no. 4 dibandingkan dengan perhitungan pada tabel 3.2?
- Berilah komentar dan kesimpulan selama kalian melakukan percobaan dan data perhitungan yang diperolehnya!
- Langkah apa yang harus dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih baik? Jelaskan!

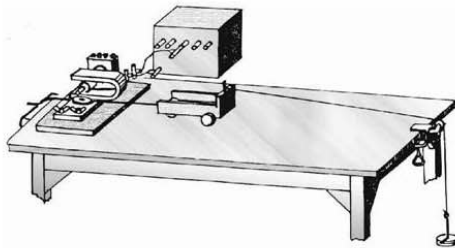
## **Kegiatan II:**

### **Alat dan bahan:**

1. *Ticker timer* lengkap dengan pita *ticker timer*
2. Katrol dan penjepit
3. Lori kecil
4. Papan peluncur
5. Tali dan beban
6. Plester
7. Anak timbangan

### **Persiapan percobaan:**

1. Susunlah alat-alat seperti pada gambar 3.7!
2. Percobaan dilakukan 2 atau 3 orang.



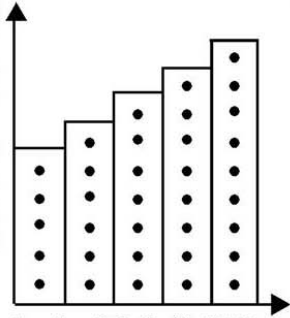
**Gambar 3.7** Lori pencatat waktu

### **Langkah-langkah percobaan:**

1. Lekatkan ujung pita *ticker timer* pada lori dan ujung lori yang lain diikat dengan seutas tali!
2. Ujung tali yang lain diikat dengan anak timbangan dan digantungkan melalui katrol.
3. Lori dan pencatat waktu diletakkan di papan peluncur dan susunan itu diletakkan di meja mendatar.
4. Yakinkan bahwa rangkaian sudah benar!
5. Pada saat beban dilepas, saklar pencatat waktu di hidupkan dan dimatikan setelah beban sampai di lantai.
6. Guntinglah pita *ticker* pada titik bekas ketukan, panjang tiap potongan terdiri dari lima atau sepuluh titik! Tempelkan potongan-potongan pita kertas sejajar dengan sumbu tegak, lihat gambar 3.8!



7. Apa arti dari jarak kedua titik yang didapat pada *ticker timer*? Jelaskan!
8. Hubungkan titik-titik teratas secara berurutan dari kiri ke kanan tiap-tiap potongan!
9. Setelah kalian hubungkan antar titik, apa yang bisa kalian kemukakan? Diskusikan dengan teman kelompok dari data yang didapat sebelum disimpulkan!



**Gambar 3.8** Grafik GLBB  
(berdasarkan Kegiatan II)

**Hasil pengamatan:**

Dari kegiatan di atas apa yang dapat disimpulkan?

### C. Persamaan pada Gerak Lurus Berubah Beraturan

Dengan mengadakan pendekatan dari percepatan rata-rata menjadi percepatan sesaat, di mana  $t$  awal sama dengan nol maka diperoleh suatu persamaan:

$$v = v_0 + at$$

Persamaan di atas memberikan suatu informasi bahwa kecepatan suatu benda bervariasi secara linier terhadap waktu. Oleh karena itu, kecepatan rata-ratanya dapat ditulis:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}$$

Substitusi persamaan sesaat ke  $\bar{v}$  diperoleh:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

Berkaitan dengan perpindahan yang dilakukan oleh benda tersebut adalah:

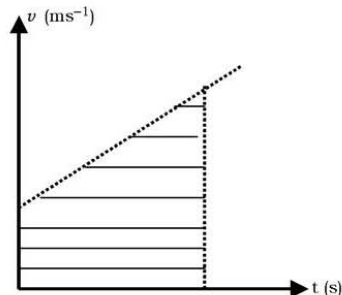
$$S = \bar{v} t$$

Dengan memasukan persamaan  $\bar{v}$  ke persamaan  $S = \bar{v} t$  diperoleh hubungan:

$$S = \bar{v} t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Secara umum, persamaan

$$v = v_0 + at \text{ dan } S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$



Gambar 3.9 Grafik  $v$  terhadap  $t$

merupakan bentuk persamaan untuk gerak lurus berubah beraturan. Bagaimana jika benda bergerak dari keadaan diam? Tuliskan bentuk persamaannya!

Persamaan  $S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$  dapat ditentukan dari grafik

hubungan kecepatan  $v$  terhadap waktu  $t$ . Jika percobaan 3.2 kalian laksanakan dengan baik akan didapatkan grafik seperti pada gambar 3.9. Luas yang diarsir tidak lain merupakan perpindahan yang ditempuh oleh benda dengan percepatan konstan. Besarnya perpindahan dapat ditentukan dengan luas trapesium adalah:

$$S = \frac{1}{2} (v_0 + v) t = \frac{1}{2} (v_0 + v_0 + at) t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Dengan mengeliminasi  $t$  dari persamaan  $v = v_0 + at$  dan

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \text{ tunjukkan bahwa } S = \frac{1}{2a} (v^2 - v_0^2)!$$

### Contoh Soal 3.2

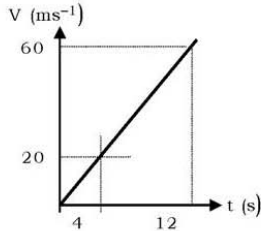
1. Sepeda motor Santi bergerak dari keadaan diam dan setelah 12 s, sepeda motor bergerak dengan kecepatan  $60 \text{ ms}^{-1}$ .
  - a. Hitung percepatan sepeda motor Santi!
  - b. Berapa kecepatannya setelah 4 s?
  - c. Gambar grafik  $v$  terhadap  $t$ !

#### Penyelesaian:

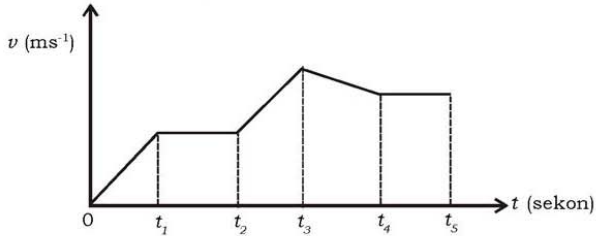
- a. Berdasarkan persamaan  $v = v_0 + at$ ,  $v_0 = 0$ .
 
$$60 \text{ ms}^{-1} = 0 + (12 \text{ s})a$$

$$a = 5 \text{ ms}^{-2}.$$

- b.  $v = 0 + 5 \text{ ms}^{-2} \times (4 \text{ s})$   
 $= 20 \text{ ms}^{-1}$
- c. Grafik  $v$  terhadap  $t$ , lihat gambar di bawah ini!



2. Sebuah benda bergerak melalui lintasan yang lurus. Penambahan kecepatan gerak benda terhadap waktu digambarkan oleh gambar di bawah ini.



Jelaskan pergerakan benda tersebut untuk setiap waktu,  $0 - t_1$ ,  $t_1 - t_2$ ,  $t_2 - t_3$  dan  $t_3 - t_4$ !

**Penyelesaian:**

Grafik tersebut merupakan grafik hubungan antara kecepatan dan  $t$ , untuk menggambarkan percepatan di selang waktu yang ditunjukkan:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ menunjukkan gradien (kemiringan)}$$

garis singgung pada grafik  $vt$

antara  $0 - t_1$  kemiringannya paling besar dibandingkan dengan yang lain, berarti pada saat ini benda mengalami percepatan paling besar.

Antara  $t_1 - t_2$

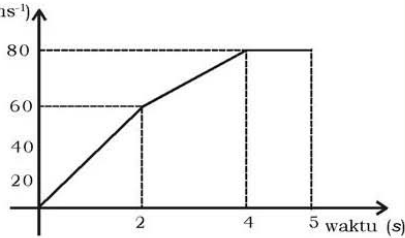
Kemiringan adalah nol berarti tidak ada perubahan kecepatan atau bergerak dengan kecepatan yang tetap.

Antara  $t_2 - t_3$ ,  
benda bergerak dengan pertambahan kecepatannya, atau mengalami percepatan.

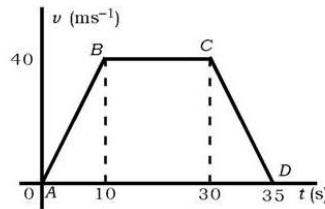
Antara  $t_3 - t_4$ ,  
kecepatan benda mengalami penurunan berarti percepatannya negatif atau mengalami perlambatan.

## Latihan

- Perhatikan grafik  $v$  ( $\text{ms}^{-1}$ )  
kecepatan terhadap waktu dari kereta yang bergerak menurut garis lurus dalam waktu 5 detik. Dari grafik tersebut tentukan jarak yang di tempuh dalam waktu 5 detik!



- Pada gambar di samping, menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan dan waktu, sebuah benda yang bergerak lurus.



- Tunjukkan pada saat mana benda mengalami percepatan! Berapa besarnya?
- Tunjukkan pada saat mana benda bergerak lurus beraturan!
- Tunjukkan pada saat mana benda mengalami perlambatan! Berapa besarnya?
- Hitung perpindahan benda!

## Rangkuman

1. Kelajuan ( $v$ ) adalah jarak ( $\Delta S$ ) yang ditempuh oleh suatu benda persatuan waktu ( $\Delta t$ ).

$$|v| = \frac{\Delta \bar{S}}{\Delta t}$$

2. Kecepatan adalah perpindahan ( $\Delta S$ ) suatu benda yang persatuan waktu ( $\Delta t$ ).

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

3. Kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ )

$$\bar{v} = \frac{dS}{dt}$$

4. Percepatan adalah perubahan kecepatan ( $\Delta \bar{v}$ ) suatu benda persatuan waktu ( $\Delta t$ ).

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

5. Percepatan sesaat ( $\bar{a}$ )

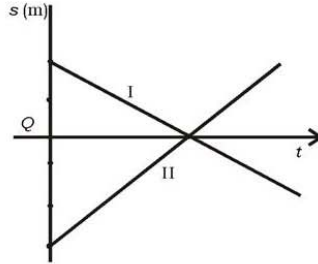
$$\bar{a}_{\text{sesaat}} = \frac{dv}{dt}$$

6. Gerak lurus beraturan adalah suatu gerak benda dengan lintasan lurus dengan kecepatan tetap.
7. Gerak lurus berubah beraturan adalah suatu gerak benda dengan lintasan lurus dan percepatan konstan disertai perubahan waktu.
8. Persamaan pada gerak lurus berubah beraturan, secara umum adalah:

$$v = v_o + at \text{ dan } S = v_o t + \frac{1}{2}at^2 \text{ dan } v_t^2 = v_o^2 + 2as$$

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

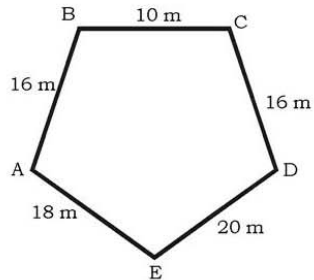
1. Grafik di samping ini menggambarkan hubungan kedudukan terhadap waktu dari gerakan dua benda. Dari grafik kita dapat mengetahui bahwa . . . .



- a. kedua benda akan bersusulan
  - b. kedua benda bertemu di titik acuan
  - c. laju benda I > laju benda II
  - d. percepatan benda I < percepatan benda II
  - e. kedua benda bergerak lurus berubah beraturan
2. Gerak lurus berubah beraturan adalah . . . .
- a. gerak lurus dengan kecepatan konstan
  - b. gerak lurus dengan percepatan bertambah
  - c. gerak lurus dengan percepatan konstan
  - d. gerak lurus dengan percepatan berkurang
  - e. gerak lurus dengan kecepatan negatif
3. Lintasan sebuah zarah dinyatakan dengan  $S = A + Bt + Ct^2$ . Dalam persamaan ini, S menunjukkan tempat kedudukan dalam cm, waktu dalam sekon, A, B, C masing-masing merupakan konstanta. Satuan C adalah . . . .
- a. cm/sekon
  - b. cm/sekon<sup>2</sup>
  - c. sekon/cm
  - d. sekon/cm
  - e. cm
4. Sebuah mobil meluncur dengan kecepatan 45 km/jam, direm dan berhenti setelah 5 sekon. Jarak yang ditempuh mobil dari saat direm sampai dengan berhenti adalah . . . .
- a. 25 m
  - b. 31,25 m
  - c. 45 m
  - d. 62,5 m
  - e. 87,5 m

5. Percepatan yang diperlukan agar benda yang semula diam, setelah 6 sekon berkecepatan  $30 \text{ ms}^{-1}$  adalah . . . .
- $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $6 \text{ ms}^{-2}$
  - $15 \text{ ms}^{-2}$
  - $20 \text{ ms}^{-2}$
  - $30 \text{ ms}^{-2}$
6. Dua buah benda A dan B mula-mula berjarak 120 m satu sama lain. Benda A dan B masing-masing bergerak dengan kecepatan  $8 \text{ ms}^{-1}$  dan  $4 \text{ ms}^{-1}$ . Mereka akan bertemu jika A dan B bergerak saling berhadapan dan berangkat pada waktu bersamaan, yaitu . . . .
- 4 s
  - 8 s
  - 10 s
  - 15 s
  - 30 s

7. Seorang anak mengitari pasar swalayan yang berbentuk segi lima seperti pada gambar. Apabila dia bergerak beraturan, dia memerlukan waktu 20 s untuk mengelilingi keseluruhan. Untuk tujuan DE, dia perlu waktu . . . .



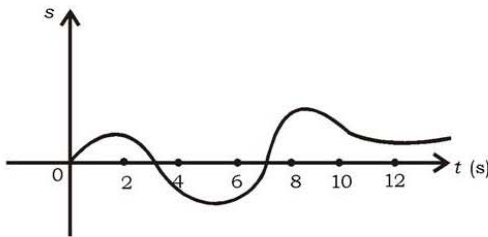
- 5 s
  - 8 s
  - 9 s
  - 10 s
  - 20 s
8. Kereta api senja berangkat dari Yogyakarta bergerak dengan kecepatan  $108 \text{ km/jam}$ . Karena ada kendaraan yang melintas jalan kereta api, masinis mendadak mengerem dengan perlambatan  $10 \text{ ms}^{-2}$ . Waktu yang diperlukan apabila jarak kereta dengan mobil tinggal 25 m adalah . . . .
- 1 s
  - 2,5 s
  - 3 s
  - 3,5 s
  - 4 s

9. Posisi suatu benda dari hasil percobaan ditunjukkan oleh tabel berikut

<b>t (sekon)</b>	0	1	2	3	4	6	7	8	9	10
<b>s (m)</b>	0	2,3	8,4	17,1	27,2	46,8	53,9	57,6	56,7	50

Kecepatan rata-rata antara  $t = 4$  s dan  $t = 6$  s adalah . . . .

- 5 m/s
  - 9,2 m/s
  - 9,8 m/s
  - 12,5 m/s
  - 14 m/s
10. Gambar menunjukkan pergeseran suatu benda sebagai fungsi waktu.



Saat yang memiliki kecepatan terbesar adalah . . . .

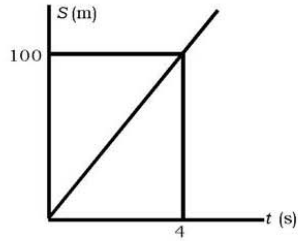
- 2
- 4
- 5
- 7
- 8

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

- Sebuah mobil bergerak dengan percepatan konstan menempuh jarak antara dua titik yang berpindah 56 m dalam 6,0 s. Lajunya ketika tiba di titik kedua adalah 16 m/s.
  - Berapakah lajunya di titik pertama?
  - Berapa percepatannya?
  - Pada jarak berapakah sebelum titik pertama mobil berada dalam keadaan diam?
- Jarak titik A ke titik B adalah 65 m. Dari titik A sebuah benda bergerak menuju ke titik B dengan kecepatan tetap  $6 \text{ ms}^{-1}$ . Pada saat yang bersamaan, dari titik B bergerak benda lain menuju ke titik A dengan kecepatan awal  $2 \text{ ms}^{-1}$  dan percepatannya  $2 \text{ ms}^{-2}$ . Kapan dan di mana kedua benda bertemu dihitung dari A?



3. Untuk dapat tinggal landas (*take off*) sebuah jumbo jet membutuhkan laju 360 km/jam. Bila dianggap percepatannya konstan dan panjang lintasan 1,8 km. Berapakah percepatan minimum yang dibutuhkan dari keadaan berhenti?
4. Gambar di samping menunjukkan grafik  $S$  terhadap fungsi waktu  $t$ , dari sebuah benda yang bergerak di sumbu  $X$ . Jika diketahui kecepatan awal benda  $5 \text{ ms}^{-1}$ ,  $S$  dalam  $\text{m}$  dan  $t$  dalam  $\text{s}$ .
- Apa jenis gerak benda!
  - Hitung percepatan benda!
  - Hitung perpindahan benda setelah 6 sekon!
5. Pada tabung sinar katoda (yang digunakan dalam pesawat televisi, monitor dan osiloskop) sebuah elektron dengan kecepatan awal  $1,0 \times 10^4 \text{ m/s}$  memasuki daerah pemercepatan listrik selebar 1,0 cm. Ketika keluar dari daerah ini kecepatannya menjadi  $4 \times 10^6 \text{ m/s}$  dianggap konstan, berapakah percepatannya?



## Aplikasi

**“Ayo tumbuhkan etos kerja dan daya saing kalian!”**

Setelah kalian mempelajari gerak lurus. Coba kalian mencari beberapa contoh gerak lurus, yaitu dengan mencari gambar-gambar dari kejadian sehari-hari. Contoh pencerminan dari gerak lurus. Kemudian setiap gambar analisislah tentang gerakannya. Buatlah dalam bentuk klipng dan kumpulkan!

# Bab IV

## Gerak Melingkar

Sumber gambar: Phil Askey [www.dpreview.com](http://www.dpreview.com)

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menganalisis besaran fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Periode
2. Frekuensi
3. Kecepatan sudut
4. Percepatan sudut



**Sumber gambar:** *Phil Askey*  
*www.dpreview.com*  
**Gambar:** *Komidi Putar*

Kita telah membahas tentang gerak lurus dalam kaitannya dengan percepatan dan kecepatan, dalam bab ini kita akan mempelajari gerak melingkar. Berilah sebuah contoh tentang gerak melingkar! Setelah menemukan sebuah contoh tentang gerak melingkar, apa yang dimaksud dengan gerak melingkar?

## A. Gerak Melingkar Beraturan

Jarum jam yang selalu bergerak, dikatakan ujung jarum detik melakukan gerak melingkar beraturan dengan panjang jarum sebagai jari-jarinya ( $R$ ). Jadi, gerak melingkar beraturan adalah gerak titik materi menurut lintasan lingkaran yang setiap saat menempuh busur tertentu. Atau gerak dengan lintasan lingkaran dan kecepatan sudut ( $\omega$ ) konstan.

### 1. Periode dan Frekuensi

Periode ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu kali gerak melingkar. Pada peristiwa di atas periode putarannya adalah 60 detik, ditulis  $T = 60$  s. Jumlah putaran yang dilakukan dalam satu detik dinamakan frekuensi dan diberi simbol  $f$  dengan satuan *cycles per second* (cps) atau hertz (Hz). Pada contoh peristiwa di atas 1 sekon ditempuh  $\frac{1}{60}$  putaran sehingga diperoleh hubungan sebagai berikut.

$$T = \frac{1}{f}$$

### 2. Kecepatan Linier dan Kecepatan Anguler

Pada gerak melingkar dikenal 2 macam kecepatan yaitu kecepatan linier dan kecepatan anguler (sudut).

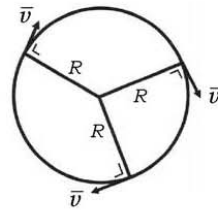
#### a. Kecepatan Linier

Bila jari-jari lingkaran adalah  $R$  maka keliling lingkaran adalah  $2\pi R$ . Oleh karena itu dalam  $T$  sekon ditempuh  $2\pi R$  sehingga

dalam 1 sekon =  $\frac{2\pi R}{T}$ . Telah kita ketahui

bahwa lintasan yang ditempuh tiap sekon disebut kecepatan ( $\bar{v}$ ). Besarnya kecepatan titik yang bergerak melingkar beraturan adalah sebagai berikut.

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

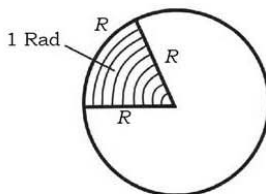


Gambar 4.1 Kecepatan linier gerak melingkar

## b. Kecepatan Anguler

### 1) Pengertian radian

Selain dinyatakan dengan derajat ( $^{\circ}$ ), dalam fisika satuan sudut sering digunakan satuan lain, yaitu *radian*. Satu radian (rad) didefinisikan sebagai sudut pusat lingkaran yang panjang busurnya sama dengan jari-jari lingkaran.



**Gambar 4.2** Besarnya satu radian (kecepatan sudut)

Pada gambar 4.2 di samping, kita ketahui keliling lingkaran =  $360^{\circ}$ .

Jadi,  $2\pi \text{ rad} = 360^{\circ}$ , dapat dinyatakan bahwa:

$$1 \text{ rad} = \frac{360^{\circ}}{2\pi} = 57,32^{\circ}$$

### 2) Kecepatan sudut ( $\bar{\omega}$ )

Dari peristiwa di atas dapat pula dikatakan bahwa dalam  $T$  detik jarum penunjuk sekon menyapu sudut  $360^{\circ}$  atau

$2\pi$  rad. Dalam satu sekon disapu  $\frac{2\pi}{T}$  rad. Besar sudut

yang disapu oleh jari-jari setiap sekon disebut kecepatan sudut yang diberi simbol  $\bar{\omega}$ , baca omega.

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

atau

$$\bar{\omega} = 2\pi f$$

dengan  $\omega$  dinyatakan dalam satuan  $\text{rad s}^{-1}$ .

Substitusi  $\bar{\omega} = \frac{2\pi}{T}$  ke  $\bar{v} = \frac{2\pi R}{T}$  didapatkan bentuk

persamaan:

$$\bar{v} = \bar{\omega} R$$

Persamaan di atas menunjukkan hubungan kesebandingan antara  $\bar{v}$  dan  $\bar{\omega}$ .

**“Ayo kembangkan wawasan lingkungan lokal/  
pengalaman sehari-hari kalian!”**

## Dimensi Fisika



Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar

Perhatikan gambar di samping! kalian akan mendapati permainan tersebut jika pergi ke taman-taman hiburan atau pasar malam. Kalian dapat belajar dari permainan tersebut mengenai konsep fisika gerak melingkar. Mengapa bisa demikian? Beri analisis dan argumentasi kalian!

### Contoh Soal 4.1

1. Sebuah roda yang mempunyai jari-jari 10 cm diputar 6 putaran setiap menit. Tentukan:
- frekuensi putaran,
  - periode putaran,
  - kecepatan linier,
  - kecepatan sudut!

#### **Penyelesaian:**

Diketahui:  $R = 10$  cm

Ditanya: a)  $f = \dots?$       c)  $v = \dots?$   
          b)  $T = \dots?$       d)  $\omega = \dots?$

Jawab:

a. 1 menit = 6 putaran

$$1 \text{ detik} = \frac{1}{10} \text{ putaran}$$

$$\text{Jadi, } f = \frac{1}{10} \text{ cps (Hz)}$$

b.  $T = \frac{1}{f}$   
 $= \frac{1}{\frac{1}{10}}$   
 $= 10 \text{ sekon}$

c.  $R = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \left( \frac{2\pi \times 0,1}{10} \right) \text{ ms}^{-1}$$

$$= \frac{2\pi}{100} \text{ ms}^{-1}$$

d.  $\omega = \frac{2\pi}{T}$   
 $= \frac{2\pi}{10} \text{ rad s}^{-1}$

2. Andaikata bumi beredar mengelilingi orbitnya dalam 360 hari bumi. Jika pada suatu ketika matahari, bumi dan venus terletak pada satu garis dan keduanya bergerak dalam arah yang sama. Hitung saat hari keberapa mereka terletak segaris. Periode venus mengelilingi matahari adalah 225 hari.

**Penyelesaian:**

Bumi, venus dan matahari akan beredar pada garis yang sama apabila perbedaan sudut yang ditempuh antara bumi dan venus merupakan kelipatan dari  $2\pi$ .

Kecepatan sudut bumi:  $\omega_B = \frac{2\pi}{360} \text{ rad/hari}$

Kecepatan sudut venus:  $\omega_v = \frac{2\pi}{225} \text{ rad/hari}$

Sudut yang ditempuh setelah  $t$  hari

$$\theta = \omega t, \text{ sehingga}$$

untuk bumi  $\theta_B = \frac{2\pi}{360} t$ , untuk venus  $\theta_v = \frac{2\pi}{225} t$

Periode venus lebih kecil daripada periode bumi maka  $\theta_v > \theta_B$  untuk itu selisih sudut keduanya maka  $\theta_v - \theta_B$  harus merupakan kelipatan  $2\pi$

Sehingga:  $\theta_v - \theta_B = \omega v t - \omega_B t = 2\pi k$

dengan  $k$  bilangan bulat, apabila  $k$  diambil sama dengan 1 maka

$$\left( \frac{2\pi}{225} - \frac{2\pi}{360} \right) t = 2\pi$$

$$\left( \frac{1}{225} - \frac{1}{360} \right) t = 1$$

$$\left( \frac{360}{8100} - \frac{225}{8100} \right) t = 1$$

$$t = \frac{8100}{135} = 600 \text{ hari}$$

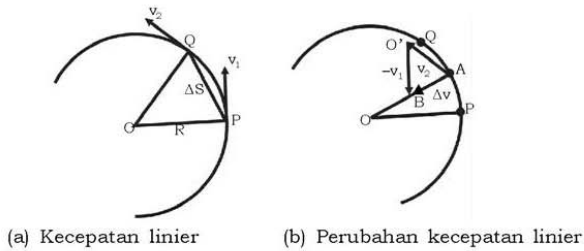
## Latihan 4.1

1. Sebuah sepeda dikayuh meluncur dengan laju tetap 18 km/jam. Jika jari-jari roda sepeda 0,25 m.
  - a. Hitung kecepatan linier roda sepeda!
  - b. Hitung kecepatan sudut roda sepeda!
  - c. Hitung pula periode putaran roda!
2. Roda A dan roda B saling bersinggungan sehingga bila A berputar maka B ikut berputar juga. Jari-jari roda A = 10 cm dan roda B = 5 cm. Jika frekuensi roda A = 8 Hz, hitunglah kecepatan sudut roda A dan B!

## B. Percepatan Sentripetal

Walaupun nilai kecepatan pada gerak melingkar beraturan tetap, tetapi arahnya selalu berubah. Padahal perubahan kecepatan setiap selang waktu adalah percepatan. Maka gerak melingkar beraturan mempunyai percepatan yang disebut percepatan sentripetal ( $a_s$ ).

Vektor  $\vec{v}_1$  dan  $\vec{v}_2$  adalah kecepatan linier partikel di P dan Q, lihat gambar 4.3 !



**Gambar 4.3** Kecepatan linier partikel di P dan Q

$\vec{v}_1$  dan  $\vec{v}_2$  sama panjangnya, tetapi arahnya tidak sama lagi seperti pada gerak lurus. Percepatan rata-rata  $\vec{a}$  antara P dan Q didefinisikan sebagai perubahan vektor kecepatan per satuan waktu. Perhatikan gambar segitiga vektor untuk memperoleh perubahan vektor kecepatan  $\Delta \vec{v}$  di tengah-tengah busur PQ, yaitu



di A gambar 4.3b. Vektor  $\vec{v}_2$  dipindahkan titik tangkapnya di A. Kemudian dengan cara segitiga vektor dapat diperoleh beda vektor  $\Delta\vec{v}$  yang arahnya menuju ke pusat lingkaran O, demikian pula arah percepatan rata-rata  $\Delta\vec{a}$  menuju ke O. Harga  $\Delta\vec{v}$  dapat diperoleh sebagai berikut.

Segitiga OPQ dan segitiga O'AB sebangun, karena masing-masing adalah sama kaki dan kedua kakinya saling tegak lurus lingkaran. Apabila  $\vec{v}_1$  dan  $\vec{v}_2$  menyatakan besarnya maka kita peroleh:  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta S}{R}$  atau  $\Delta v = \frac{v}{R} \Delta S$ ,

maka percepatan rata-rata  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \times \frac{\Delta S}{\Delta t}$ .

Percepatan sesaat  $a$  titik P didefinisikan sebagai limit percepatan rata-rata bila Q mendekati P sementara  $\Delta t$  mendekati nol. Selama ini terjadi, vektor  $\Delta\vec{v}$  pada gambar 4.3b menjadi lebih pendek (selalu menuju ke pusat lingkaran O) sementara  $\Delta t$  menjadi kecil pula. Dalam limit, arah vektor percepatan tetap menuju ke O dan harganya:

$$a_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v}{R} \times \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{v}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Karena

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = v \text{ maka } a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \omega^2 R$$

Karena arah vektor percepatan  $a_s$  menuju ke pusat lingkaran maka  $a_s$  dalam persamaan di atas disebut percepatan sentripetal atau percepatan radial. Persamaan tersebut banyak sekali kegunaannya dalam fisika, misalnya untuk melukiskan gerak planet, satelit bumi, dan juga elektron.

Contoh lain adanya percepatan sentripetal ialah jika kamu mengendarai sepeda motor di jalan yang menikung, kamu harus memiringkan sepeda motormu. Jika tidak; pasti akan tergelincir. Semakin besar kecepatan sepeda motor semakin kecil sudut kemiringan sepeda motor dengan jalan. Dan semakin tajam tikungan sudut kemiringan juga harus semakin kecil.

## Aksi Fisika

**“Ayo kembangkan kecakapan vokasional kalian!”**

Untuk lebih memahami konsep Gerak Melingkar, lakukanlah kegiatan sederhana di rumah kalian. Ambil ember yang telah diisi air, kemudian ember yang berisi air diputar dalam suatu lingkaran vertikal tanpa menumpahkan air yang ada di dalam ember, meski berada pada puncak lingkaran ketika ember tertelungkup. Jelaskan dengan konsep fisika Gerak Melingkar mengapa fenomena itu terjadi!

### Contoh Soal 4.2

1. Akibat adanya rotasi bumi yaitu perputaran bumi mengelilingi sumbunya, berapakah percepatan sentripetal yang dialami benda yang terletak di khatulistiwa?

**Penyelesaian:**

Misalkan bumi itu berbentuk bola dengan jari-jari  $R = 6,38 \times 10^6$  m.

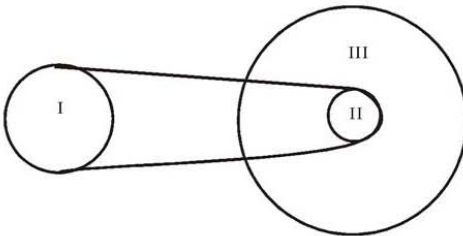
Periode rotasinya:

$$T = 24 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h} = 8,64 \times 10^4 \text{ s.}$$

$$a_s = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4\pi^2 (6,38 \times 10^6 \text{ m})}{(8,64 \times 10^4 \text{ s})^2} = 0,034 \text{ ms}^{-2}$$

Karena harga ini sangat kecil dibandingkan dengan percepatan gravitasi bumi maka pengaruh rotasi bumi dalam persoalan-persoalan dapat diabaikan.

2. Roda II dan III poros yang sama dan saling melekat satu sama lain. Roda I dan II dihubungkan dengan rantai,  $r_I = 25$  cm,  $r_{II} = 15$  cm dan  $r_{III} = 40$  cm. Jika roda III berputar 60 putaran permenit, hitung kecepatan roda I!



**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned}f_{III} &= 60 \text{ putaran}/60 \text{ s} \\ &= 1 \text{ putaran}/1 \text{ s} = 1 \text{ Hz} \\ \omega_{III} &= 2\pi f_{III} = 2\pi \cdot 1 \\ &= 2\pi \text{ rad/s}\end{aligned}$$

karena roda II dan III sepusat maka

$$\begin{aligned}\omega_{III} &= \omega_{II} & \omega_{II} &= 2\pi \text{ rad/s} \\ v_2 &= \omega_{III} r_{II} \\ &= 2\pi \times 15 \\ &= 30\pi \text{ cm/s}\end{aligned}$$

### Latihan 4.2

1. Sebuah roda dengan jari-jari 0,1 m, diputar dengan kecepatan sudut tetap  $20 \text{ rad s}^{-1}$ .
  - a. Hitung kecepatan liniernya!
  - b. Hitung percepatan sentripetalnya!
2. Ujung kipas angin yang terletak 30 cm dari sumbu putar berputar sebanyak 30 putaran setiap menitnya. Hitung kecepatan dari ujung kipas angin tersebut.

## C. Gerak Melingkar Berubah Beraturan

### 1. Percepatan Sudut

Pada saat semakin cepat dan pada saat dimatikan perputaran kipas semakin lambat. Jika penambahan atau pengurangan kecepatan adalah konstan maka dikatakan kipas bergerak melingkar berubah beraturan. Jadi, gerak melingkar berubah beraturan adalah gerak melingkar dengan percepatan sudut konstan.

Pada gerak lurus, kita telah memperoleh bahwa jenis gerak yang paling sederhana adalah gerak dengan percepatan  $a$  sama dengan nol, yaitu tidak ada penambahan kecepatan.



Sumber: [www.stdlevel.com](http://www.stdlevel.com)  
Gambar 4.4 Kipas berputar.

Jenis gerak berikutnya adalah gerak dengan  $a$  konstan atau tetap. Untuk bentuk gerak ini kita telah menemukan hubungan antara variabel,  $s$ ,  $v$ ,  $a$ , dan  $t$ .

Pada jarak rotasi benda yang mengelilinginya sumbu tetap, jenis gerak yang paling sederhana adalah gerak dengan percepatan sudut  $\alpha$  sama dengan nol, yang berupa gerak melingkar beraturan. Gerak rotasi berikutnya adalah  $\alpha =$  konstan (selain dari nol).

Berdasarkan kesepadanan antara gerak translasi (lurus) dengan garis rotasi inilah kita dapat memperoleh persamaan gerak untuk rotasi yang sama dengan gerak lurus, kesepadanan ini ditunjukkan pada tabel.

**Tabel Persamaan Gerak untuk Gerak Lurus dan Gerak Rotasi**

Gerak Lurus (arah tetap)	Gerak Rotasi (sumbu tetap)
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
$v^2 = v_0^2 + 2as$	$\omega = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

dengan

- $\omega_0$  = kecepatan sudut awal ( $\text{rad s}^{-1}$ )
- $\omega$  = kecepatan sudut setelah  $t$  sekon ( $\text{rad s}^{-1}$ )
- $\alpha$  = percepatan sudut ( $\text{rad s}^{-2}$ )
- $t$  = waktu (s)
- $\theta_t$  = busur yang ditempuh dalam  $t$  sekon (rad)

## 2. Kecepatan Tangensial dan Percepatan Tangensial

Sudah kita ketahui bahwa pada gerak melingkar beraturan ada kecepatan tangensial dan kecepatan sudut dengan hubungan  $\vec{v} = \vec{\omega}R$  Pada gerak melingkar berubah beraturan ada percepatan

### Info Sains

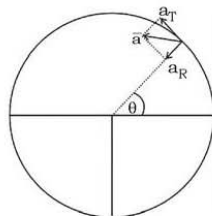
Sekarang satelit buatan yang mengitari bumi sudah menjadi hal yang lazim. Sebuah satelit ditempatkan di orbit dengan cara mempercepatnya



**Gambar:** Satelit

pada suatu kecepatan tangensial yang cukup tinggi. Jika laju terlalu tinggi satelit tidak akan dapat ditahan oleh gravitasi bumi, sehingga akan lepas dari pengaruh gravitasi bumi dan tidak akan pernah kembali lagi.

yang menuju ke pusat, yaitu percepatan radial atau sentripetal  $a_R = \frac{v^2}{R}$  dan percepatan yang menurut garis singgung disebut percepatan tangensial,  $a_T = a R$ , lihat gambar 4.4! Di mana  $a_T =$  percepatan tangensial ( $\text{ms}^{-2}$ ) dan besarnya percepatan total  $a$ ,  $a = \sqrt{a_R^2 + a_T^2}$ .



**Gambar 4.5** Percepatan tangensial

Pada gerak melingkar beraturan tidak mempunyai percepatan tangensial.

### Contoh Soal 4.3

1. Seorang anak mengendarai sepeda dengan jari-jari roda 0,2 m dan kecepatan 18 km/jam. Pada saat direm sepeda berhenti 10 sekon kemudian.
  - a. Hitung kecepatan linier roda sepeda!
  - b. Hitung kecepatan sudut roda!
  - c. Hitung perlambatan roda!
  - d. Berapa kali roda berputar saat direm sampai berhenti?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $v = 18 \text{ km/jam}$        $t = 10 \text{ sekon}$   
 $r = 0,2 \text{ m}$

Ditanya: a.  $v = \dots?$       c.  $\alpha = \dots?$   
 b.  $\omega = \dots?$       d. roda berputar ... kali

Jawab:

a.  $v = \frac{18 \text{ km}}{\text{jam}} = \left( \frac{18000}{3600} \right) \text{ms}^{-1} = 5 \text{ ms}^{-1}$

b.  $\omega_0 = \frac{v}{R} = \left( \frac{5}{0,2} \right) \text{rad s}^{-1} = 25 \text{ rad s}^{-1}$

c.  $\omega = \omega_0 + \alpha t$   
 $0 = 25 + \alpha 10$   
 $\alpha = -2,5 \text{ rad s}^{-2}$

d.  $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$   
 $= (25 \times 10 - \frac{1}{2} \times 2,5 \times 10^2) \text{ rad} = 125 \text{ rad}$

Roda berputar:  $\frac{125}{2\pi} = \frac{62,5}{\pi}$  kali.

2. Roda A dengan jari-jari  $r_A = 10$  cm digandengkan dengan roda C yang berjari-jari  $r_C = 25$  cm oleh pita ban B, seperti diperlihatkan pada gambar mulai dari keadaan diam, laju

roda A bertambah secara sejajar dengan  $\frac{\pi}{2}$  rad/s<sup>2</sup>.

Tentukanlah waktu yang dibutuhkan alat roda C untuk mencapai laju rotasi 100 putaran/menit.

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $r_A = 10$  cm       $\alpha_A = \frac{\pi}{2}$  rad/s<sup>2</sup>

$r_C = 25$  cm       $f_C = 100$  putar/menit

Ditanya:  $t_C = \dots?$

Jawab:

Waktu yang diperlukan oleh roda C untuk bergerak sama = waktu yang diperlukan oleh roda A. Kedua roda digandengkan dengan kawat. Maka:

$$\begin{aligned} v_A &= v_C \\ \omega_{At} r_A &= \omega_{Ct} r_C \\ \omega_{At} &= \frac{\omega_{Ct} r_C}{r_A} = 2\pi \omega_{Ct} \frac{r_C}{r_A} \\ &= 2\pi \times \frac{100}{60} \times \frac{0,25}{0,1} \text{ rad/s} \end{aligned}$$

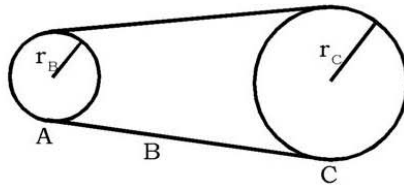
$$= \frac{50\pi}{6} \text{ rad/s}$$

$$\omega_{At} = \omega_0 + \alpha t$$

$$t = \frac{\omega_{At}}{\alpha_A}$$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{50\pi}{6} \right) \\ &= \left( \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{100}{6} \text{ sekon} \approx 17 \text{ sekon}$$



### Latihan 4.3

1. Sebuah mobil balap mulai dari keadaan diam dalam daerah lubang besar (tong setan). Dan mengalami percepatan tetap hingga mencapai kecepatan  $35 \text{ ms}^{-1}$  dalam 10 sekon, bergerak pada suatu lintasan melingkar berjari-jari 500 m dengan menganggap percepatan tangensial tetap. Tentukan:
  - a. percepatan tangensial!
  - b. percepatan sentripetal ketika kecepatannya  $30 \text{ m/s}$ !
2. Sebuah partikel berputar dalam suatu lingkaran horisontal berjari-jari 2,70 m. Pada suatu keadaan tertentu, percepatannya adalah  $1,50 \text{ m/s}^2$ . Dalam arah yang membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap arah geraknya. Tentukan
  - a. Kelajuan pada saat ini!
  - b. Saat  $t = 3$  sekon. Kemudian dengan menganggap percepatan kelajuan tangensial tetap.

### Rangkuman

1. Gerak melingkar beraturan adalah gerak titik materi menurut lintasan lingkaran yang setiap saat menempuh busur tertentu.
2. Periode ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu kali gerak melingkar. Frekuensi ( $f$ ) adalah jumlah putaran yang dilakukan dalam satu detik.

$$T = \frac{1}{f}$$

3. Kecepatan linier merupakan besarnya kecepatan titik yang bergerak melingkar beraturan.

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

4. Kecepatan angular adalah besar sudut yang disapu oleh jari-jari setiap detik yang diberi simbol  $\omega$ .

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$
$$v = \omega R$$

5. Percepatan sentripetal adalah percepatan yang menuju ke pusat lingkaran.

$$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

6. Kecepatan gerak lurus berubah beraturan berlaku

$$v = v_0 + at$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

7. Kecepatan gerak melingkar berubah beraturan berlaku persamaan.

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

8. Percepatan tangensial

$$a = \sqrt{a_R^2 + a_T^2}$$

dengan  $a_R = \frac{v^2}{R}$  dan  $a_T = aR$



## Evaluasi

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

- Frekuensi gerak melingkar mempunyai dimensi . . . .
  - $[L][T]^2$
  - $[L]^{-1}[T]$
  - $[L]^{-1}[T]^{-1}$
  - $[L]^{-1}$
  - $[T]^{-1}$
- Sebuah materi yang bergerak melingkar beraturan mempunyai kecepatan . . . .
  - linier tetap
  - singgung tetap
  - linier yang tetap nilainya
  - sudut yang berubah besarnya
  - tangensial yang selalu tetap



3. Di bawah ini tentang gerak melingkar beraturan:
1. *Percepatan sentripetal tegak lurus kecepatan tangensial.*
  2. *Kecepatan singgung tegak lurus jari-jari.*
  3. *Percepatan sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran.*
  4. *Kecepatan sudut yang selalu tetap.*
- Pernyataan di atas yang benar adalah . . . .
- a. 1, 2, dan 3
  - b. 1 dan 3
  - c. 2 dan 4
  - d. 4 saja
  - e. 1, 2, 3, dan 4
4. Kecepatan sudut dari ujung jarum detik adalah . . . .
- a.  $60\pi \text{ rad s}^{-1}$
  - b.  $30\pi \text{ rad s}^{-1}$
  - c.  $\frac{\pi}{60} \text{ rad s}^{-1}$
  - d.  $\frac{\pi}{30} \text{ rad s}^{-1}$
  - e.  $15\pi \text{ rad s}^{-1}$
5. Pada sebuah jam dinding mempunyai jarum menit yang panjangnya 10 cm. Kecepatan linier ujung jarum adalah . . . .
- a.  $\frac{\pi}{18} \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
  - b.  $\frac{\pi}{9} \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
  - c.  $\frac{\pi}{6} \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
  - d.  $\frac{\pi}{3} \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
  - e.  $\frac{\pi}{2} \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
6. Sepeda melaju dengan kecepatan 18 km/jam. Ketika mendekati suatu belokan dengan diameter 2 m, ia mengerem dan mengurangi percepatan sepedanya  $2 \text{ ms}^{-2}$  tiap detiknya. Percepatan total yang dialami sepeda tersebut adalah . . . .
- a.  $4 \text{ ms}^{-2}$
  - b.  $10 \text{ ms}^{-2}$
  - c.  $20 \text{ ms}^{-2}$
  - d.  $25 \text{ ms}^{-2}$
  - e.  $25,08 \text{ ms}^{-2}$
7. Bola dengan massa 200 gram pada ujungnya diberi seutas tali dan bola tersebut bergerak melingkar beraturan dalam suatu lingkaran horisontal dengan jari-jari 0,5 m. Bola tersebut berevolusi 2 kali dalam satu sekon. Percepatan sentripetal bola itu adalah . . . .
- a.  $2\pi \text{ ms}^{-2}$
  - b.  $4\pi \text{ ms}^{-2}$
  - c.  $6\pi \text{ ms}^{-2}$
  - d.  $8\pi \text{ ms}^{-2}$
  - e.  $10\pi \text{ ms}^{-2}$

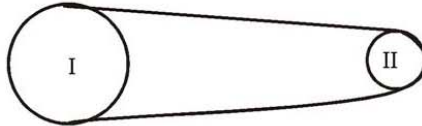
8. Sebuah roda diputar 10 putaran tiap menit dan memiliki jari-jari 12 cm. Kecepatan sudut roda tersebut adalah . . . .
- $\frac{\pi}{3} \text{ ms}^{-2}$
  - $\frac{\pi}{6} \text{ ms}^{-2}$
  - $\frac{\pi}{2} \text{ rad s}^{-1}$
  - $8\pi \text{ ms}^{-2}$
  - $10\pi \text{ ms}^{-2}$
9. Di bawah ini yang mempengaruhi percepatan sentripetal dari gerak melingkar suatu benda adalah, **kecuali** . . . .
- kecepatan sudut
  - jari-jari lingkaran
  - percepatan tangensial
  - periode
  - frekuensi
10. Di bawah ini adalah contoh gerak melingkar beraturan yang benar, **kecuali** . . . .
- gerakan satelit yang mengelilingi bumi
  - gerakan tidak pada kipas dari kipas angin
  - gerakan bumi mengelilingi matahari
  - gerakan satelit yang lepas dari orbitnya
  - gerakan piringan hitam

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan jelas!**

- Sebuah sepeda meluncur dengan kecepatan 36 km/jam. Garis tengah roda sepeda = 1 m.
  - Hitung kecepatan linier roda dalam dalam SSI!
  - Hitung kecepatan sudut roda dalam SSI!
- Jika diketahui keliling bumi di khatulistiwa 40.000 km!
  - Hitung kecepatan sudut suatu tempat di khatulistiwa!
  - Hitung kecepatan linier di khatulistiwa!
- Roda sebuah mesin bubut dari keadaan diam mempunyai kecepatan sudut  $100 \text{ rad s}^{-1}$  selang 10 sekon.
  - Hitung percepatan sudut roda mesin!
  - Hitung kecepatan sudut pada detik ke-15!
  - Berapa kali berputar setelah 100 sekon?
- Sebuah roda mula-mula berputar dengan kecepatan  $180 \text{ rad s}^{-1}$ , diberi perlambatan sehingga berhenti setelah 36 sekon.
  - Hitung perlambatan yang diberikan dalam SSI!
  - Berapa kali roda berputar saat diberi perlambatan sampai dengan berhenti?

5. Sepeda motor bergerak memutar dengan jari-jari 20 m, mengalami percepatan sentripetal  $5 \text{ ms}^{-2}$ . Hitung kecepatan sepeda motor!
6. Untuk membiasakan diri pada gaya sebesar  $9,6 W$  ( $W =$  berat badan). Seorang astronot berlatih dalam suatu pesawat sentrifugal yang jari-jarinya 6 meter. Percepatan gravitasi bumi adalah  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Hitung laju anguler mesin saat diputar agar astronot merasakan efek gravitasi tersebut.

7.



dengan:

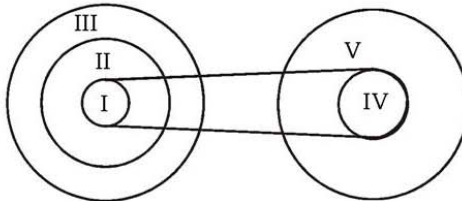
$$r_1 = 60 \text{ cm}$$

$$r_2 = 30 \text{ cm}$$

$$\omega_2 = 10 \text{ rad/s}$$

Hitung kecepatan linier roda I dan kecepatan anguler roda II!

8.



Bila diketahui:

$$v_s = 50 \text{ cm/s}$$

$$r_4 = 20 \text{ cm}$$

$$r_1 = 10 \text{ cm}$$

$$r_5 = 50 \text{ cm}$$

$$r_2 = 30 \text{ cm}$$

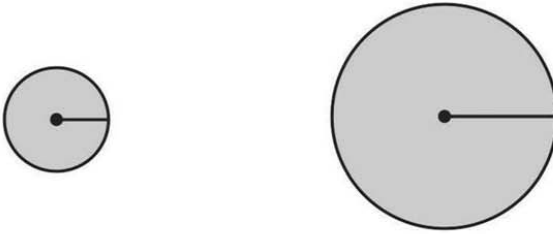
$$r_3 = 40 \text{ cm}$$

Hitung:  $v_1, v_2, \omega_3, \omega_4!$

## Aplikasi

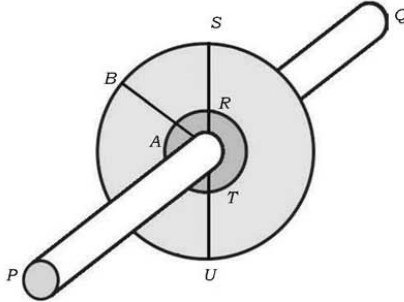
**“Ayo kembangkan etos kerja dan semangat kewirausahaan kalian”**

1. Buatlah dua roda A dan B yang jari-jarinya berbeda! Roda B mempunyai jari-jari  $R_B$  dan roda A jari-jarinya  $R_A$ , di mana  $R_B = 2R_A$ .



**Gambar 4.6** Dua buah roda yang terbuat dari bahan sama tetapi jari-jarinya berbeda

2. Letakkan roda A dan B tersebut pada bidang miring! Jika kedua roda dilepaskan roda yang mana yang lebih dulu sampai di ujung bidang miring? Mengapa?

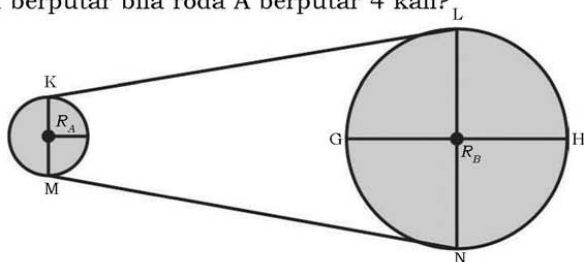


**Gambar 4.7** Roda A dan B dimasukkan dalam satu poros

3. Hubungkan tepi luar dalam roda A dengan ke tepi dalam roda B dengan batang baja kecil sehingga roda A dan B mempunyai poros PQ yang sama. Bila poros PQ diputar 2 putaran penuh, berapakah besar sudut yang ditempuh titik R dan titik S?

Bila SRTU garis tengah lingkaran PQ diputar sedemikian hingga titik R berpindah ke T, ke mana titik S berpindah? Mengapa? Titik mana yang menempuh lintasan lebih panjang? R atau S? Jelaskan!

4. Bila dua roda dihubungkan dengan pita yang halus seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7, berapa kali roda B akan berputar bila roda A berputar 4 kali?



**Gambar 4.8** Roda A dan B dihubungkan dengan pita

Bila pada roda A, titik K berpindah ke titik M, ke manakah titik L berpindah? Bila titik H pada roda berpindah ke titik N, ke manakah titik K pada roda A berpindah?

# Bab V

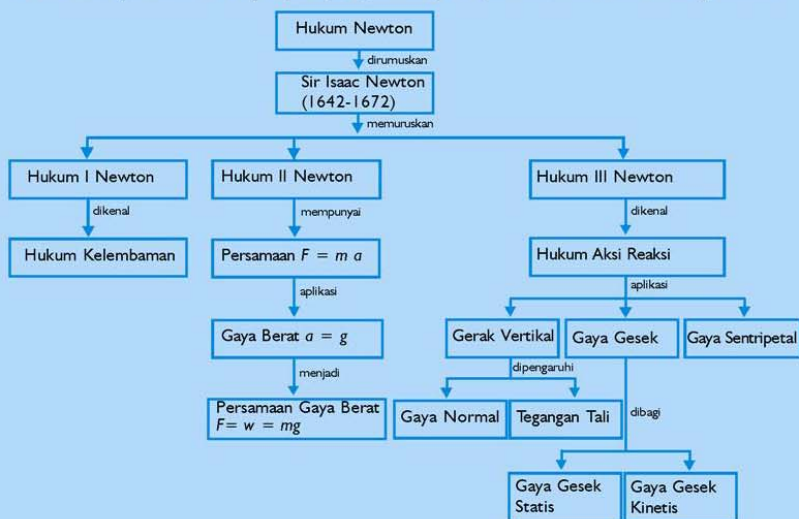
## Hukum-hukum Newton tentang Gerak

Sumber gambar: CDImage

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menerapkan hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Massa
2. Percepatan
3. Gravitasi
4. Gaya
5. Hukum Newton



Sumber gambar: *CD Image*  
Gambar: *Peluncuran Roket*

Peluncuran roket menggambarkan beberapa hukum Newton. Gas panas yang dipancarkan dari pembakaran dan pancaran ini menyebabkan timbulnya gaya reaksi pada roket yaitu gaya mengangkat serta mempercepat roket meluncur, ini merupakan gambaran hukum ketiga Newton. Dan hukum kedua Newton juga ada pada peluncuran roket yaitu percepatan yang dihasilkan tersebut tergantung pada massa roket. Makin kecil massanya, makin tinggilah percepatannya. Karena alasan ini, tingginya percepatan bertambah pada waktu bahan bakar roket terbakar habis. Marilah mengikuti penjelasan pada bab berikut!

Kehidupan yang ada di sekitar kita tentunya tidak lepas dari suatu kegiatan yang berkaitan dengan ilmu-ilmu fisika. Mengapa? Pertanyaan ini mengundang berbagai jawaban, misalnya masalah gerakan suatu benda yang bersifat makroskopik, lebih dikenal sebagai ilmu mekanika klasik, sedang yang bersifat mikro lebih dikenal dalam bidang mekanika kuantum, penglihatan mata kita sampai pada pemecahan masalah yang berkaitan dengan kesehatannya yaitu dengan menggunakan kacamata positif atau negatif, dipelajari khusus dalam ilmu fisika yaitu bidang fisika optik. Penggunaan lampu listrik, kipas angin listrik, mesin elektronik, dan yang berkaitan dengan masalah kelistrikan dalam ilmu fisika dipelajari di bidang listrik magnet. Akibat adanya api dapat menimbulkan gerakan suatu mesin, proses melebur, mendidih, menguap, dan dinamikanya dipelajari di bidang termodinamika. Pergerakan suatu planet dan permasalahan di sekitarnya, dipelajari dalam ilmu fisika lebih dikenal bidang astrofisika. Penggunaan sinar-X dan sinar laser banyak digunakan dalam dunia kedokteran, juga tidak lepas dari ilmu fisika.

Dari permasalahan tersebut, sebenarnya hanya ada satu sistem yang tidak bisa lepas dan perlu dicermati, yaitu tentang gerak, baik yang bersifat makro maupun mikro. Permasalahan gerak yang sudah kalian pelajari di Bab 4, belum menyangkut tentang siapa penyebab gerak itu sendiri, bukan? Gerakan suatu benda dengan mempelajari penyebab gerak disebut dinamika gerak, di mana yang bersifat makro banyak dianalisis lewat hukum Newton. Sedang yang bersifat mikro telah dianalisis, pada awalnya oleh ahli-ahli fisika terkenal misalnya Bohr, Heisenberg, Schrodinger, dan Einstein.

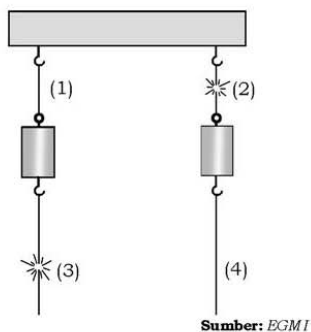
Dalam bab ini, kalian akan diajak untuk berwisata di taman fisika dengan mempelajari dinamika gerak, tetapi sebelum mengetahui lebih detail tentang peranan Newton dalam ilmu fisika, baiklah kita perhatikan beberapa contoh kejadian yang ada di sekitar kita.

### **Kejadian 1**

Pada gambar 5.1 menunjukkan dua buah anak timbangan yang massanya sama masing-masing digantungkan pada sebatang kayu di langit-langit dengan seutas benang sejenis dan sama tebalnya. Di bagian bawah masing-masing anak timbangan diikatkan pula seutas benang.



1. Apakah yang terjadi jika benang A ditarik ke bawah dengan sekali sentakan saja?
2. Apakah yang terjadi jika benang B yang tergantung ditarik ke bawah berangsur-angsur makin kuat?
3. Sebelum menjawab, ulangi percobaan tersebut sampai mendapatkan suatu jawaban yang meyakinkan di hati kalian!
4. Bagaimana sifat benang yang ditarik? Apa yang dapat kalian simpulkan dari kejadian di atas dengan disertai berbagai alasan yang mungkin?



**Gambar 5.1** Dua buah anak timbangan dengan massa sama

### Kejadian 2

Kalian pernah membaca tulisan di spanduk yang intinya adalah suatu himbauan yaitu “gunakan sabuk pengaman” bagi para pengemudi dan penumpang yang ada di depan kendaraan roda empat. Apa arti himbauan tersebut? Bagaimana kaitannya dengan ilmu-ilmu fisika? Apakah hanya berkaitan dengan faktor keselamatan penumpang semata? Pertanyaan ini bisa kalian jawab dengan mudah bila kalian pernah naik kereta api, bus, sepeda motor, atau kendaraan jenis lain dan tiba-tiba kendaraan kalian direm secara mendadak. Apa yang terjadi dengan kalian? Dan mengapa bisa terjadi! Jelaskan!

Dari kejadian 1 dan 2, ada dua hal yang perlu dicermati yaitu adanya konsep diam dan bergerak. Benda diam akibat dipengaruhi oleh faktor luar menyebabkan benda tersebut bergerak atau sebaliknya. Penyebab dari faktor luar ini di dunia fisika disebut gaya,  $F$ . Tentunya pengertian gaya itu sendiri tidak sesederhana yang dimaksud. Jika benda dalam posisi diam diberi gaya sebesar  $F$ , benda akan bergerak, bukan? Bagaimana kalau benda yang bergerak tiba-tiba diambil kembali gayanya? Apakah benda tersebut langsung diam? Untuk memahami pertanyaan ini, kembali kejadian 1 dan 2 untuk kita bicarakan bersama.

## A. Hukum I Newton

Dari contoh kejadian 1, jika tali ditarik dengan satu kali sentakan, tali putus pada gambar 5.1a-2. Sedangkan dari kejadian 2, jika ditarik ke bawah berangsur-angsur makin besar, tali putus di gambar 5.1b-3.

Jika kamu menumpang kendaraan, tiba-tiba direm mendadak, kamu akan terdorong ke depan bukan? Oleh karena itu, pengemudi dihimbau memakai sabuk pengaman, dengan harapan badan pengemudi tidak membentur setir saat terjadi pengereman mendadak. Di sinilah uniknya ilmu fisika. Jadi, sebuah benda dalam posisi diam tiba-tiba ada pengaruh gaya dari luar maka benda akan mempertahankan kedudukannya. Sedangkan kendaraan yang direm akan mempertahankan untuk bergerak terus, bukan? Jelaskan! Maka kesimpulan yang kita peroleh adalah setiap benda dalam posisi diam mempunyai kecenderungan untuk tetap diam, sedangkan bila benda sedang bergerak, benda cenderung untuk bergerak terus.

Sifat cenderung yang demikian diartikan sebagai kelembaman (inersia) dan dirumuskan oleh **Sir Isaac Newton (1642 – 1672)** sebagai hukum I Newton tentang gerak yaitu:

*Setiap benda akan bergerak lurus beraturan atau diam, jika tidak ada resultan gaya yang bekerja pada benda itu.*

Sehingga hukum I Newton lebih dikenal sebagai hukum kelembaman.

Untuk lebih memahami tentang hukum I Newton, marilah kita lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 5.1

**Tujuan pembelajaran:**

Siswa mampu menuliskan hukum I Newton.

**Konsep:**

Benda mempunyai kecenderungan untuk diam atau untuk bergerak terus.

**Saran penyajian:**

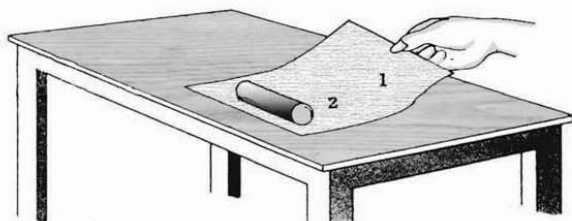
Melakukan percobaan untuk memahami sifat kelembaman benda.

**Alat dan bahan:**

1. Kertas 1 helai
2. Silinder logam 1 buah

**Persiapan percobaan:**

Taruhlah selembar kertas di atas meja (usahakan permukaan meja licin), kemudian letakkan sebuah silinder logam di atas kertas!



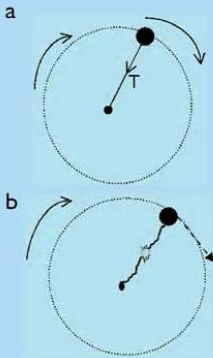
**Gambar 5.2** Memahami sifat kelembaman sebuah benda yang berada di atas kertas

**Langkah-langkah percobaan:**

1. Tariklah kertas dengan arah tegak lurus sisi silinder logam dengan sekali sentakan!
2. Ulangi percobaan beberapa kali!
3. Bagaimana keadaan silinder?
4. Kembalikan kertas pada kedudukan semula dan letakkan silinder di atas kertas lagi!
5. Tariklah kertas perlahan-lahan tanpa sentakan! Bergerakkah silinder terhadap meja?
6. Bagaimana pendapat kalian dari kejadian no. 1 dan 5, jelaskan!
7. Hentikan tarikan dengan mendadak! Bagaimana silinder tersebut?
8. Sebelum menarik suatu kesimpulan, ulangi kegiatan ini beberapa kali sehingga kalian merasa yakin dari hasil pengalaman selama percobaan!

**Kesimpulan:**

Dari percobaan yang kalian lakukan, kesimpulan apa yang kalian dapat?



Pada Gambar di samping adalah suatu peristiwa fisika yang bisa dijumpai dalam kehidupan sehari-hari yaitu sebuah benda yang diikat dengan seutas tali dan digerakkan melingkar vertikal. Untuk mendapatkan gerak melingkar memerlukan gaya sentripetal  $T$ . Jika tali tersebut putus, Gambar apa yang bisa diceritakan berkaitan dengan peristiwa fisika? Pada saat putusnya tali benda akan bergerak lurus, bukan? Diskusikan dengan temanmu bahwa peristiwa ini merupakan contoh hukum I Newton!

## B. Hukum II Newton

### 1. Persamaan Hukum II Newton



**Gambar 5.3** Peristiwa Fisika yang dilakukan oleh seseorang dalam melakukan aktivitasnya

Gambar 5.3 di atas adalah suatu ilustrasi dari peristiwa fisika yang sedang dilakukan seorang dalam melakukan aktivitasnya. Pertanyaan akan muncul ada berapa banyak peristiwa fisika dalam aktivitas tersebut?

## Saintis



### Isaac Newton (1643-1727)

Isaac Newton dikenal sebagai ahli ilmu pasti dan ilmu alam asal Inggris. Ia dianggap sebagai salah satu ilmuwan terbesar. Teori dan penemuannya berperan penting dalam perkembangan ilmu pasti dan ilmu alam. Penemuan Newton yang terkenal antara lain adalah kalkulus diferensial, integral, dan penguraian sinar putih menjadi warna pelangi. Adapun hukumnya yang sangat terkenal adalah hukum gravitasi dan hukum gerak Newton. Penemuan gaya gravitasi diawali oleh ketertarikan Newton terhadap bulan yang selalu mengelilingi bumi. Suatu saat ia duduk beristirahat di bawah pohon apel dan melihat sebuah apel yang jatuh dari pohon. Newton kemudian menemukan bahwa apel jatuh ke bawah karena ditarik oleh gaya tarik bumi atau gravitasi. Hukum Gerak Newton merupakan hukum dasar dinamika yang merumuskan pengaruh gaya terhadap perubahan gerakan benda. Hukum Newton terdiri atas tiga perumusan yang terkenal sebagai Hukum Newton I, II, dan III. Untuk menghormati jasa Newton namanya digunakan sebagai satuan gaya.

Sumber : *Jendela Iptek 8*

Pertanyaan ini memerlukan suatu jawaban yang sangat luas dan kompleks. Karena bisa dibayangkan lebih dari ribuan peristiwa fisika yang ada pada gambar 5.4. Dalam kesempatan ini, akan dibatasi hanya pada peristiwa yang berkaitan dengan hukum-hukum Newton.

Dalam bahasa fisika kalian melihat adanya beberapa konsep yang ada pada gambar 5.3 yaitu massa  $m$ , percepatan  $\vec{a}$ , dan gaya  $\vec{F}$ . Ketiga konsep ini saling berkaitan, bagian kiri seorang sedang memukul benda kecil yang bermassa  $m$  dengan gaya  $\vec{F}$  sehingga menimbulkan percepatan  $\vec{a}$  yang besar. Sebaliknya, beberapa orang yang sedang menggerakkan sebuah kendaraan yang bermassa  $m$  dengan gaya  $\vec{F}$ , sehingga menimbulkan percepatan  $\vec{a}$  yang kecil. Dari kedua aktivitas tersebut, bagaimana hubungan antara massa dan percepatan? Peristiwa ini bisa ditandai bahwa dengan  $\vec{F}$  yang konstan maka dapat diformulasikan dalam bentuk persamaan:

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

Persamaan di atas menunjukkan bahwa dengan gaya konstan, percepatan berbanding terbalik dengan massa suatu benda, secara umum dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan:

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

Apabila terdapat banyak gaya yang bekerja maka dituliskan

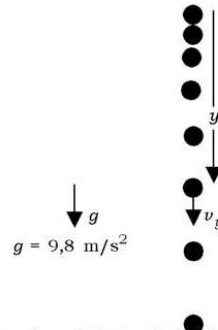
$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

$\vec{F}$  dinyatakan dalam newton,  $m$  dinyatakan dalam kg dan  $\vec{a}$  dinyatakan dalam  $\text{ms}^{-2}$ .

Persamaan di atas disebut hukum II Newton. Hukum II Newton mempunyai efek yang sangat besar dalam menganalisis suatu benda yang bergerak, misalnya bagaimana jika gaya yang melakukan pada benda tersebut lebih dari satu  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$  dengan arah gaya berbeda dan bagaimana kalau massanya berubah terhadap waktu? Untuk analisis lebih lanjut diskusikan dengan teman sebangku!

## 2. Gaya Berat

Gambar 5.4 menunjukkan sebuah benda jatuh bebas. Perhatikan jarak benda tiap sekon, makin ke bawah makin bertambah. Bertambahnya jarak ini disebabkan oleh penambahan kecepatan sebesar  $9,8 \text{ ms}^{-1}$ . Akibat adanya perubahan kecepatan tiap sekonnya maka benda tersebut mengalami percepatan sebesar  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Percepatan ini disebut percepatan gravitasi bumi ( $g$ ).



**Gambar 5.4** Benda jatuh bebas

Analogi dengan persamaan hukum Newton II, maka dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$\vec{F} = \vec{W} = m \vec{g}$$

Sebuah gaya yang bekerja pada sebuah benda karena pengaruh gravitasi bumi disebut gaya berat ( $W$ ). Pertanyaan yang perlu didiskusikan adalah nilai  $\vec{a}$  pada persamaan  $\vec{F} = m \vec{a}$  dengan nilai  $\vec{g}$  pada persamaan  $\vec{W} = m \vec{g}$ , yaitu persyaratan apa yang harus dipenuhi sehingga mendapatkan  $a = g$ ,  $a < g$ , dan  $a > g$ ?

### Info Sains

Pesawat tempur digerakkan oleh beberapa gaya. Gravitasi menariknya ke bawah; sayapnya memberikan gaya angkat; resistansi udara menyebabkan



Sumber: Jendela Iptek 3

adanya gaya yang melambatkan laju terbangnya; dan mesin pesawat memberikan gaya dorong ke depan. Pilot harus menyeimbangkan berat pesawat, dorongan mesin, gaya angkat sayap serta resistansi udara untuk menghasilkan gaya resultan menyeluruh yang tepat menurut arah yang diperlukan.

## Percobaan 5.2

Untuk lebih memahami tentang hukum II Newton marilah kita lakukan percobaan sebagai berikut!

### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu menemukan konsep hukum II Newton.

### Konsep:

Gaya dapat memberikan percepatan pada benda yang bermassa  $m$ , di mana  $m$  adalah konstan.

### Saran penyajian:

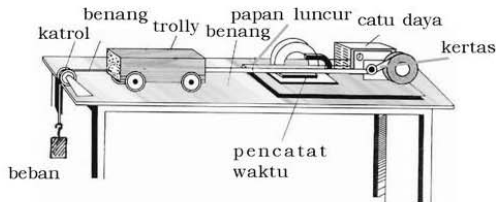
Melakukan percobaan untuk menemukan hubungan antara percepatan, gaya dan massa.

### Alat dan bahan:

1. Kereta dinamika/trolley 2 buah
2. Pencatat waktu 1 buah
3. Pita kertas secukupnya
4. Katrol pada penjepit 1 buah
5. Papan luncur 1 buah
6. Catu daya/sumber tegangan 1 buah
7. Benang secukupnya
8. Beban gantung 200 gram dan 400 gram 2 buah

### Persiapan percobaan:

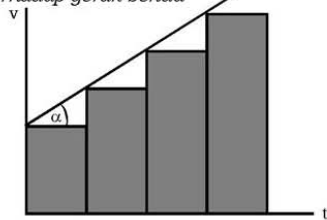
Susunlah peralatan seperti pada gambar 5.5! Gunakan beban 200 gram.



Gambar 5.5 Pengaruh benda terhadap gerak benda

### Langkah-langkah percobaan:

1. Lepaskan beban dan pada saat yang sama hidupkan *ticker timer*, kereta akan bergerak!
2. Gerakan akan terekam pada pita kertas. Amati! Apa yang terjadi pada jarak antartitik dari awal sampai akhir perekaman?



Gambar 5.6 Grafik dengan beban 200 gram

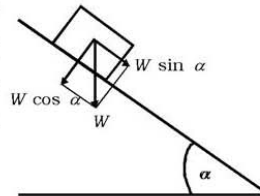
- Potonglah pita itu setiap 10 ketukan, tempelkan pada kertas milimeter sehingga tersusun suatu diagram dan lukislah grafiknya!
- Grafik melukiskan hubungan kecepatan terhadap waktu.
- Jika proyek ini kamu laksanakan dengan saksama akan diperoleh grafik seperti pada gambar 5.6!
- Ulangi dari awal sampai akhir untuk beban 400 gram dengan 1 kereta trolley!
- Ulangi dari awal sampai akhir untuk beban 200 gram dengan 2 kereta trolley!
- Ulangi dari awal sampai akhir untuk beban 400 gram dengan 2 kereta trolley!

**Kesimpulan:**

Dengan membandingkan keempat grafik tersebut kalian dapat menarik kesimpulan. Sebutkan apa saja yang dapat kalian simpulkan.

**Contoh Soal 5.1**

- Sebuah benda dengan massa  $m$  terletak pada bidang miring licin dengan kemiringan  $\alpha$ , lihat gambar di samping! Benda tersebut meluncur dengan suatu percepatan. Berapakah percepatan benda?



**Penyelesaian:**

Benda meluncur dengan percepatan:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow a = \frac{W \sin \alpha}{m} = \frac{mg \sin \alpha}{m} = g \sin \alpha$$

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

$$mg \sin \alpha = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = g \sin \alpha$$

Jadi, percepatan benda yang meluncur pada bidang miring yang licin tidak tergantung pada massa benda.

- Sebuah benda dengan massa 8 kg terletak pada lantai diberi gaya vertikal ke atas sebesar 120 N. Jika  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ , berapakah percepatan benda itu?



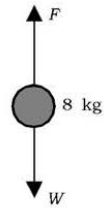
**Penyelesaian:**

Diketahui:  $m = 8 \text{ kg}$   
 $F = 120 \text{ N}$   
 $g = 10 \text{ ms}^{-2}$

Ditanya:  $a = \dots?$

Jawab:

Pada benda bekerja dua gaya yaitu gaya berat  $W$  dan gaya  $F$ :



$$\begin{aligned}\vec{W} &= m\vec{g} \\ &= 8 \text{ kg} \times 10 \text{ ms}^{-2} = 80 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\vec{F} = 120 \text{ N}$$

Percepatan benda ditentukan oleh resultan gaya  $\vec{W}$  dan

$\vec{F}$ , sehingga:

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

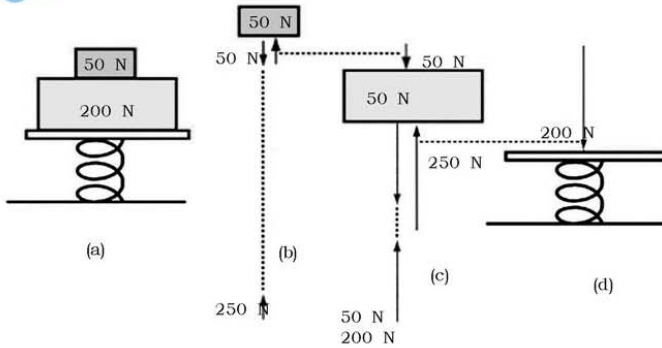
$$\vec{F} - W = m\vec{a}$$

$$a = \frac{F - W}{m} = \frac{(120 - 80) \text{ N}}{8 \text{ kg}} = 5 \text{ ms}^{-2}$$

### Latihan 5.1

1. Sebuah benda massa 1 kg terletak pada bidang datar licin. Padanya dikerjakan gaya mendatar  $F$  sehingga menghasilkan percepatan  $5 \text{ ms}^{-2}$ . Hitung besar gaya  $F$ !
2. Sebuah mobil meluncur dengan kecepatan 36 km/jam. Mobil direm dan berhenti setelah 5 sekon kemudian. Jika massa mobil 1.000 kg. Hitung gaya untuk mengerem mobil!
3. Sebuah kotak bermassa 20 kg berdiam di atas meja.
  - a. Berapakah berat kotak dan gaya normal yang bekerja padanya?
  - b. Sebuah kotak bermassa 10 kg ditempatkan di atas kotak bermassa 20 kg yang diam di atas meja. Tentukan gaya normal yang dilakukan meja pada kotak bermassa 20 kg dan gaya normal yang dilakukan kotak bermassa 20 kg pada kotak bermassa 10 kg.
4. Berapa gaya rata-rata yang diperlukan untuk menghentikan mobil bermassa 1000 kg dalam 5 sekon. Jika ia bergerak 90 km/jam?

## C. Hukum III Newton



**Gambar 5.7** Beberapa benda yang saling berinteraksi

Gambar 5.7a menunjukkan bahwa dua buah balok masing-masing mempunyai gaya berat sebesar 50 N dan 200 N diletakkan di atas pegas. Jika kedua balok dan pegas dalam posisi keseimbangan, maka bisa dijelaskan sebagai berikut.

1. Gambar 5.7b menunjukkan bahwa balok memberikan gaya berat sebesar 50 N dengan arah ke bawah, tetapi balok tersebut juga disupport sebesar 50 N dengan arah ke atas.
2. Gambar 5.7c balok dengan gaya berat 200 N arah ke bawah dan memperoleh tambahan gaya berat dari menunjukkan bahwa balok 50 N, sehingga memberikan gaya berat ke bawah sebesar 250 N, tetapi kedua balok tersebut disupport sebesar 250 N dari pegas arah ke atas.
3. Gambar 5.7d merupakan kesimpulan, di mana total kedua balok memberikan gaya berat sebesar 250 N arah ke bawah dan disupport sebesar 250 N dari pegas arah ke atas.

Gambar 5.7a-d merupakan peristiwa fisika yang dianalisis oleh Newton yang disebut sebagai hukum III Newton. Hukum III Newton lebih dikenal sebagai hukum aksi-reaksi.

Hukum ini menyatakan bahwa jika dua buah benda saling berinteraksi, gaya yang dikenakan pada benda pertama oleh benda kedua, benda pertama akan mengeluarkan gaya yang besarnya sama dengan benda kedua dengan arah berlawanan. Secara matematika dapat ditulis dengan persamaan:

$$F_{12} = -F_{21}$$

Persamaan di atas merupakan bentuk persamaan yang secara simetris sangat fundamental di dalam menganalisis sistem tata surya. Semua gaya yang bekerja dalam sistem tata surya besarnya sama dengan arah yang berlawanan, gaya ini merupakan gaya pasangan. Secara intuisi pengertian ini sering membingungkan, sebagai contoh, jika sebuah truk besar yang sudah saling berhadapan dengan truk kecil akhirnya bertabrakan, maka intuisi Kalian akan bercerita bahwa truk yang kecil harus mengeluarkan gaya yang besar, bukan? Yang sebenarnya tidak demikian. Coba renungkan dan diskusikan dengan teman Kalian!

Untuk lebih memahami tentang konsep gaya aksi-reaksi Hukum III Newton. Marilah kita lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 5.3

**Tujuan pembelajaran:**

Pemahaman konsep gaya aksi-reaksi.

**Konsep:**

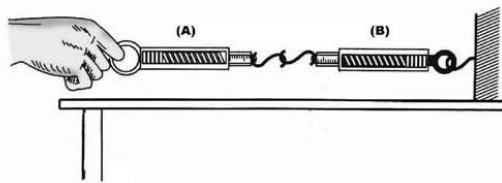
Gaya aksi = gaya reaksi

**Alat dan bahan:**

1. Neraca pegas 2 buah
2. Paku pengait 1 biji

**Persiapan kegiatan:**

Susunlah alat-alat seperti gambar 5.8 di bawah ini!



Sumber: *EGMI*

**Gambar 5.8** Gaya aksi-reaksi pada pegas A dan B

### Langkah-langkah kegiatan:

1. Tariklah neraca pegas A! Berapa angka yang ditunjuk?
2. Perhatikan neraca pegas B! Berapa angka yang ditunjuk?
3. Ke arah mana arah gaya pada A?
4. Ke arah mana arah gaya pada B?
5. Samakah angka yang ditunjuk oleh A dan B?

### Kesimpulan:

Berikan kesimpulan dari percobaan ini!

## 1. Pengaruh Gaya pada Gerak Vertikal

### a. Gaya Normal ( $N$ )

Gambar 5.9 ini menunjukkan sebuah balok yang terletak pada sebuah meja.

Gaya-gaya yang bekerja adalah sebagai berikut.

$\vec{W}$  = gaya berat balok, yaitu gaya yang dikerjakan bumi kepada balok, merupakan gaya aksi.

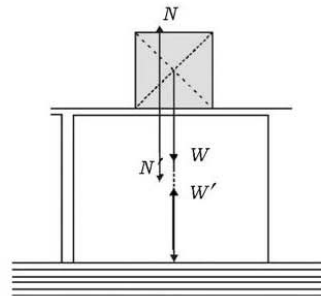
$\vec{W}'$  = gaya yang dikerjakan balok pada bumi, merupakan gaya reaksi.

Jadi,  $\vec{W}$  dan  $\vec{W}'$  merupakan gaya aksi-reaksi karena bekerja pada dua buah benda, yaitu balok dan bumi dengan besar yang sama dan berlawanan arah.

$\vec{N}$  = gaya normal yaitu gaya yang dikerjakan meja kepada balok. gaya ini arahnya tegak lurus dengan titik sentuh.

$\vec{N}'$  = gaya yang diberikan balok pada meja.

$\vec{N}$  dan  $\vec{N}'$  merupakan pasangan gaya aksi-reaksi ( $\vec{N} = -\vec{N}'$ ) dan berlawanan. Sedangkan  $\vec{N}$  dan  $\vec{W}$  bukan pasangan gaya aksi-reaksi karena hanya bekerja pada sebuah benda saja yaitu balok.



Gambar 5.9 Pasangan aksi-reaksi pada balok di atas meja

### b. Tegangan Tali

Gambar 5.10 di bawah ini menunjukkan sebuah bola berat  $\vec{W}$  digantung pada langit-langit.

Gaya-gaya yang bekerja adalah sebagai berikut.

$\vec{W}$  = gaya berat bola, gaya yang dikerjakan bola pada ujung tali.

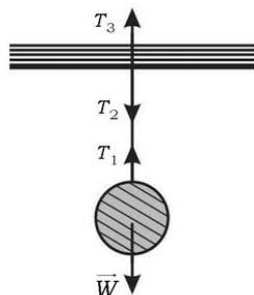
$T_1$  dan  $\vec{W}$  merupakan pasangan gaya aksi-reaksi, karena bekerja pada dua benda, yaitu bola dan tali.

$\vec{T}_2$  = gaya yang dikerjakan tali pada langit-langit.

$\vec{T}_3$  = gaya yang dikerjakan langit-langit pada tali.

$\vec{T}_2$  dan  $\vec{T}_3$  merupakan pasangan aksi-reaksi, karena bekerja pada dua benda yaitu pada tali dan langit-langit.

$\vec{T}_1$  dan  $\vec{T}_2$  bukan pasangan aksi-reaksi karena tidak hanya bekerja pada dua benda saja tetapi melibatkan 3 benda, yaitu bola, tali, dan langit-langit.



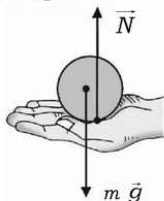
**Gambar 5.10** Pasangan aksi-reaksi pada benda yang digantung pada tali

### Contoh Soal 5.2

1. Sebuah benda bermassa  $m$  kg terletak pada telapak tangan. Apabila percepatan gravitasi adalah  $g$ , berapakah gaya normal yang dikerjakan oleh tangan pada benda pada saat:
  - a. tangan diam?
  - b. tangan digerakkan ke atas dengan percepatan  $a$ ?
  - c. tangan digerakkan ke bawah dengan percepatan  $a$ ?

#### Penyelesaian:

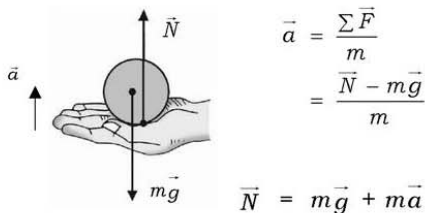
- a. Tangan diam, gaya normal = berat benda:



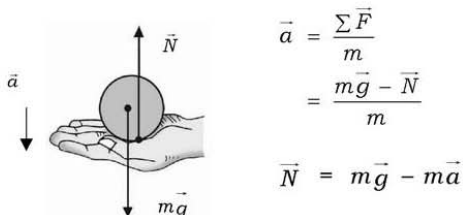
gaya normal = berat benda

$$\vec{N} = m \vec{g}$$

- b. Tangan digerakkan ke atas dengan percepatan  $a \text{ ms}^{-2}$ :



- c. Tangan digerakkan ke bawah dengan percepatan  $a \text{ ms}^{-2}$ :



2. Sebuah benda massa  $m$  digantung pada sebuah kerekan, dengan mengabaikan gesekan tali. Hitung tegangan tali pengantung jika:

- Benda diam!
- Benda ditarik ke atas dengan perlambatan  $\vec{a}$  !
- Benda dilepas bergerak ke bawah dengan perlambatan  $\vec{a}$  !
- Benda ditarik ke atas dengan kecepatan tetap!

**Penyelesaian:**

- a.



Benda diam  
Berdasarkan hukum aksi = reaksi

Nilai  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

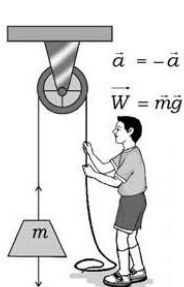
$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\vec{T} = m\vec{g}$$

$$\vec{T} - \vec{W} = 0$$

$$\vec{T} = \vec{W}$$

- b. Benda di tarik ke atas dengan perlambatan  $\bar{a}$



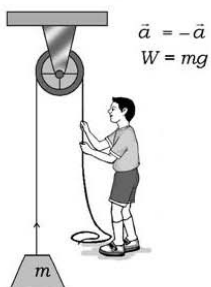
$$\bar{a} = \frac{\Sigma \bar{F}}{m}$$

$$-\bar{a} = \frac{\bar{T} - \bar{W}}{m}$$

$$-\bar{a} = \frac{\bar{T} - m\bar{g}}{m}$$

$$\bar{T} = m\bar{g} - m\bar{a}$$

- c. Benda dilepas ke bawah dengan perlambatan  $\bar{a}$



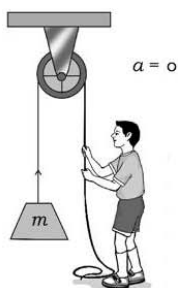
$$\bar{a} = \frac{\Sigma \bar{F}}{m}$$

$$-\bar{a} = \frac{\bar{W} - \bar{T}}{m}$$

$$-\bar{a} = \frac{m\bar{g} - \bar{T}}{m}$$

$$\bar{T} = m\bar{g} + m\bar{a}$$

- d. Kerekan bergerak ke atas dengan kecepatan tetap



$$\bar{a} = \frac{\Sigma \bar{F}}{m}$$

$$0 = \frac{\bar{W} - \bar{T}}{m}$$

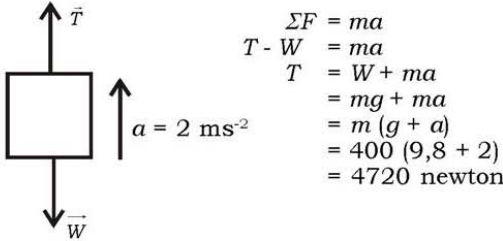
$$\bar{T} = \bar{W}$$

$$\bar{T} = m\bar{g}$$

3. Sebuah elevator massa 400 kg bergerak vertikal ke atas dari keadaan diam dengan percepatan tetap sebesar  $2 \text{ ms}^{-2}$ . Jika percepatan gravitasi  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Hitung tegangan tali penarik elevator!

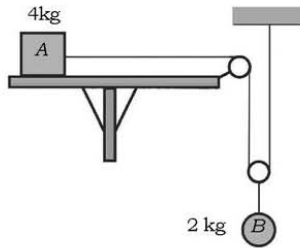
**Penyelesaian:**

Skema elevator dapat dibuat:



**Latihan 5.2**

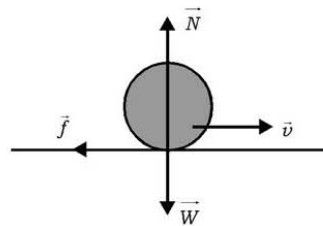
Pada sistem seperti gambar di bawah ini, hitung perpindahan benda A dan benda B setelah 2 sekon kedua benda dilepas!



**2. Gaya Gesekan**

Joni meluncurkan 2 biji kelereng, satu kelereng di lantai keramik, yang lain di lantai yang berpasir. Kelereng manakah yang meluncur lebih jauh? Mengapa demikian?

Bagaimana pendapat kalian jika massa kelereng diperbesar 2 kali massa kelereng pertama dan diluncurkan di lantai keramik dan di lantai berpasir?



**Gambar 5.11** Sebuah benda bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}$  dan gaya gesekan  $\vec{f}$



Benda yang bergerak pada suatu bidang pada umumnya ada gaya yang menghambat laju benda tersebut sehingga berhenti di suatu tempat. Gaya semacam ini disebut gaya gesekan atau friksi ( $\vec{f}$ ). Arah gaya gesekan selalu berlawanan dengan arah kecepatan benda.

Gambar 5.11 menunjukkan suatu benda yang bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}$  dan mendapatkan gaya gesekan sebesar  $\vec{f}$  dan berlawanan arah dengan kecepatannya.

Besar gaya gesekan ditentukan oleh:

- Kasar dan licinnya permukaan benda yang bersinggungan. Bidang kasar mempunyai gaya gesekan lebih besar dari pada bidang yang licin. Kasar dan licinnya bidang dinyatakan dengan suatu angka yang disebut angka gesekan ( $\mu$ ). Bidang yang kasar mempunyai angka gesekan besar, sedang bidang yang licin sempurna mempunyai koefisien gesekan nol. Sehingga angka gesekan ditulis:

$$0 \leq \mu \leq 1$$

Besar mana nilai  $\mu$  antara kelereng dengan lantai dan kelereng dengan pasir?

- Gaya gesekan berbanding lurus dengan gaya normal ( $N$ ), sehingga gaya gesekan ditulis:

$$\vec{f} \leq \mu \vec{N}$$

Dengan  $\vec{f}$  dinyatakan dalam newton. Persamaan di atas menunjukkan bahwa gaya gesekan tidak dipengaruhi oleh luas permukaan kedua bidang.

### Aksi Fisika

**“Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!”**

Diskusikan pertanyaan ini dengan teman sebangku kalian!

- Pada persamaan  $\vec{f} = \mu \vec{N}$ . Jika  $\vec{f} = 0$  apa yang bisa kalian ceritakan dan bagaimana nilai  $\mu$  dan  $\vec{N}$ -nya?
- Apabila kalian memiliki kelereng, cobalah kelereng tersebut kalian luncurkan di zat cair, maupun di udara! Apa masih ada istilah gaya gesekan pada peristiwa tersebut dan bagaimana pengaruh luas permukaannya?

Gambar 5.12, seseorang sedang berusaha menggerakkan mobil yang diam dengan gaya sebesar  $F$ . Pada saat mobil bergerak gaya yang diberikan akan lebih kecil dari pada  $F$ , bukan? Mengapa? Pada saat berhenti, disebut gaya gesekan statis  $\vec{f}_s$ , dan saat bergerak dikenal adanya gaya gesekan kinetik  $\vec{f}_k$ . Menurut persamaan  $\vec{f} = \mu \vec{N}$  dapat ditulis kembali:

$$\vec{f}_s \leq \mu_s \vec{N}$$

$$\vec{f}_k \leq \mu_k \vec{N}$$

Dengan  $\mu_s$  adalah koefisien gesekan statis dan  $\mu_k$  adalah koefisien gesekan kinetik. Oleh karena  $\vec{f}_s > \vec{f}_k$ . Perlu diperhatikan bahwa jika kondisi jalan raya basah maka nilai  $\mu_k$  akan lebih kecil jika dibanding pada jalan yang kering. Mengapa?

Hal yang penting bagi pemakai jalan raya adalah gaya gesekan antara ban mobil dan jalan raya yang ditentukan oleh percepatan maksimum dan jarak berhenti minimum (*stopping distance*). Sedang jarak berhenti minimum ditentukan oleh koefisien gesekan antara ban dan jalan raya. Karena sangat pentingnya nilai koefisien gesekan, maka desain ban perlu diperhatikan. Lihat gambar 5.13! Diskusikan dengan teman kalian, mengapa sebuah truk dan mobil dengan kecepatan sama, truk akan mengalami kesulitan untuk berhenti pada jarak yang sama!



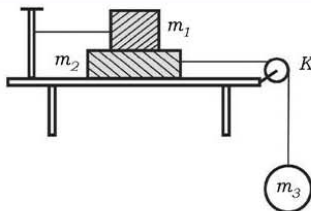
Gambar 5.12 Perubahan  $\mu_s$  ke  $\mu_k$



Gambar 5.13 Ban mobil

### Contoh Soal 5.3

1. Pada susunan benda-benda seperti gambar di samping, K adalah katrol,  $m_1 = 10$  kg,  $m_2 = 5$  kg,  $m_3 = 10$  kg, koefisien gesekan antara  $\mu_1$  dan  $\mu_2 = 0,2$ , koefisien gesekan antara  $\mu_2$  bidang =  $0,4$ , jika beban  $m_3$  dilepas:



- Hitung gaya gesekan antara  $m_1$  dan  $m_2$ !
- Hitung gaya gesekan antara  $m_2$  dan bidang!
- Hitung percepatan  $m_3$ !
- Hitung tegangan tali antara  $m_2$  dan  $m_3$ !

**Penyelesaian:**

- Gaya gesekan antara  $m_1$  dan  $m_2$ :

$$\begin{aligned}\vec{f}_1 &= \mu_1 \vec{N}_1 \\ &= \mu_1 m_1 g \\ &= 0,2 \times 10 \times 10 \\ &= 20 \text{ N}\end{aligned}$$

- Gaya gesekan antara  $m_2$  dan bidang:

$$\begin{aligned}\vec{f}_2 &= \mu_2 (m_1 + m_2) g \\ &= 0,4 (10 + 5) \times 10 \\ &= 60 \text{ N}\end{aligned}$$

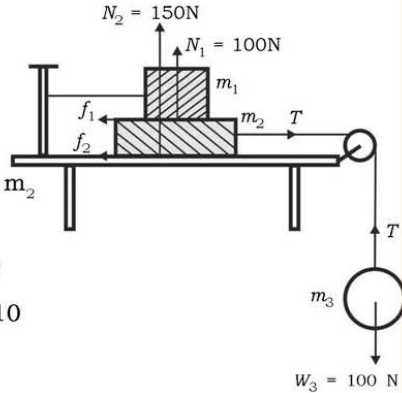
- Percepatan  $m_3$ :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\sum \vec{F}}{\sum m} = \frac{\vec{W}_3 - \vec{f}_1 - \vec{f}_2}{m_3 + m_2} \\ &= \frac{100 - 20 - 60}{10 + 5} = \frac{4}{3} \text{ ms}^{-2}\end{aligned}$$

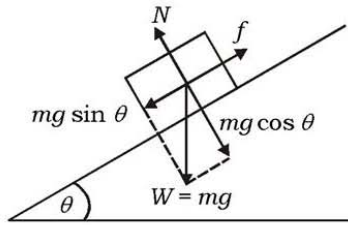
- Tegangan Tali  $\vec{T}$  pada  $m_3$ :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\sum \vec{F}}{\sum m} \\ \frac{4}{3} &= \left( \frac{100 - \vec{T}}{10} \right) \\ T &= \frac{260 \text{ N}}{3} = 86,67 \text{ N}\end{aligned}$$

- Sebuah benda yang beratnya  $W$  meluncur ke bawah dengan kecepatan tetap pada suatu bidang miring yang kasar. Bidang miring tersebut membentuk sudut  $30^\circ$  dengan horisontal. Hitung koefisien gesekan antara benda dengan bidang tersebut.



**Penyelesaian:**



Benda bergerak dengan kecepatan tetap, berarti tidak ada percepatan,  $a = 0$ .

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ &= 0\end{aligned}$$

Untuk sumbu  $y$ ,

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ N - mg \cos \theta &= 0\end{aligned}$$

$$N = mg \cos \theta$$

Untuk sumbu  $x$ ,

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ mg \sin \theta - f &= 0\end{aligned}$$

$$mg \sin \theta - \mu N = 0$$

$$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 0$$

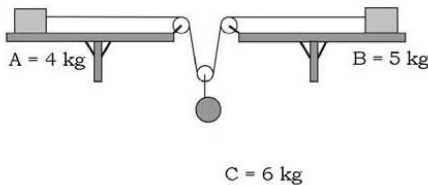
$$\sin \theta = \mu mg \cos \theta$$

$$\mu = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \operatorname{tg} \theta$$

$$\mu = \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{1}{3}\sqrt{3}$$

**Latihan 5.3**

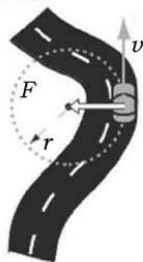
Pada sistem gambar di bawah, koefisien gesekan pada A = 0,25 pada B = 0,2.



- Hitung percepatan benda C setelah ketiga benda dilepas!
- Hitung perpindahan C setelah 2 sekon!

### 3. Gaya Sentripetal

Pada pembahasan gerak melingkar sudah dipahami adanya percepatan sentripetal  $a_s$  yaitu apabila sebuah benda melakukan gerak dengan lintasan melengkung akan mendapatkan percepatan gerak dan diperlukan suatu gaya yang arahnya ke pusat lengkungan. Gaya ini disebut gaya sentripetal, yang berarti pencarian pusat gaya. Jika benda mengelilingi bumi bermassa  $m$ , kecepatan  $v$ , dan jari-jari lintasan  $r$  maka gaya sentripetal  $\vec{F}_s$  adalah:

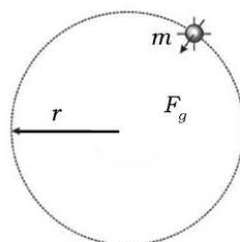


**Gambar 5.14** Mobil berjalan membelok dengan jari-jari  $r$

$$\vec{F}_s = m \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{F}_g = \vec{F}_s \rightarrow m\vec{g} = m \frac{v^2}{r}$$

$$v_{\text{orbit}}^2 = gr_{\text{orbit}}$$

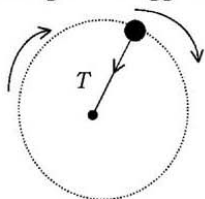


**Gambar 5.15** Benda bermassa  $m$  mengorbit bumi dengan kecepatan  $\vec{v}$

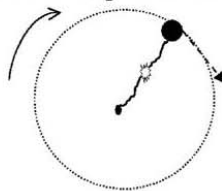
#### Latihan 5.4

Diskusikan dengan teman kalian!

- Suatu satelit berada pada ketinggian  $h$  di atas permukaan bumi yang berjari-jari  $R_{\text{bumi}}$ . Berapakah  $v$  satelit tersebut bergerak mengelilingi bumi agar tidak jatuh?
- Pada gambar (a), sebuah benda berputar dengan tegangan talinya  $\vec{T}$ . Apakah besarnya  $\vec{T}$  sama dengan  $\vec{F}_s$ ? Jika tali putus, yang ditunjukkan seperti pada Gambar (b), perubahan apa yang terjadi terhadap  $\vec{F}_s$ ? Berikan analisis kalian dengan menggunakan konsep Hukum I Newton!



(a)



(b)

### Contoh Soal 5.4

1. Sebuah kelereng massa 10 gram, diikat dengan tali sepanjang 50 cm diputar pada bidang datar yang licin dengan kecepatan  $5 \text{ ms}^{-2}$ . Hitung besar tegangan tali pemutarnya!

**Penyelesaian:**

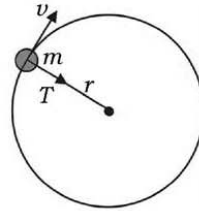
Diketahui:  $m = 10 \text{ gram}$                        $v = 5 \text{ m/s}^2$   
 $\ell = 50 \text{ cm}$

Ditanya:  $\bar{T} = \dots?$

Jawab:

Dalam hal ini, tegangan tali = gaya sentripetal.

$$\begin{aligned}\bar{T} &= \bar{F}_s \\ &= \frac{m v^2}{R} \\ &= \left( \frac{0,01 \times 5^2}{0,5} \right) = 0,5 \text{ N} \\ &= \frac{(0,01) \text{ kg} \times (5^2) \text{ m}^2\text{s}^{-2}}{0,5 \text{ m}} = 0,5 \text{ N}\end{aligned}$$



2. Seorang anak duduk di atas kursi roda yang berputar vertikal. Jika percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ ms}^{-2}$  dan jari-jari roda 2,5 m. Hitung laju maksimum roda agar anak tidak terlepas dari tempat duduknya!

**Penyelesaian:**

Gaya yang bekerja pada anak tersebut adalah, gaya sentripetal dan gaya berat anak. Agar anak tidak terlepas maka gaya sentripetal harus lebih kecil atau sama dengan gaya berat.

$$F_s \leq mg$$

$$\frac{mv^2}{R} \leq mg$$

$$v^2 \leq gR$$

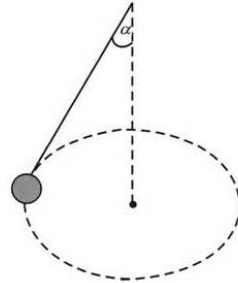
$$v \leq \sqrt{gR}, \text{ dengan } v > 0$$

$$v \leq \sqrt{10 \times 2,5}$$

$v \leq 5 \text{ ms}^{-1}$ , Kecepatan maksimum agar anak tidak terlepas adalah  $5 \text{ ms}^{-1}$ .

### Latihan 5.5

1. Sebuah bandul diputar hingga membuat sudut  $\alpha$  ( $\tan \alpha = 0,75$ ). Lihat gambar di samping, jika massa benda 2 kg, panjang tali 1 m.
  - a. Hitunglah kecepatan sudut putaran bandul!
  - b. Hitunglah tegangan tali!
2. Seorang pengendara sepeda motor membuat lintasan lingkaran dengan jari-jari 10 m, kecepatan 72 km/jam. Hitung sudut kemiringan sepeda motor! ( $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ )



### Rangkuman

1. Hukum I Newton tentang gerak yaitu setiap benda akan bergerak lurus beraturan atau diam, jika tidak ada resultan gaya yang bekerja pada benda itu.
2. Hukum II Newton yaitu bahwa dengan gaya konstan, percepatan berbanding terbalik dengan massa suatu benda, persamaan secara umum ditulis:

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

3. Gaya berat adalah sebuah gaya yang bekerja pada sebuah benda karena pengaruh gravitasi bumi. Yang arahnya selalu tegak lurus ke bawah.

$$\vec{W} = m \vec{g}$$

4. Hukum III Newton yang dikenal sebagai hukum aksi-reaksi yaitu jika dua buah benda saling berinteraksi, gaya yang dikenakan pada benda pertama oleh benda kedua, benda pertama akan mengeluarkan gaya yang besarnya sama dengan benda kedua dengan arah berlawanan.
5. Gaya gesek yaitu gaya yang akan menghambat laju benda yang bergerak pada suatu bidang sehingga berhenti di suatu tempat.

$$\vec{f} \leq \mu \vec{N}$$

6. Suatu benda melakukan gerak dengan lintasan lingkaran akan mendapat percepatan gerak dan diperlukan suatu gaya yang arahnya ke pusat lingkaran. Gaya ini disebut gaya sentripetal.

$$\vec{F}_s = m \frac{v^2}{r}$$

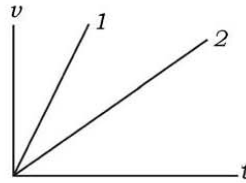


## Evaluasi

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

- Untuk mempercepat benda yang massanya 6 kg dari kecepatan  $21 \text{ ms}^{-1}$  menjadi  $33 \text{ ms}^{-1}$  selama 3 sekon diperlukan gaya sebesar . . . .
  - 27 N
  - 24 N
  - 21 N
  - 18 N
  - 15 N
- Sebuah benda bermassa 50 kg bergerak dengan kecepatan  $14,4 \text{ km/jam}$ . Gaya yang diperlukan agar benda itu berhenti pada jarak 10 m dari tempat semula adalah . . . .
  - 60 N berlawanan dengan gerak benda
  - 60 N searah dengan gerak benda
  - 40 N berlawanan dengan gerak benda
  - 40 N searah dengan gerak benda
  - 20 N searah dengan gerak benda

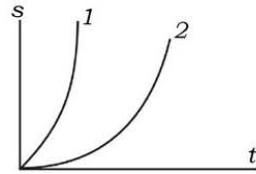
- Gambar di samping menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu dari dua buah gerak benda yang massanya  $m_1$  dan  $m_2$ . Kedua benda mendapat gaya yang sama sehingga mendapatkan percepatan  $\vec{a}_1$  dan  $\vec{a}_2$ . Dari grafik dapat disimpulkan bahwa . . . .



- $\vec{a}_1 < \vec{a}_2$  dan  $m_1 > m_2$
- $\vec{a}_1 < \vec{a}_2$  dan  $m_1 < m_2$
- $\vec{a}_1 > \vec{a}_2$  dan  $m_1 < m_2$
- $\vec{a}_1 > \vec{a}_2$  dan  $m_1 > m_2$
- $\vec{a}_1 > \vec{a}_2$  dan  $m_1 = m_2$



4. Gambar di samping, menunjukkan grafik perpindahan terhadap waktu dari dua benda yang massanya sama yang dikerjakan oleh gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$ , sehingga memberikan percepatan  $\vec{a}_1$  dan  $\vec{a}_2$ . Dari grafik dapat disimpulkan bahwa . . . .



- $\vec{a}_1 > \vec{a}_2$  dan  $\vec{F}_1 > \vec{F}_2$
  - $\vec{a}_1 > \vec{a}_2$  dan  $\vec{F}_1 < \vec{F}_2$
  - $\vec{a}_1 < \vec{a}_2$  dan  $\vec{F}_1 < \vec{F}_2$
  - $\vec{a}_1 < \vec{a}_2$  dan  $\vec{F}_1 > \vec{F}_2$
  - $\vec{a}_1 = \vec{a}_2$  dan  $\vec{F}_1 > \vec{F}_2$
5. Gaya normal pada seseorang yang berada di dalam lift lebih besar dari berat orang itu jika lift dalam keadaan . . . .
- diam
  - bergerak ke bawah dengan kecepatan tetap
  - bergerak ke bawah dengan percepatan tetap
  - bergerak ke atas dengan percepatan tetap
  - bergerak ke atas dengan perlambatan
6. Gaya resultan yang bekerja pada sebuah benda yang bermassa 30 kg, sehingga ia dipercepat dengan percepatan  $2 \text{ ms}^{-1}$  adalah. . . .
- 15 N
  - 30 N
  - 50 N
  - 60 N
  - 90 N
7. Dua buah benda dengan massa 6 kg dan 4 kg, dihubungkan dengan sebuah pegas seperti terlihat pada gambar. Jika massa lebih ringan bergerak dengan percepatan  $4 \text{ ms}^{-2}$ . Jika gravitasi =  $10 \text{ ms}^{-2}$  maka percepatan massa yang lebih besar adalah . . . .

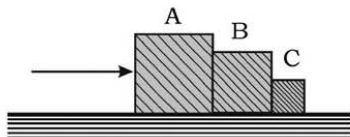


- $1,5 \text{ ms}^{-2}$
- $2 \text{ ms}^{-2}$
- $2,67 \text{ ms}^{-2}$
- $3,8 \text{ ms}^{-2}$
- $5 \text{ ms}^{-2}$

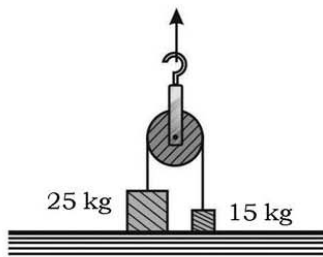
8. Besarnya percepatan sudut balok untuk meluncur pada sebuah bidang dengan sudut kemiringan  $45^\circ$ , jika diketahui koefisien gesekan kinetik dan statik balok dengan bidang  $\mu_k = 0,3$  dan  $\mu_s = 0,4$  adalah . . . .
- $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $7 \text{ ms}^{-2}$
  - $9 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
  - $15 \text{ ms}^{-2}$
9. Sebuah balok massanya  $6 \text{ kg}$  ditempatkan pada bidang datar, koefisien gesekan kinetik antara balok dengan permukaan  $\mu_k = 0,3$ . Kemudian balok diberi gaya  $\vec{F} = 48 \text{ newton}$ . Besarnya percepatan yang timbul jika gaya  $\vec{F}$  mendatar . . . .
- $3 \text{ ms}^{-2}$
  - $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $7 \text{ ms}^{-2}$
  - $8 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
10. Suatu balok yang akan bergerak turun jika koefisien gesekan statis  $\mu_s = 0,5$  maka derajat sudut kemiringannya . . . .
- $21,7^\circ$
  - $25^\circ$
  - $30^\circ$
  - $33,3^\circ$
  - $26,5^\circ$

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

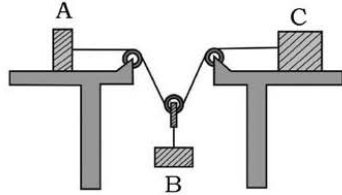
1. Tiga buah balok A, B, dan C yang massanya  $5 \text{ kg}$ ,  $3 \text{ kg}$ , dan  $2 \text{ kg}$  terletak pada lantai dan disusun seperti gambar di samping. Gaya horisontal  $F$  sebesar  $100 \text{ N}$  dikenakan pada benda A.



- Berapakah percepatan benda-benda itu?
  - Berapakah besar gaya kontak antara A dan B serta B dan C?
2. Dua buah balok A dan B massanya  $25 \text{ kg}$  dan  $15 \text{ kg}$  mula-mula berada pada meja mendatar dihubungkan tali sama lain melalui katrol. Jika katrol ditarik ke atas dengan gaya  $\vec{F}$ . Berapa percepatan balok A dan B:



- a. Jika  $F = 100 \text{ N}$ ?
  - b. Jika  $F = 150 \text{ N}$ ?
  - c. Jika  $F = 500 \text{ N}$ ?
3. Tiga buah benda A, B, dan C masing-masing massanya 2 kg, 3 kg, dan 5 kg disusun seperti pada gambar di samping. Jika meja dan katrol licin sempurna hitung tegangan tali dan percepatan masing-masing benda!



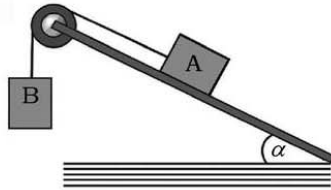
**Petunjuk:** Percepatan B =  $\frac{1}{2}$  (percepatan A + percepatan C)

4. Dua buah bola A dan B yang massanya 2 kg dan 5 kg diikat dengan tali dan digantung pada langit-langit lift. Jika lift bergerak ke atas dengan percepatan  $2 \text{ ms}^{-2}$ , berapakah tegangan masing-masing tali jika  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ?

5. Pada gambar di samping saat kedua benda dilepaskan mempunyai percepatan

$$2 \text{ ms}^{-2}. \text{ Jika } \sin \alpha = \frac{3}{5},$$

berapa koefisien gesekan antara benda A dengan bidang?

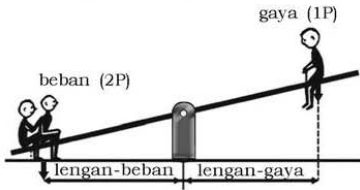


6. Sebuah balok yang bermassa  $m_A = 30 \text{ newton}$  terletak di atas bidang miring licin yang sudut kemiringannya  $30^\circ$ . Balok ini dihubungkan oleh seutas tali, melalui katrol kecil tanpa gesekan dengan balok kedua yang bermassa  $m_B = 20 \text{ newton}$  dan tergantung vertikal (gambar soal 5)
- a) Berapakah kecepatan masing-masing benda?
  - b) Berapakah tegangan pada tali?

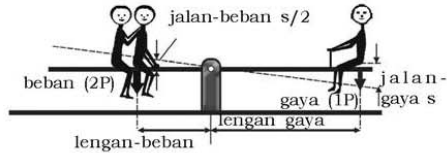
## Aplikasi

**“Ayo tumbuhkan semangat kewirausahaan dan etos kerja kalian!”**

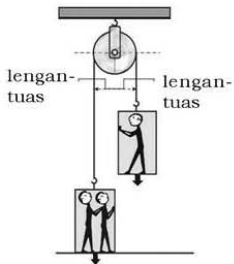
Perhatikan gambar-gambar di bawah ini!



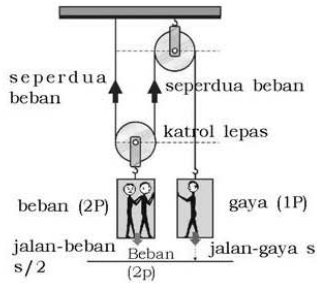
**Gambar (a).** Tak ada keseimbangan



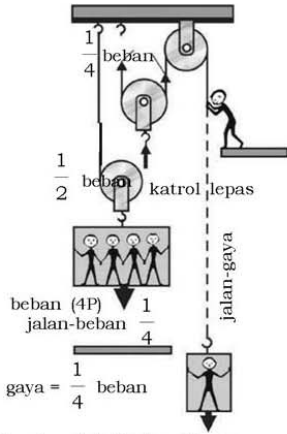
**Gambar (b).** Seimbang ( $\text{gaya} \times \text{lengan-gaya} = \text{beban} \times \text{lengan-beban}$ )



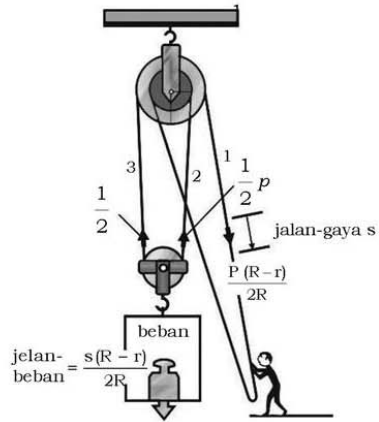
**Gambar (c).** Katrol tetap



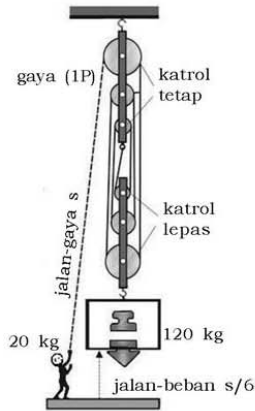
**Gambar (d).** Katrol lepas



**Gambar (e).** Perbandingan antara gaya dan beban serta antara jalan-gaya dengan jalan-beban.



**Gambar (f).** Takal diferensial



**Gambar (g).** Takal dengan 6 katrol

**Gambar 5.16** Sistem-sistem berdasarkan hukum Newton

Dengan memahami gambar-gambar di samping, buatlah alat untuk mempermudah pengangkatan benda:

1. Dengan sistem seperti gambar (d).
2. Dengan sistem seperti gambar (e).
3. Dengan sistem seperti gambar (f).
4. Dengan sistem seperti gambar (g).

## Evaluasi Semester Gasal

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

- Di bawah ini yang merupakan dimensi tekanan yang benar, adalah . . . .
  - $[M][L][T]^{-1}$
  - $[M][L][T]^{-2}$
  - $[M][L]^{-1}[T]^{-2}$
  - $[M][L]^2[T]^{-2}$
  - $[M][L]^{-2}[T]^{-1}$
- Ada berapa angka penting pada bilangan 3,50001 . . . .
  - 2 angka penting
  - 3 angka penting
  - 4 angka penting
  - 5 angka penting
  - 6 angka penting
- Hasil perkalian dari bilangan  $15,34 \times 2,9$  adalah . . . .
  - 44
  - 44,486
  - 44,48
  - 44,5
  - 45
- Di bawah ini adalah besaran skalar, **kecuali** . . . .
  - waktu
  - kecepatan
  - temperatur
  - massa
  - energi
- Perhatikan pernyataan di bawah ini!
  - Batu itu jatuh dari ketinggian 1 meter
  - Mobil Andi bergerak 20 km ke barat
  - Toni membutuhkan waktu 1 jam untuk berjalan dari rumahnya ke sekolah
  - Iwan mendaki gunung sejauh 200 m dengan kemiringan  $60^\circ$
  - Massa kayu itu 20 kgDari pernyataan tersebut yang melibatkan vektor adalah . . . .
  - 1, 2 dan 3
  - 2 dan 3
  - 3, 4 dan 5
  - 1 dan 2
  - 3 dan 5
- Dua vektor yang besarnya 5 dan 3 satuan membentuk sudut  $60^\circ$  satu sama lain. Besarnya resultan vektor-vektor tersebut adalah . . . .
  - 5 satuan
  - 6 satuan
  - 7 satuan
  - 8 satuan
  - 9 satuan

7. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan rata-rata 180 km/jam. Besar kecepatan mobil tersebut untuk sampai pada tujuan yang terletak 20 km dari sekarang berada . . .
- $50 \text{ ms}^{-1}$
  - $60 \text{ ms}^{-1}$
  - $75 \text{ ms}^{-1}$
  - $80 \text{ ms}^{-1}$
  - $40 \text{ ms}^{-1}$
8. Seorang anak bersepeda dengan kecepatan sepeda  $18 \text{ ms}^{-1}$ , selang 20 sekon kemudian kecepatannya menjadi  $32 \text{ ms}^{-1}$  arah berlawanan. Besarnya percepatan rata-rata selama selang waktu tersebut . . .
- $2,5 \text{ ms}^{-1}$
  - $-2,5 \text{ ms}^{-1}$
  - $0,7 \text{ ms}^{-1}$
  - $-0,7 \text{ ms}^{-1}$
  - $1,6 \text{ ms}^{-1}$
9. Sebuah kereta api mula-mula bergerak dengan kecepatan tetap 90 km/jam. Tiba-tiba kereta api direm mendadak dengan perlambatan  $8 \text{ ms}^{-1}$ . Setelah berapa sekon kereta itu menempuh jarak 25 meter dari saat kereta tersebut direm . . .
- $t = 1\text{s}$  dan  $t = 5,25\text{s}$
  - $t = 4\text{s}$  dan  $t = 5,25\text{s}$
  - $t = 2\text{s}$  dan  $t = -5\text{s}$
  - $t = -1,2\text{s}$  dan  $t = 5\text{s}$
  - $t = 1,2\text{s}$  dan  $t = 5\text{s}$
10. Komedi putar bergerak melingkar dengan 2 putaran tiap detik jari-jari lingkaran 8 m. Percepatan setripetal dari partikel dalam ( $\pi$ ) adalah . . .
- $32\pi^2\text{ms}^{-2}$
  - $128\pi^2 \text{ms}^{-2}$
  - $64\pi^2\text{ms}^{-2}$
  - $138\pi^2 \text{ms}^{-2}$
  - $96\pi^2 \text{ms}^{-2}$
11. Besarnya percepatan akibat rotasi bumi yang dialami orang yang tinggal pada lintang  $60^\circ$  dengan anggapan jari-jari bumi 6.400 km adalah. . .
- $1,26 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$
  - $1,48 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$
  - $1,56 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$
  - $1,69 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$
  - $2,4 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$
12. Jika jari-jari dan kecepatan benda dilipatduakan, apa yang terjadi dengan gaya sentripetalnya . . .
- $F_2 = F_1^2$
  - $F_2 = 2F_1^2$
  - $F_2 = 2F_1$
  - $F_2 = F_1$
  - $F_2 = 4F_1^2$

13. Gaya yang dibutuhkan suatu mobil yang massa 3000 kg untuk mencapai kecepatan  $20 \text{ ms}^{-1}$  dalam waktu 10 detik. Jika mobil mula-mula dalam keadaan diam adalah. . . .
- 3000 N
  - 6000 N
  - 8500 N
  - 7000 N
  - 6500 N
14. Orang yang bermassa 60 kg ketika ia duduk dalam mobil, mobil bergerak mendatar dengan percepatan  $5 \text{ ms}^{-2}$ . Anggap  $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Jadi berat orang tersebut adalah . . . .
- 200 N
  - 250 N
  - 300 N
  - 500 N
  - 558 N
15. Sebuah benda bermassa 4 kg berada dalam keadaan diam. Sebuah gaya mendatar sebesar 20 N bekerja selama 8 s. Jarak benda bergerak selama gaya tersebut bekerja adalah . . . .
- 100 m
  - 80 m
  - 60 m
  - 150 m
  - 50 m

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

- Sebuah mobil menempuh perjalanan 20 km ke arah utara, dan kemudian melanjutkan perjalanan ke arah  $60^\circ$  ke selatan dari timur sejauh 40 km. Berapa jauh mobil tersebut dari tempat awalnya?
- Tunjukkan  $v = v_0 + at$  bahwa dimensional persamaan tersebut benar, di mana  $v$  dan  $v_0$  adalah kecepatan,  $a$  adalah percepatan dan  $t$  adalah waktu!
- Dua buah mobil A dan B mula-mula berjarak 1 km satu sama lain. Mobil A dan B masing-masing bergerak dengan kecepatan 144 km/jam dan 108 km/jam. Kapan dan di mana kedua mobil tersebut bertemu jika keduanya bergerak saling berhadapan dan berangkat pada waktu yang sama?



4. Sebuah mesin memiliki 2 roda yang saling bersinggungan. Bila roda A berputar maka roda B ikut berputar juga. Jika jari-jari roda A = 20 cm dan roda B = 30 cm dan frekuensi roda A = 50 Hz. Hitunglah kecepatan sudut roda A dan roda B!
5. Sebuah balok bermassa 6 kg terletak pada bidang datar yang licin. Benda dipengaruhi gaya mendatar ke kanan sebesar  $F_1 = 24\text{N}$  dan gaya ke kiri  $F_2 = 18\text{N}$ . Setelah bergerak 6 s gaya  $F_1$  dihilangkan. Hitung kapan dan di mana benda berbalik arah!

# Bab VI



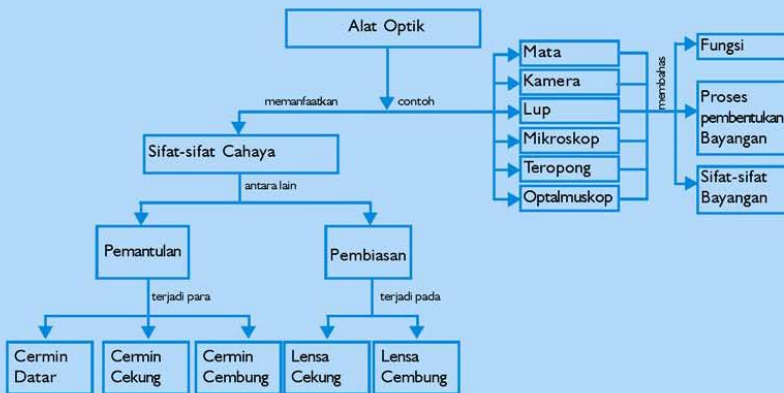
## Alat Optik

Sumber gambar: Jendela Iptek Jilid 13

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menganalisis dan mengamati alat-alat optik dan menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Mata
2. Alat optik



  
**Sumber gambar:** *Jendela Iptek*  
*Jilid 13*  
**Gambar:** *Lup*

Kalian pasti sudah mengenal alat-alat sebagai berikut. Kaca pembesar (lup). Mikroskop, teropong bintang, teropong panggung, kamera dan lain-lainnya, benda-benda tersebut dinamakan alat optik. Bahkan mata kita juga merupakan alat optik yang diciptakan oleh Tuhan Yang Maha Tinggi Ilmunya. Sebelum melanjutkan pembahasan kita pada alat-alat optik, marilah kita mengulas sejenak pelajaran fisika di SMP tentang pemantulan pada cermin dan pembiasan pada lensa.

## A. Pendahuluan

### 1. Pemantulan

Disini kita bahas dua jenis pemantulan: yaitu pemantulan pada cermin datar dan pemantulan pada cermin lengkung. Yang dibedakan menjadi cermin cekung dan cermin cembung.

#### a. Pemantulan pada Cermin Datar

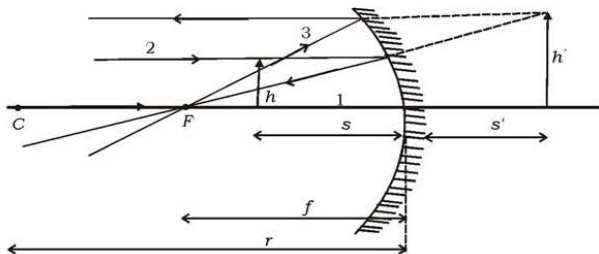
Cermin datar adalah bidang datar yang licin (mengkilap) yang dapat memantulkan hampir seluruh sinar yang datang kepadanya. Dalam hal ini berlaku hukum-hukum pemantulan sebagai berikut.

- 1) Sinar datang (PQ), garis normal (N) dan sinar pantul (QR) terletak pada satu bidang datar.
- 2) Sudut datang ( $i$ ) sama dengan sudut pantul ( $r$ ).

$$i = r$$

#### b. Pemantulan pada Cermin Cekung

Cermin cekung adalah bagian bola yang sebelah dalamnya mengkilat sehingga dapat memantulkan hampir seluruh sinar yang datang kepadanya. Dalam hal ini berlaku sifat pemantulan sebagai berikut.

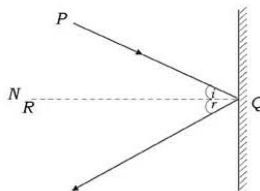


Gambar 6.3 Pemantulan pada cermin cekung



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

Gambar 6.1 Seorang anak yang bercermin dan melihat di dirinya di dalam cermin



Gambar 6.2 Pemantulan pada cermin datar

- 1) Sinar datang melalui sumbu utama ( $C$ ) dipantulkan ke  $C$  lagi.
- 2) Sinar datang sejajar sumbu utama dipantulkan menuju ke titik api cermin ( $F$ ).
- 3) Sinar datang melalui titik api ( $F$ ) dipantulkan sejajar sumbu utama.

Keterangan gambar

$C$  = pusat kelengkungan

$O$  = pusat optik

$F$  = titik api = fokus

$CO$  = jari-jari kelengkungan ( $r$ )

$FO$  =  $\frac{1}{2}CO$  = jarak titik api ( $f$ )

$s$  = jarak benda sampai pusat optik

$s'$  = jarak bayangan sampai pusat optik

$h'$  = panjang bayangan

$h$  = panjang benda

Dalam hal ini berlaku rumus: 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Perbesaran : 
$$M = \frac{\text{panjang benda}}{\text{panjang bayangan}} = \frac{\text{jarak benda}}{\text{jarak bayangan}}$$

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

## Aksi Fisika

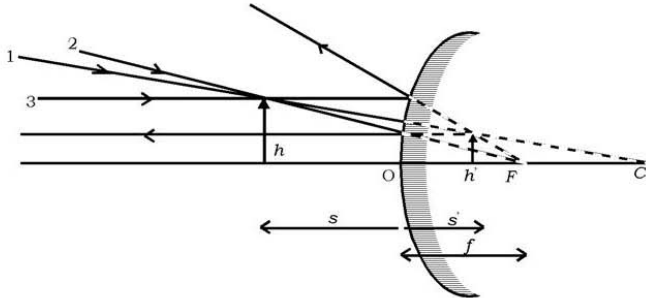
**“Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!”**

Pernahkah saat kalian bercermin memperhatikan pada kaca cermin, bayangan pada cermin membalik kiri menjadi kanan tetapi tidak membalik atas menjadi bawah. Jelaskan mengapa hal itu terjadi!

### c. **Pemantulan pada Cermin Cembung**

Cermin cembung adalah bagian dari bola yang sebelah luarnya licin (mengkilap) yang dapat memantulkan hampir seluruh cahaya yang datang kepadanya. Pada cermin cembung berlaku sifat-sifat pemantulan sebagai berikut.

- 1) Sinar yang menuju ke pusat kelengkungan ( $C$ ) dipantulkan seakan-akan dari  $C$ .
- 2) Sinar yang menuju ke fokus ( $F$ ) dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar sejajar sumbu utama dipantulkan seolah-olah datang dari fokus ( $F$ ).



**Gambar 6.4** Pemantulan pada cermin cembung

Dalam hal ini juga berlaku rumus:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$  (Jarak fokus  $f$  diberi tanda negatif).

### Contoh Soal 6.1

1. Sebuah cermin cekung dengan jari-jari kelengkungan 40 cm; sebuah benda panjang 1 cm diletakkan pada jarak 5 cm di depan cermin tersebut.
  - a. Di mana letak bayangannya dan berapa kali perbesarannya?
  - b. Lukislah 3 berkas sinar dari benda sehingga terbentuk bayangan!

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{a. } f &= \frac{1}{2} r \\ &= \frac{1}{2} \times 40 = 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

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

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{5} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1-4}{20} = \frac{-3}{20}$$

$$\begin{aligned} s' &= -\frac{20}{3} \\ &= -6,67 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{perbesaran} = \frac{6,67}{20} = \frac{1}{3} \times$$

diperoleh  $s' = -6,67$  letak bayangan  $6,67$  cm di belakang cermin maya, diperkecil.

(perbesaran adalah perbandingan panjang bayangan dengan panjang benda, atau perbandingan jarak bayangan dengan jarak benda)

- b. Coba dibuat sendiri (tanya guru)!
2. Sebuah benda panjang  $2$  cm diletakkan pada jarak  $40$  cm di depan sebuah cermin cembung yang jari-jari kelengkungannya  $60$  cm
- a. Di mana letak bayangannya dan berapa panjangnya?
  - b. Lukis 3 berkas cahaya dari benda sehingga terbentuk bayangan!

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{a. } f &= -\frac{1}{2} \times 60 \\ &= -30 \text{ cm} \\ s &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{30} = \frac{1}{40} + \frac{1}{s}, \text{ diperoleh } s' = -17 \text{ cm}$$

Letak bayangan  $17$  cm di belakang cermin, maya, diperkecil.

$$\text{Perbesaran: } \frac{s'}{s} = \frac{17}{40} = 0,42$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bayangan} &= 2 \times \frac{17}{40} \\ &= \frac{34}{40} \text{ cm} \end{aligned}$$

- b. Kerjakan pada buku tugas kalian!

### Latihan 6.1

1. Pada jarak  $10$  cm di depan sebuah cermin cekung yang jari-jari kelengkungannya  $60$  cm diletakkan sebuah benda tegak lurus sumbu utama yang panjangnya  $2$  cm.
  - a. Di mana letak bayangan terhadap cermin?
  - b. Hitung panjang bayangan!
  - c. Sebutkan sifat-sifat bayangannya!
  - d. Lukis 3 berkas cahaya dari benda sampai dengan bayangannya!

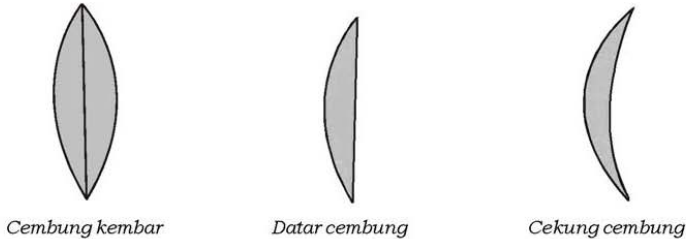
2. Pada jarak 50 cm dari cermin cembung yang jarielengkungnya 100 cm diletakkan sebuah benda tegak lurus sumbu utama yang panjangnya 4cm.
  - a. Di mana letak bayangannya?
  - b. Berapa cm panjang bayangannya?
  - c. Sebutkan sifat-sifat bayangan tersebut!
  - d. Lukis jalannya sinar dari benda ke cermin sampai terbentuk bayangan!

## 2. Pembiasan pada Lensa

Lensa adalah benda yang tembus cahaya yang dibatasi oleh dua bidang lengkung. Dibedakan ada dua jenis lensa yaitu lensa cembung atau lensa positif dan lensa cekung atau lensa negatif.

### a. Lensa Cembung

#### 1) Jenis lensa cembung



**Gambar 6.5** Lensa-lensa cembung

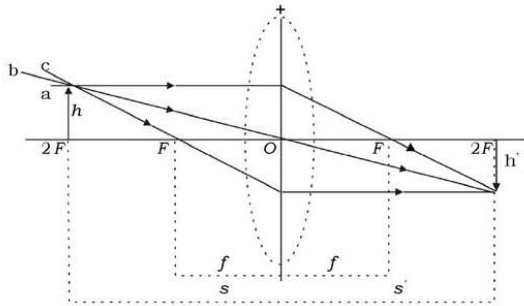
#### 2) Pembentukan bayangan oleh lensa cembung

Untuk lensa yang tipis cukup digambar dengan garis tegak dengan diberi tanda positif (+).

Untuk melukiskan bayangan pada cermin cembung digunakan 3 berkas sinar istimewa seperti gambar 6.6.

- a) Sinar yang datang sejajar sumbu utama dibiaskan menuju titik fokus ( $F$ ) di belakang lensa.
- b) Sinar yang datang melalui pusat optik tidak dibiaskan melainkan diteruskan.
- c) Sinar yang datang melalui titik fokus ( $F$ ) di depan lensa dibiaskan sejajar sumbu utama.





**Gambar 6.6** Pembentukan bayangan lensa cembung

Keterangan:

$F$  = Titik api (fokus): ada 2 titik api yaitu di belakang dan di depan lensa

$O$  = pusat optik

$f$  = jarak fokus (m)

$s$  = jarak benda (m)

$s'$  = jarak bayangan (m)

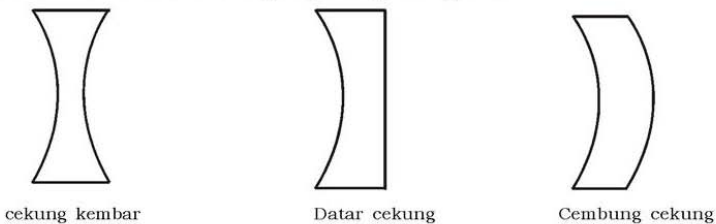
Perbesaran:  $M = \frac{\text{panjang bayangan}}{\text{panjang benda}}$   
 $= \frac{\text{jarak bayangan}}{\text{jarak benda}}$

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

### b. Lensa Cekung

#### 1) Jenis lensa cekung

Ada macam lensa cekung seperti pada gambar



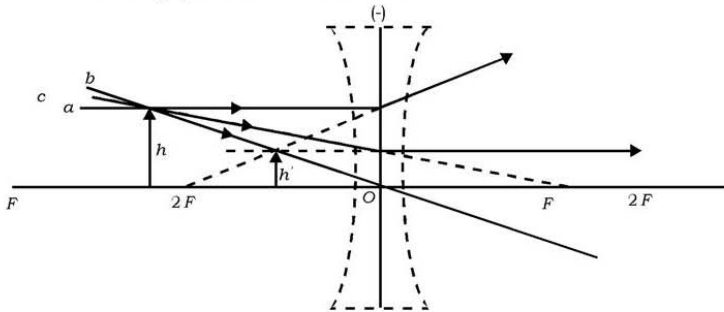
**Gambar 6.7** Lensa-lensa cekung

## 2) Pembentukan bayangan pada lensa cekung

Untuk lensa cekung yang tipis cukup digambar garis tegak diberi tanda negatif (-).

Untuk melukiskan pembentukan bayangan digunakan tiga sinar istimewa sebagai berikut.

- Sinar yang datang sejajar sumbu utama dibiaskan seakan-akan sinar datang dari titik fokus ( $F$ ) di depan lensa.
- Sinar yang datang melalui pusat optik tidak dibiaskan melainkan diteruskan.
- Sinar yang datang menuju titik fokus ( $F$ ) di belakang lensa dibiaskan sejajar sumbu utama.



**Gambar 6.8** Pembentukan bayangan lensa cekung

Gambar 6.8 Pembentukan bayangan lensa cekung pada lensa cekung jarak fokus diberi tanda (-) negatif. Juga berlaku rumus:

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

dan

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

### c. Kuat Lensa

Kuat lensa adalah  $\frac{1}{f}$  di mana  $f$  adalah jarak fokus yang dinyatakan dalam satuan meter. Diberi simbol  $P$  satuannya dioptri ( $D$ ).

$$P = \frac{1}{f}$$

**“Kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh”**

## Dimensi Fisika



Sumber: Ensiklopedi Pelajar

Jika kalian memperhatikan sendok makan, Mengapa bayangan yang terjadi pada muka dan belakang berbeda? Termasuk jenis cermin apa yang diperlihatkan pada sendok? Dapatkah kalian memberikan contoh peristiwa tersebut selain pada sendok?

### Contoh Soal 6.2

Di depan sebuah lensa cembung yang kuatnya 0,5D diletakkan sebuah benda yang panjangnya 2 cm pada jarak 25 cm.

- Berapa jarak fokus lensa?
- Berapa jarak bayangan?
- Berapa cm panjang bayangannya?
- Sebutkan sifat-sifat bayangannya!
- Lukislah berkas sinar dari benda ke lensa sehingga terbentuk bayangan!

#### Penyelesaian:

Diketahui:  $P = 0,5 \text{ D}$

$h = 2 \text{ cm}$

$s = 25 \text{ cm}$

- Ditanya: a)  $f = \dots?$                       d) sifat bayangan?  
          b)  $s' = \dots?$                      e) lukis?  
          c)  $h' = \dots?$

Jawab:

a.  $f = \frac{1}{P}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

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

$$\frac{1}{200} = \frac{1}{25} + \frac{1}{s'} \text{ diperoleh } s' = \frac{200}{7} \text{ cm}$$

$$c. \text{ Perbesaran} = \frac{\text{panjang bayangan}}{\text{panjang benda}}$$

$$= \frac{\text{jarak bayangan}}{\text{jarak benda}}$$

$$\frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s} \quad h' = -\frac{s'}{s} h = -\frac{200}{7} \times 2 \text{ cm} = -\frac{400}{7} \text{ cm} = -57,1 \text{ cm}$$

- d. Sifat bayangan: maya, diperbesar, tegak  
e. Lukis pada buku tugas!

## Latihan 6.2

Sebuah lensa dengan kuat +5 dioptri. Di depan lensa diletakkan sebuah benda hingga terbentuk bayangan nyata diperbesar menjadi 4 kali bendanya.

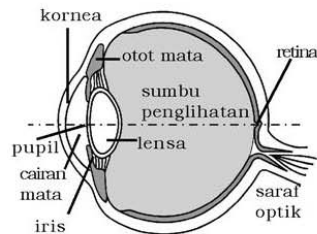
- Berapa cm jarak fokus lensa?
- Apa jenis lensa?
- Di mana letak benda dan letak bayangannya?

## B. Mata

### 1. Bagian Mata

Di bawah ini digambarkan bagian-bagian mata yang ada kaitannya dengan fisika.

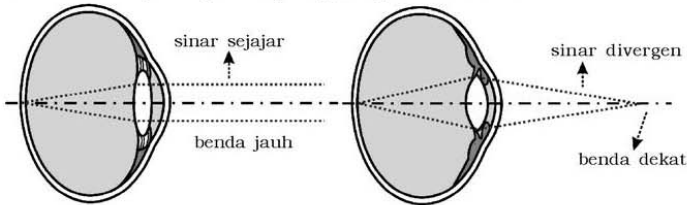
- Lensa mata** merupakan bagian yang berfungsi membiaskan sinar agar terbentuk bayangan yang tajam pada retina, dari benda yang dilihat.
- Kornea mata** merupakan bagian mata yang cukup keras, dipakai untuk melindungi bagian dalamnya.
- Pupil** berguna untuk dapat mengatur intensitas sinar yang masuk ke lensa mata.



Gambar 6.9 Susunan mata

- d. **Retina** merupakan bagian yang berfungsi sebagai layar untuk menangkap bayangan yang dihasilkan oleh lensa. Bayangan yang dihasilkan: nyata, diperkecil, dan terbalik. Pada retina ini terdapat saraf yang sangat peka terhadap sinar cahaya. Saraf ini meneruskan rangsangan cahaya ke otak, sehingga kita dapat melihat benda.

## 2. Proses Terjadinya Bayangan pada Retina



**Gambar 6.10** Perubahan lensa mata untuk berakomodasi

Cahaya yang jatuh melalui lensa mata biasanya sehingga terbentuk bayangan yang sifatnya nyata, terbalik, dan diperkecil pada retina. Agar bayangan mempunyai sifat demikian maka benda yang dilihat harus berada di ruang tiga dari lensa mata. Retina adalah bagian dari mata yang mempunyai sifat sangat peka terhadap cahaya, sehingga bayangan nyata yang jatuh pada retina langsung dapat ditangkap retina, kemudian disampaikan kepada otak sebagai pusat kesadaran melalui saraf sensorik.

## 3. Mata Berakomodasi

Agar mata dapat melihat dengan jelas benda yang diamati, maka bayangan benda harus jatuh tepat pada retina. Karena bola mata mempunyai ukuran yang tetap maka harus diatur keseimbangan (kuat) lensa mata. Kemampuan untuk mengatur kuat lensa mata disebut daya akomodasi. Walaupun kuat lensa mata dapat diatur, tetapi jarak benda yang masih dapat diamati oleh mata dengan jelas disebut titik jauh (*punctum remotum*) mata. Untuk mata normal titik terjauhnya di tak terhingga. Titik terdekat sebuah benda yang masih dapat diamati oleh mata dengan jelas disebut titik dekat (*punctum proximum*) mata. Untuk mata normal titik terdekatnya antara 25 cm sampai 30 cm. Mata dikatakan tidak berakomodasi, jika melihat benda-benda di titik terjauhnya, dan dikatakan berakomodasi sekuat-kuatnya (maksimum) jika melihat benda-benda di titik terdekatnya.

#### 4. Jenis Mata

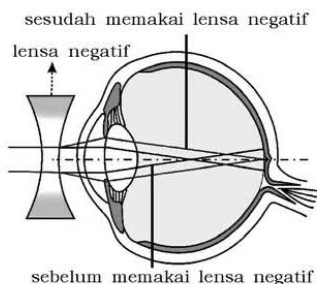
Berdasarkan lensanya, mata dibedakan dalam empat jenis, yaitu mata normal, miopi, hipermitropi, dan presbiopi.

##### a. *Emetrop*

Emetrop atau mata normal adalah mata yang titik terjauhnya di tak terhingga dan titik dekatnya antara 25 cm - 30 cm.

##### b. *Miopi*

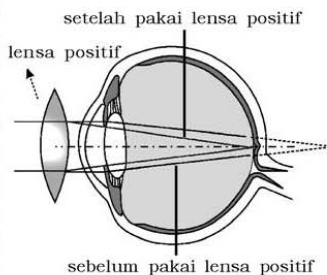
Miopi atau mata melihat dekat atau mata rabun jauh, mata tidak dapat melihat benda-benda ditempat yang jauh dengan jelas. Disebabkan oleh lensa mata yang terlalu cembung, sehingga bayangan dari benda yang jauh terbentuk di depan retina. Cacat mata ini dapat ditolong dengan kacamata berlensa negatif.



**Gambar 6.11** Mata miopi dengan lensa negatif

##### c. *Hipermitropi*

Hipermitropi atau mata melihat jauh atau rabun dekat, mata tidak dapat melihat benda-benda di tempat yang dekat dengan jelas. Disebabkan lensa mata terlalu kecil, sehingga bayangan dari benda yang dekat terbentuk di belakang retina. Cacat mata ini dapat ditolong dengan kacamata berlensa positif.



**Gambar 6.12** Mata hipermetropi

##### d. *Presbiopi*

Presbiopi atau mata tua, tidak jelas melihat benda yang terlalu jauh maupun terlalu dekat. Hal ini disebabkan daya akomodasi mata sudah berkurang karena lanjut usia. Dapat ditolong dengan kacamata berlensa rangkap. Bagian atas berlensa negatif dan bagian bawah berlensa positif.

### Contoh Soal 6.3

1. Berapa kuat lensa kacamata yang dipakai oleh seorang miopi yang titik jauhnya 2,5 m?

**Penyelesaian:**

Maksud menggunakan kacamata di sini supaya dapat melihat benda-benda yang jauh tak terhingga. Maka dari benda-benda di jauh tak terhingga, harus terbentuk bayangan maya pada jarak 2,5 m.

Diketahui:  $s = \infty$   
 $s' = -2,5 \text{ m}$

Ditanya:  $P = \dots ?$

Jawab:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$   
 $= \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-2,5}$

Kuat lensa kacamata:

$$P = \frac{1}{f} = -0,4 \text{ D}$$

2. Seorang hipermetropi mempunyai titik dekat 100 cm, hendak membaca pada jarak 25 cm. Berapa kuat lensa kacamata yang harus dipakai?

**Penyelesaian:**

Setelah menggunakan kacamata benda yang terletak pada jarak 25 cm seakan-akan tampak pada jarak 100 cm.

Diketahui:  $s = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$   
 $s' = -100 \text{ cm} = -1 \text{ m}$

Ditanya:  $P = \dots ?$

Jawab:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$   
 $= \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-1} = 3$

Kuat lensa kacamata:

$$P = \frac{1}{f} = 3 \text{ Dioptri}$$

3. Seorang yang sudah tua titik dekatnya 50 cm dan titik terjauhnya 5 m. Kacamata yang bagaimana yang digunakan orang agar matanya normal kembali?

**Penyelesaian:**

Yang dimaksud normal kembali adalah dapat melihat jauh tak terhingga dan dapat membaca pada jarak 25 cm.

Diketahui:  $s = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$

$$s' = -50 \text{ cm} = -0,5 \text{ m}$$

Ditanya:  $P_b = \dots ?$

Jawab:

Lensa bawah:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ &= \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-0,5} = 4 - 2 = 2 \end{aligned}$$

Lensa atas:

$$s = \infty$$

$$s' = -5$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ &= \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-5} = -0,2 \end{aligned}$$

Kuat lensa bawah:

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{1}{f} \\ &= 2 \text{ D} \end{aligned}$$

Kuat lensa atas:

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{f} \\ &= -0,2 \text{ D} \end{aligned}$$

### Latihan 6.3

1. Seseorang dapat mengamati suatu benda dengan jelas paling jauh hanya pada jarak 10 meter.
  - a. Terdapat kelainan apa pada mata ini?
  - b. Agar dapat melihat bintang di langit dengan jelas, harus memakai kacamata dengan lensa berapa dioptri?



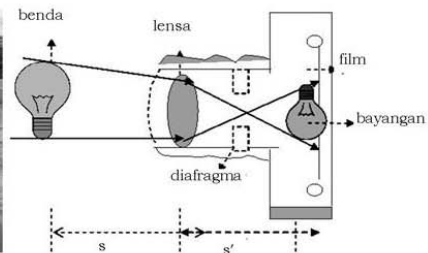
2. Tanpa kacamata seseorang dapat membaca dengan jelas pada jarak 60 cm. Agar dapat membaca dengan jelas pada jarak 30 cm harus menggunakan kacamata berlensa,
  - a. Jenis cacat mata apa pada orang?
  - b. Hitung kuat lensa kacamata nya!

## C. Kamera

Banyak peralatan yang disebut peralatan optik, didasarkan pada peristiwa pembiasan dan pemantulan cahaya. Salah satu alat optik yang paling banyak dikenal masyarakat adalah kamera. Pada dasarnya alat ini adalah sebuah lensa positif yang dapat diatur antara jarak lensa ke suatu benda, untuk membentuk bayangan nyata tepat di atas selembar film fotografis yang peka terhadap cahaya.



**Gambar 6.13** Seorang fotografer membidik kamera pada suatu objek



**Gambar 6.14** Pembentukan bayangan pada kamera

Dalam kamera terdapat lensa cembung yang berfungsi sebagai pembentuk bayangan. Jika sebuah benda diletakkan di ruang tiga sebuah lensa cembung akan terbentuk bayangan nyata, terbalik, dan diperkecil. Antara kamera dan mata manusia terdapat persamaannya, yaitu benda yang diambil oleh kamera dan benda yang dilihat mata manusia berada di ruang tiga dari lensa kamera atau lensa mata. Sehingga terbentuk bayangan yang sifatnya nyata, terbalik, dan diperkecil.

Pada kamera bayangan ini diusahakan jatuh tepat di plat film yang mempunyai sifat sangat peka terhadap cahaya. Jika plat film yang peka cahaya ini dikenai cahaya maka plat film mengalami perubahan kimia sesuai dengan cahaya dari benda di depan

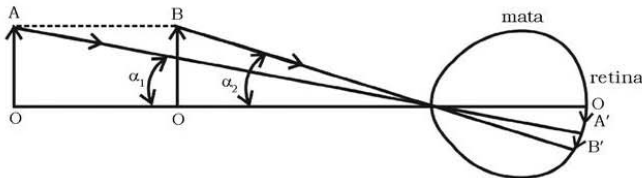
kamera. Plat ini masih peka cahaya, agar plat film ini menjadi tidak peka terhadap cahaya dalam studio perlu dicuci atau dimasukkan ke dalam larutan kimia tertentu. Setelah plat film dicuci atau dimasukkan ke dalam larutan kimia tadi, plat film menjadi tidak pekat terhadap cahaya dan terlihat gambar pada plat film yang disebut gambar negatif (negatif film). Untuk memperoleh gambar yang sesuai dengan gambar semula yang diambil di depan kamera, film negatif ini kemudian dicetak pada kertas film (biasanya kertas film warnanya putih). Gambar pada kertas film merupakan gambar dari benda yang diambil di depan kamera tersebut dan disebut gambar positif. Gambar positif sangat tergantung pada proses pembentukan bayangan pada plat film ini, jika bayangan terjadi pada plat film ini kabur atau kurang jelas menyebabkan hasil cetaknya nanti juga kabur atau tidak jelas.

## D. Lup

Kita sebagai manusia diberi anugerah oleh Tuhan berupa mata yang dapat untuk melihat. Akan tetapi kita menyadari bahwa daya penglihatan kita terbatas, yaitu tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda kecil. Kita juga diberi akal oleh Tuhan maka dengan akal tersebut kita buat alat bantu, yaitu lup. Lup adalah sebuah lensa positif yang digunakan untuk mengamati benda-benda yang kecil.

### 1. Sudut Lihat

Kalian tentu sepakat kalau dikatakan benda-benda yang jauh letaknya tampak lebih kecil bila dibandingkan dengan benda yang letaknya dekat walaupun benda-benda itu sama besarnya. Pada gambar di bawah ini dilukiskan dua benda *A* dan *B* yang sama besarnya.



Gambar 6.15 Sudut penglihatan mata

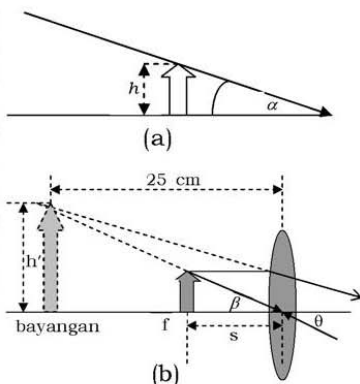
Benda *A* lebih dekat ke mata *M* dibanding dengan benda *B*. Benda *A* akan tampak lebih besar daripada benda *B*. Ini karena sudut lihat benda *A* ( $\alpha_1$ ) lebih besar daripada sudut lihat benda *B* ( $\alpha_2$ ). Jadi, semakin dekat benda semakin besar sudut lihatnya, dan benda tampak semakin besar tetapi bila jarak benda ke mata lebih kecil daripada jarak titik dekat mata walaupun benda tampak besar akan terlihat tidak jelas. Untuk memperbesar sudut lihat tetapi benda tetap tampak jelas digunakan lensa cembung sebagai lup. Dalam menggunakan lup dikenal dua cara pengamatan yaitu pengamatan dengan mata berakomodasi dan pengamatan dengan mata tidak berakomodasi.

**a. Pengamatan dengan Berakomodasi**

Pada pengamatan menggunakan lup dengan mata berakomodasi sekuat-kuatnya mata melihat bayangan maya pada jarak  $S_n$  ( $S_n$  = jarak titik dekat mata). Maka benda yang diamati harus diletakkan antara  $F - O$ .

Pada gambar 6.16a di samping menunjukkan sudut lihat jika tidak menggunakan lup. Sedangkan 6.16b adalah sudut lihat menggunakan lup. Perbandingan sudut  $\beta$  dengan  $\alpha$  disebut perbesaran angular ( $\gamma$ ). Untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  yang kecil, perbandingan antara  $\beta$  dengan  $\alpha$  merupakan perbandingan tangen-tangen sudutnya. Sehingga akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\beta}{\alpha} \\ &= \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha} \\ &= \frac{h/s}{h/S_n} \\ &= \frac{S_n}{s} \end{aligned}$$



**Gambar 6.16** Sudut penglihatan mata tanpa lup (a), Benda yang terlihat oleh mata dengan bantuan lup dan nampak bayangan yang tegak, maya, dan diperbesar (b)

..... 1

Telah kita ketahui bahwa:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \dots\dots\dots 2$$

Untuk lup berlaku:

$$s' = -S_n \dots\dots\dots 3$$

Dari persamaan 1, 2, dan 3 diperoleh persamaan untuk pengamatan berakomodasi:

$$\gamma = \frac{S_n + f}{f} = \frac{S_n}{f} + 1$$

Perumusan di atas dikatakan mata berakomodasi maksimum yaitu bayangan yang terbentuk oleh lensa lup terletak pada jarak titik dekat mata. Apabila bayangan yang terbentuk oleh lensa lup terletak pada jarak  $x$  dari lup dikatakan mata berakomodasi dari jarak  $x$ , perbesaran sudut.

$$\gamma = S_n \left( \frac{1}{f} + \frac{1}{x} \right)$$

**b. Pengamatan dengan Tidak Berakomodasi**

Pada mata normal, mata tidak berakomodasi bila melihat benda di jauh tak terhingga. Atau dengan kata lain berkas sinar yang datang pada mata arahnya sejajar. Pada pengamatan dengan menggunakan lup tanpa berakomodasi untuk mendapat sinar yang sejajar, benda yang diamati diletakkan pada fokus " $f$ " lup.

Untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  kecil perbesaran angular ( $\gamma$ ) untuk pengamatan tak berakomodasi dirumuskan.

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha} = \frac{\frac{h}{f}}{\frac{h}{S_n}} \\ \gamma &= \frac{S_n}{f} \end{aligned}$$

### Contoh Soal 6.4

Seseorang mengamati sebuah benda titik dekatnya 25 cm dengan menggunakan lup 10 dioptri. Berapakah perbesaran lup itu jika:

- Mata tidak berakomodasi.
- Mata berakomodasi sekuat-kuatnya.
- Mata berakomodasi pada jarak 50 cm.

**Penyelesaian:**

$$\begin{array}{l} \text{Diketahui: } S_n = 25 \text{ cm} \\ P = 10 \text{ D} \end{array} \quad \frac{1}{f} = 10 = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

- Ditanya:
- $\gamma$  tidak berakomodasi?
  - $\gamma$  berakomodasi maksimum?
  - berakomodasi pada  $s = 50$  cm?

Jawab:

- $$\gamma = \frac{S_n}{f} = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ kali}$$

- $$\gamma = \frac{S_n}{f} + 1 = 2,5 + 1 = 3,5 \text{ kali}$$

- $$\begin{aligned} \gamma &= \frac{S_n}{f} + \frac{S_n}{s'} \\ &= 2,5 + \frac{25}{50} \\ &= 3 \text{ kali} \end{aligned}$$

### Latihan 6.4

- Seorang mempunyai titik terdekat penglihatannya pada jarak 25 cm. Dapatkah orang ini menggunakan lup dengan berakomodasi pada jarak 20 cm? Mengapa?

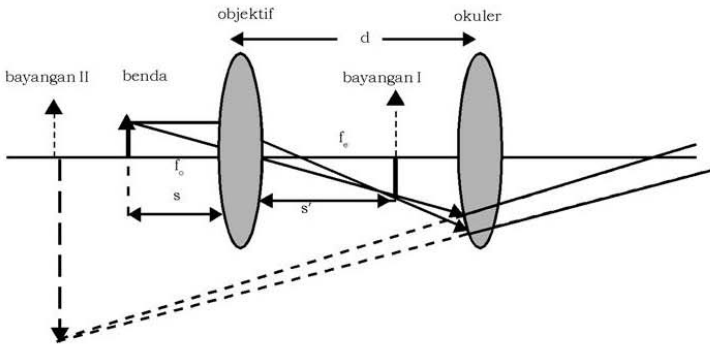
2. Sebuah lup dengan kekuatan 20 D dipakai oleh seseorang yang jarak titik terdekatnya 20 cm. Hitung:
  - a. jarak fokus lensa,
  - b. perbesaran sudut mata tak berakomodasi,
  - c. perbesaran sudut saat berakomodasi sekuat-kuatnya,
  - d. perbesaran sudut saat berakomodasi pada jarak 25 cm,
  - e. batas maksimum dan minimum perbesaran sudut (lihat b dan c)!

## E. Mikroskop

Untuk mendapatkan perbesaran yang lebih besar digunakan mikroskop. Sebuah mikroskop terdiri dari dua buah lensa positif. Lensa yang dekat dengan benda yang diamati disebut *lensa objektif* dan lensa yang dekat dengan mata disebut *lensa okuler*. Okuler pada mikroskop bekerja sebagai lup. Dalam menggunakan mikroskop dikenal dua cara pengamatan yaitu pengamatan dengan mata berakomodasi dan pengamatan dengan mata tak berakomodasi.

### 1. Pengamatan dengan Mata Berakomodasi

Benda yang diamati diletakkan di ruang II lensa objektif, sehingga terbentuk bayangan nyata terbalik diperbesar ( $h'$ ). Bayangan ini dianggap benda oleh lensa okuler yang berfungsi sebagai lup dan terbentuk bayangan akhir  $h''$ .



Gambar 6.17 Sistem kerja mikroskop dengan mata berakomodasi

Perbesaran mikroskop = perbesaran lensa objektif  $\times$  perbesaran lensa okuler

$$M = M_{ob} \times Y_{ok}$$

$$= \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{S_n}{S_{ok}}$$

$$M_{mik} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \left( \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right)$$

Jarak antara lensa objektif dengan lensa okuler disebut *panjang tubus mikroskop*. Panjang tubus mikroskop untuk mata berakomodasi dirumuskan:

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

## 2. Pengamatan dengan Mata Tidak Berakomodasi

Bayangan yang terbentuk oleh lensa ( $h'$ ) dianggap benda oleh lensa okuler dan berada pada fokus lensa okuler ( $f_{ok}$ ).

Perbesaran mikroskop = perbesaran lensa objektif  $\times$  perbesaran lensa okuler

$$M = M_{ob} \times Y_{ok}$$

$$M_{mik} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{S_n}{f_{ok}}$$

Panjang tubus mikroskop untuk mata tak berakomodasi dirumuskan:

$$d = s'_{ob} + f_{ok}$$

Keterangan:

$M_{mik}$  = perbesaran total mikroskop

$S_n$  = jarak titik terdekat mata (m)

$f_{ob}$  = jarak fokus lensa objektif (m)

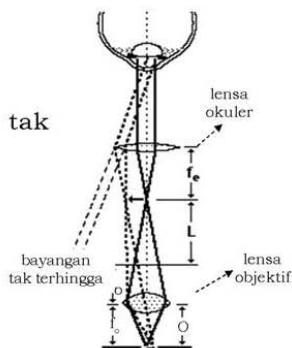
$f_{ok}$  = jarak fokus lensa okuler (m)

$s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif (m)

$s'_{ok}$  = jarak bayangan lensa okuler (m)

$s_{ob}$  = jarak benda lensa objektif (m)

$d$  = panjang tubus (jarak lensa objektif-okuler)



**Gambar 6.18** Susunan mikroskop bayangan di tak terhingga

### Contoh Soal 6.5

Seseorang dengan titik dekat 25 cm, mengamati preparat panjang 1 mm dengan sebuah mikroskop yang mempunyai jarak fokus objektif dan okuler masing-masing 10 mm dan 10 mm. Jika benda diletakkan pada jarak 11 mm dari objektif.

- Berapa panjang bayangan akhir dari benda yang diamati, jika pengamat tidak berakomodasi?
- Berapa jarak lensa objektif-lensa okuler jika mata tidak berakomodasi?
- Berapa jarak lensa objektif-lensa okuler jika mata berakomodasi sekuat-kuatnya?
- Berapa mm okuler digeser dari kedudukan b dan c?

#### Penyelesaian:

Diketahui:  $S_n = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$   
 $h = 1 \text{ mm}$   
 $f_{ob} = 10 \text{ mm}$   
 $f_{ok} = 10 \text{ mm}$   
 $S_{ob} = 11 \text{ mm}$

- Ditanya: a)  $h'' = \dots?$   
b)  $d$  mata tidak berakomodasi?  
c)  $d$  mata berakomodasi?  
d) Pergeseran lensa?

Jawab:

- a. Pada lensa objektif

$$s_{ob} = 11 \text{ mm}$$

$$f_{ob} = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{f_{ob}} = \frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{11} + \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$s'_{ob} = 110 \text{ mm}$$

Panjang bayangan akhir:

$$\begin{aligned} h'' &= h \times M_{\text{mik}} \\ &= h \times \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{S_n}{f_{ok}} \\ &= h \times \frac{110}{11} \times \frac{250}{10} \\ &= 1 \times 10 \times 25 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b.  $d = s'_{ob} + f_{ok}$   
 $= 110 + 10$   
 $= 120 \text{ mm}$



- c. Mata berakomodasi sekuat-  
lensa kuatnya pada okuler: Jarak lensa objektif dan okuler

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

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{s} + \frac{1}{-250}$$

$$s = 9,6 \text{ mm}$$

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

$$= 110 + 9,6$$

$$= 119,6 \text{ mm}$$

- d. Okuler digeser  $120 \text{ mm} - 119,6 \text{ mm} = 0,4 \text{ mm}$

### Latihan 6.5

Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan okuler masing-masing dengan kekuatan 20 dioptri dan 80 dioptri. Sebuah benda diletakkan pada jarak 7,5 cm dari lensa objektif. Hitung perbesaran total dan panjang tubus jika:

- mata tidak berakomodasi,
- mata berakomodasi maksimum pada jarak 25 cm!

## F. Teropong

Teropong adalah alat optik yang dibuat untuk melihat benda-benda yang jauh agar tampak lebih dekat dan jelas. Pada dasarnya teropong mempunyai sebuah lensa objektif dan sebuah lensa okuler.

### 1. Teropong Bintang

Teropong bintang atau teleskop astronomi dipakai untuk mengamati benda-benda langit, misalnya planet-planet, bulan, bintang-bintang, dan lain-lain. Ada dua macam teropong bintang yaitu teropong bias dan teropong pantul.

#### a. Teropong Bias

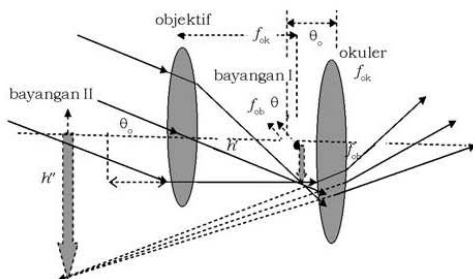
Teropong bias atau teropong lensa, terdiri dari dua lensa cembung masing-masing sebagai lensa objektif dan lensa okuler.



Sumber: [www.comparestoreprices.co.uk](http://www.comparestoreprices.co.uk)

Gambar 6.19 Teropong bintang

Karena benda angkasa yang diamati jauh sekali maka berkas sinar yang datang pada lensa objektif berupa sinar sejajar. Sehingga terbentuk bayangan nyata pada titik fokus lensa objektif. Biasanya pengamatan bintang-bintang berlangsung lama maka supaya mata tidak lelah dilakukannya dengan pengamatan mata tak berakomodasi. Untuk itu bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif dianggap sebagai benda oleh lensa okuler dan diletakkan pada titik apinya. Hal ini berarti titik fokus lensa objektif berimpit dengan titik fokus lensa okuler. Seperti halnya pada mikroskop, lensa okuler juga berfungsi sebagai lup. Perhatikan jalannya sinar pada teropong bias berikut!



**Gambar 6.20** Sistem kerja teropong bintang

Perbesaran sudut teropong:

Panjang teropong:

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha}$$

$$\gamma = \frac{h/f_{ok}}{h/f_{ob}}$$

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

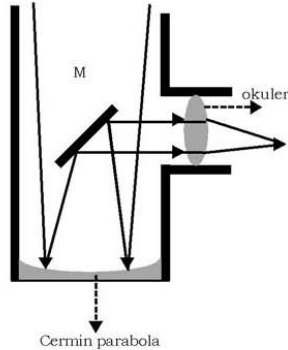
$$d = f_{ob} + f_{ok}$$

**b. Teropong Pantul**

Pada teropong pantul lensa objektif diganti dengan cermin cekung. Berkas sinar dari bintang yang dipantulkan oleh cermin A dipantulkan lagi oleh cermin datar B sehingga terbentuk bayangan  $h'$ . bayangan itu dianggap benda oleh lensa okuler, dan untuk mata tidak berakomodasi ditempatkan pada fokus okuler. Perhatikan gambar 6.17!



**Gambar 6.21** Teropong bintang  
jenis Teropong pantul



**Gambar 6.22** Teropong pantul

Perbesaran sudut teropong pantul dirumuskan:  $\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$

$f_{ob}$  = jarak fokus cermin cekung  
 $f_{ok}$  = jarak fokus lensa okuler

## Aksi Fisika

**“Apresiasi wawasan kalian terhadap kekayaan potensi Indonesia!”**

Jika kalian keluar di malam hari yang terang, kalian akan melihat benda-benda langit yang mengagumkan. Apakah kalian tertarik melihat lebih dekat? Jika kalian ingin melihat lebih dekat, datanglah ke Planetarium yang ada di Indonesia terdapat di 2 kota, sebutkan di mana kota itu! Dan jika kalian sempat, jalan-jalanlah ke sana dan perhatikan jenis teleskop apa yang dipakai dan bagaimana cara kerja teleskop tersebut?

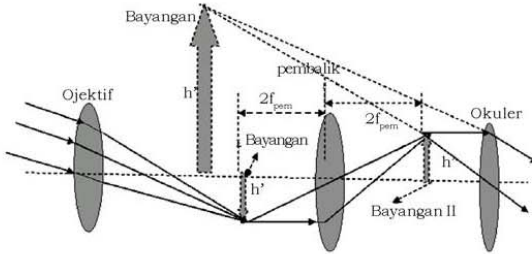
## 2. Teropong Bumi

Apabila melihat benda-benda di bumi menggunakan teropong bintang akan diperoleh bayangan yang terbalik. Hal itu tidak dikehendaki. Untuk mengembalikan atau membalik bayangan, maka kita harus menempatkan sebuah lensa positif di antara objektif dan okuler. Lensa ini disebut lensa pembalik. Susunan lensa tadi akan menghasilkan teropong bumi yang baik.



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

**Gambar 6.23** Teropong bumi



**Gambar 6.24** Sistem kerja teropong bumi

Bayangan yang terbentuk oleh lensa objektif diletakkan pada jarak  $2f_p$  dari lensa pembalik ( $f_p$  = jarak fokus lensa pembalik). Maka akan terbentuk bayangan jarak  $2f_p$  pula di belakang lensa pembalik. Selanjutnya bayangan dari lensa pembalik dianggap benda oleh lensa okuler yang bekerja sebagai lup. Dengan demikian panjang teropong:

$$d = f_{ob} + 4f_p + f_{ok}$$

Perbesaran sudut teropong bumi dirumuskan:

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

### 3. Teropong Panggung

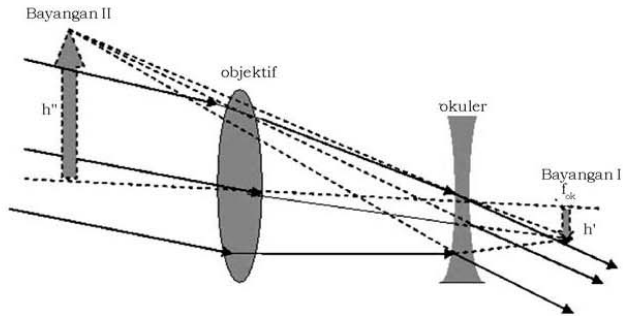
Untuk memperpendek panjang teropong bumi, pembalikan bayangan dapat dilakukan oleh lensa sebagai lensa okuler. Susunan semacam ini dinamakan teropong panggung atau *teropong belanda* atau *teropong Galilei*.

### Info Sains

Para astronom menempatkan teleskop di puncak-puncak bukit yang tinggi, setinggi mungkin dalam atmosfer bumi, agar mereka memperoleh pandangan yang jauh lebih jelas. Ini adalah kubah teleskop Keck yang berada pada ketinggian 4.205 m di atas permukaan laut, dekat puncak Gunung Mauna Kea di Hawaii. Teleskop ini mempunyai cermin pemantul utama dengan lebar 10 m (400 inci) dan menjadikan teleskop terbesar di dunia. Juring-juring cermin terus-menerus dikembalikan dan disetel dengan komputer, 100 kali setiap detik, untuk menyeimbangkan lekukan-lekukan yang timbul pada juring-juring yang disebabkan oleh gaya berat.



Sumber: *Jendela Iptek 13*



**Gambar 6.25** Sistem kerja teropong panggung

Bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif merupakan benda maya bagi lensa okuler. Untuk mata yang tidak berakomodasi panjang teropong dirumuskan:

$$d = f_{ob} - f_{ok}$$

Perbesaran sudut teropong panggung dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

## Saintis

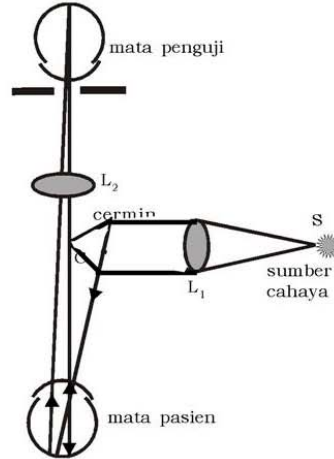


### Galileo Galilei (1564-1642)

Galileo Galilei adalah seorang astronom dan ahli fisika yang berasal dari Italia. Ia menemukan teleskop astronomi. Pada tahun 1608 sebenarnya telah ada yang menemukan teleskop yaitu Hans Lippershey (1570 - 1619). Seorang optika Belanda. Tetapi Lippershey tidak mau menerima paternya sehingga Galileo membuat teleskop sendiri. Pada awalnya teleskop Galileo hanya mampu membesar 7 kali. Kemudian diperbaiki hingga mampu 30 kali, dan akhirnya menjadi 33 kali. Dengan teleskopnya tersebut Galileo membuat penemuan penting, antara lain pengunungan di permukaan bulan, gugus bintang, cincin Saturnus, dan satelit paling terang di planet Yupiter.

## G. Optalmoskop

Alat ini dipakai untuk memeriksa retina mata. Pada gambar melukiskan bagian-bagian penting dari optalmoskop. Berkas cahaya yang datang dari sumber cahaya S yang terletak pada fokus lensa  $L_1$  dibiaskan sejajar ke cermin C. Dari cermin C sinar dipantulkan ke mata. Selanjutnya dokter dapat mengamati retina melalui lubang ditengah-tengah cermin C dan lensa  $L_2$  bertindak sebagai lup.



Gambar 6.26 Sketsa optalmoskop

### Contoh Soal 6.6

- Sebuah teropong yang jarak fokus lensa objektifnya 50 cm diarahkan ke pusat bulan. Jika mata tidak berakomodasi diperoleh perbesaran 10 kali.
  - Berapa cm jarak fokus lensa okularnya?
  - Berapa cm panjang tubus teropong?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $f_{ob} = 50 \text{ cm}$   
 $\gamma = 10\times$

Ditanya: a)  $f_{ok} = \dots ?$   
 b)  $d = \dots ?$

Jawab: a.  $\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$   
 $10 = \frac{50}{f_{ok}}$   
 $f_{ok} = 5 \text{ cm}$

b.  $d = f_{ob} + f_{ok} = 50 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$   
 $= 55 \text{ cm}$

2. Dari teropong soal no. 1 akan dipakai untuk membentuk bayangan bulan yang tajam pada sebuah layar yang berjarak 30 cm dari okuler.
- Berapa cm dan ke mana arah lensa okuler digeser?
  - Berapa kali perbesaran sudut teropong?

**Penyelesaian:**

a. Diketahui:  $s' = 30$  cm  
 $f = 5$  cm

Ditanya: a)  $s_{ok}$  dan arahnya...?  
 b)  $\gamma$ ...?

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

$$\frac{1}{5} = \frac{1}{s} + \frac{1}{30}$$

$$s = 6 \text{ cm}$$

Panjang teropong sekarang harus:

$$d = f_{ob} + s_{ok}$$

$$= 50 + 6$$

$$= 56 \text{ cm}$$

Jadi harus dipanjangkan  $(56-55) = 1$  cm.

- b. Pembesaran teropong

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

$$= \frac{50}{6} = 8,33 \text{ kali}$$

### Latihan 6.6

- Sebuah teropong panggung jarak fokus lensa objektif 60 cm dan lensa okuler 5 cm:
  - Tentukan perbesaran teropong!
  - Tentukan panjang teropong!
  - Lukis berkas sinar dari benda ke teropong sampai dengan ke mata pengamat.
- Sebutkan perbedaan yang penting antara teropong panggung dengan teropong astronomi!
- Apakah fungsi utama sebuah teropong?

## Percobaan

### Tujuan pembelajaran:

Menyelidiki prinsip kerja teropong bintang.

### Konsep percobaan:

1. Bayangan yang terbentuk oleh lensa objektif dianggap sebagai benda oleh lensa okuler.
2. Lensa okuler bekerja sebagai lup.

### Saran penyajian:

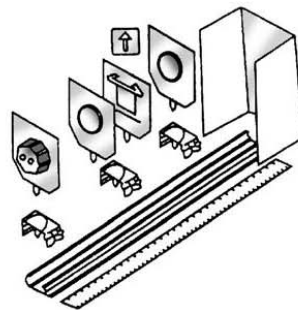
Ketepatan penangkapan bayangan yang terbentuk oleh lensa objektif dan ketepatan pengaturan jarak antara lensa okuler dengan bayangan oleh lensa objektif.

### Alat dan Bahan:

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 1. Catu daya                      | 1 unit     |
| 2. Kabel penghubung merah         | secukupnya |
| 3. Kabel penghubung biru          | secukupnya |
| 4. Tempat lampu bertangkai        | 1 unit     |
| 5. Pemegang lilin                 | 2 unit     |
| 6. Lilin                          | 1 biji     |
| 7. Bola lampu bertangkai          | 1 unit     |
| 8. Rel presisi                    | 1 unit     |
| 9. Layar tembus cahaya            | 1 unit     |
| 10. Lensa $f = 50$ mm bertangkai  | 1 unit     |
| 11. Lensa $f = 100$ mm bertangkai | 1 unit     |
| 12. Lensa $f = 200$ mm bertangkai | 1 unit     |
| 13. Tumpukan berpenjepit          | 3 unit     |

### Persiapan percobaan:

1. Susunlah alat-alat seperti gambar dengan urutan: sumber cahaya, lensa ( $f = 200$  mm) layar tembus cahaya, lensa lain.
2. Gunakan lensa  $f = 200$  mm sebagai objektif.
3. Benda terang, misal lilin diletakkan pada jarak kira-kira 3 - 4 m dari ujung rel presisi.





**Langkah-langkah percobaan:**

1. Atur nyala lilin sehingga nyalanya kira-kira sama tinggi dengan pusat lensa, dan terletak kira-kira pada sumbu utama lensa pada rel presisi.
2. Dengan menggeser-geser layar tembus cahaya, tentukanlah bayangan lilin yang terbentuk setajam-tajamnya pada layar.
3. Pasang lensa  $f = 50$  mm pada tumpukan berpenjepit paling kanan. Gunakanlah lensa sebagai lup untuk melihat bayangan pada layar tembus cahaya, sehingga terlihat bayangan maya yang tajam dan diperbesar.
4. Singkirkan layar tembus cahaya dari tempatnya lalu amati ulang bayangan lilin dari lensa objektif. Geser-geser kedudukan lensa okuler sampai terlihat bayangan paling tajam. Susunan kedua lensa itu sekarang merupakan model teropong bintang.
5. Gantilah lensa okuler  $f = 50$  mm dengan lensa  $f = 100$  mm. Lakukan seperti langkah 1 - 4.
6. Gantilah lensa objektif  $f = 200$  mm dengan lensa  $f = 100$  mm, lensa okulernya diganti dengan lensa  $f = 50$  mm. Lakukan lagi seperti langkah 1 - 4.
7. Gambarlah jalannya sinar dan ukur jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler pada skala tertentu.

**Hasil pengamatan:**

Lukis jalannya sinar untuk mata yang berakomodasi minimum.

**Kesimpulan:**

Beri kesimpulan dari percobaan yang telah kalian lakukan!

## Rangkuman

1. Bagian-bagian mata yang ada kaitannya dengan fisika: lensa mata, kornea mata, iris, pupil, dan retina.
2. Berdasarkan lensanya, mata dibedakan dalam empat jenis yaitu: mata normal (emetrop), miopi, hipermetropi, dan presbiopi.
3. Pada lensa tipis berlaku hubungan

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad \text{dan} \quad M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

4. Kamera, pada dasarnya adalah sebuah lensa positif yang dapat diatur antara jarak lensa ke suatu benda, untuk membentuk bayangan nyata tepat di atas selebar film fotografis yang peka terhadap cahaya.

5. Dalam penggunaan lup dikenal dua cara pengamatan  
a. Pengamatan dengan berakomodasi

$$\gamma = \frac{S_n}{f} + 1$$

b. Pengamatan dengan tidak berakomodasi

$$\gamma = \frac{S_n}{f}$$

6. Sebuah mikroskop terdiri dari dua buah lensa positif. Lensa yang dekat dengan benda yang diamati disebut lensa objektif dan lensa yang dekat dengan mata disebut lensa okuler.

a. Pengamatan dengan mata berakomodasi

$$\text{Perbesarannya: } M_{\text{mik}} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \left( \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right)$$

b. Pengamatan dengan mata tak berakomodasi

$$\text{Perbesarannya: } M_{\text{mik}} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{S_n}{f_{ok}}$$

7. Teropong adalah alat optik yang dibuat untuk melihat benda-benda yang jauh agar tampak lebih dekat dan jelas. Ada 3 macam teropong:

- a. Teropong bintang
- b. Teropong bumi
- c. Teropong panggung

8. Optalmoskop adalah alat yang digunakan untuk memeriksa retina mata.

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

1. Jarak fokus sebuah teropong bintang adalah 4 cm. Dengan teropong tersebut, orang tanpa berakomodasi melihat bintang dengan jelas. Jika panjang tubus teropong 54 cm, maka jarak fokus objektifnya adalah . . . .
  - a. 60 cm
  - b. 50 cm
  - c. 49 cm
  - d. 48 cm
  - e. 62 cm
2. Sebuah teropong bintang dengan jarak fokus lensa okulernya 2 cm dan panjang fokus lensa objektifnya 16,2 m. Untuk mata tidak berakomodasi perbesaran anguler teropong adalah . . . .
  - a.  $805\times$
  - b.  $810\times$
  - c.  $812\times$
  - d.  $830\times$
  - e.  $845\times$
3. Teropong bintang dengan perbesaran anguler 10 kali. Bila jarak titik api objektifnya 50 cm, panjang teropong adalah . . . .
  - a. 5 cm
  - b. 35 cm
  - c. 45 cm
  - d. 50 cm
  - e. 55 cm
4. Sebuah lensa berjarak fokus 4 cm digunakan sebagai lup. Agar mata melihat tanpa berakomodasi maka letak benda tersebut dari lup . . . .
  - a. 2 cm
  - b. 3 cm
  - c. 4 cm
  - d. 6 cm
  - e. 8 cm
5. Sifat dan kedudukan bayangan yang dihasilkan oleh objektif sebuah teropong bintang adalah . . . .
  - a. nyata, terbalik, dan tepat pada fokus okuler
  - b. nyata, tegak, dan tepat pada fokus objektif
  - c. nyata, tegak, dan tepat pada fokus okuler
  - d. maya, terbalik, dan tepat pada fokus okuler
  - e. maya, terbalik, dan tepat di fokus okuler

6. Dalam sebuah mikroskop bayangan yang terbentuk oleh objektif . . . .
- nyata, tegak, diperbesar
  - nyata, terbalik, diperbesar
  - nyata, terbalik, diperkecil
  - maya, tegak, diperbesar
  - maya, tegak, diperkecil
7. Seorang penderita presbiopi dengan titik dekat 75 cm. Agar dapat membaca pada jarak baca normal (25 cm), orang harus menggunakan kacamata berukuran . . . .
- $\frac{2}{3}$  D
  - 1 D
  - $2\frac{2}{3}$  D
  - 3 D
  - $3\frac{1}{2}$  D
8. Objektif sebuah mikroskop berupa lensa cembung dengan jarak fokus  $f$ . Benda yang akan diteliti harus diletakkan di bawah objektif pada jarak . . . .
- lebih kecil dari  $f$
  - sama dengan  $f$
  - terletak antara  $f$  dan  $2f$
  - sama dengan  $2f$
  - lebih besar  $2f$
9. Mata dapat melihat benda dengan jelas apabila terbentuk bayangan . . . .
- sejati, tegak di retina
  - sejati, terbalik di retina
  - maya, tegak di retina
  - maya, terbalik di retina
  - maya, tegak di lensa mata
10. Bila  $S_n$  = jarak baca normal,  $f$  = jarak titik api lup dan  $m$  = perbesaran maka pada pengamatan dengan lup tanpa berakomodasi . . . .
- $m = S_n \times f$
  - $m = \frac{f}{S_n}$
  - $m = \frac{S_n}{f} - 1$
  - $m = \frac{S_n}{f}$
  - $m = \frac{S_n}{f} + 1$

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

1. Sebuah benda diletakkan pada jarak 1,2 cm dari objektif sebuah mikroskop yang jarak fokus objektif dan okulernya masing-masing 1 cm dan 4,8 cm.
  - a. Berapa perbesaran sudutnya, jika mata tidak berakomodasi?
  - b. Berapa jarak lensa objektif dan okulernya, jika mata tidak berakomodasi?
  - c. Berapa jarak lensa objektif dan okulernya, jika mata berakomodasi sekuat-kuatnya?
2. Sebuah teropong dengan jarak fokus objektif dan okuler masing-masing 60 cm dan 3 cm. Seorang dengan titik dekat 30 cm, dengan menggunakan teropong tersebut berakomodasi sekuat-kuatnya. Hitung panjang teropong dan perbesarannya!
3. Sebuah teropong astronomi dengan jarak fokus lensa objektif, pembalik dan okuler berturut-turut 60, 20, dan 10 cm digunakan untuk mengamati sebuah pohon yang jauh dengan tidak berakomodasi. Hitung:
  - a. Panjang teropong!
  - b. Perbesaran teropong!
4. Sebutkan perbedaan yang prinsip antara:
  - a. Teropong panggung, teropong bumi, dan teropong astronomi!
  - b. Mikroskop dan teleskop.
5. Sebuah teropong panggung dengan jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 15 dan 5 cm. Untuk mengamati benda yang jauh tanpa berakomodasi. Hitung:
  - a. Pembesaran teropong!
  - b. Panjang teropong!

## **Aplikasi**

***“Ayo Tumbuhkan semangat kewirausahaan dan etos kerja kalian”***

Buatlah rangkaian mikroskop dengan menggunakan dua lensa positif yang berbeda fokusnya. Kedua lensa ini bisa dirangkai pada kaleng kecil atau pipa pralon untuk meletakkan kedua lensa. Prinsipnya adalah bisa merangkai dua lensa sehingga memperoleh bayangan yang diperbesar.

# Bab VII

## Suhu, Kalor, dan Pemuatan

Sumber gambar: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 10

### Tujuan Pembelajaran

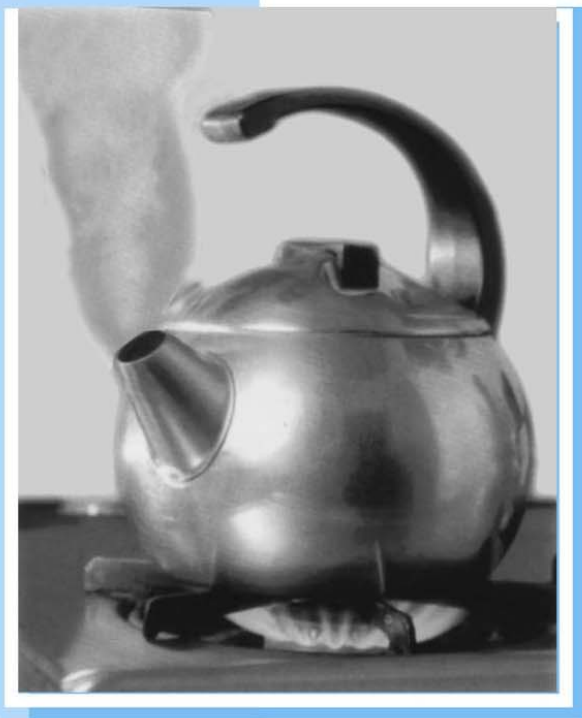
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat dan menganalisis cara perpindahan kalor dan menerapkan asas Black dalam pemecahan masalah.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Suhu
2. Kalor
3. Pemuatan



**Sumber gambar:** *Ensiklopedi Umum  
untuk Pelajar 10*

**Gambar:** *Pemanasan Ceret*

Ketika suatu ceret berisi air dingin diletakkan di atas tungku panas maka suhu air tersebut akan naik. Kita mengatakan bahwa terjadi perpindahan kalor dari pemanas ke air dingin. Kalor mengalir dari tungku panas ke ceret, dari matahari ke bumi, dari perpindahan tubuh manusia ke termometer. Secara spontan kalor mengalir dari satu benda bersuhu lebih tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Untuk membahas hubungan antara kalor dan suhu akan dibahas dalam bab berikut ini.

## A. Kalor dan Pengaruhnya Terhadap Suatu Zat

### 1. Kalor

Mesin-mesin penggerak sepeda motor, mobil, pesawat terbang membutuhkan energi dalam bentuk kalor. Energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar diubah lebih dulu menjadi kalor. Sebelum diubah menjadi energi kinetik untuk menggerakkan mesin-mesin. Makanan yang kita makan, di dalam tubuh diubah menjadi kalor, yang memungkinkan kita dapat bergerak dan tubuh kita menjadi hangat. Air yang dipanaskan, suhunya akan meningkat, bahkan sampai mendidih berubah menjadi uap. Bila benda yang suhunya lebih tinggi disentuh pada benda yang lebih rendah maka suhu kedua benda akan menjadi sama.

Dari beberapa contoh kejadian di atas jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini!

- Apakah sebenarnya kalor?
- Mengapa manusia membutuhkan kalor?
- Apakah pengaruh kalor terhadap benda?
- Apakah beda antara kalor dan suhu?

#### a. Satuan Kalor

Kita sudah mengetahui beberapa bentuk energi, misalnya energi listrik, energi mekanik, energi potensial, energi kinetik, energi kimia, dan lain-lainnya. Kalor juga salah satu bentuk energi yang dapat berpindah karena adanya perbedaan suhu. Karena kalor adalah energi maka juga mempunyai satuan dalam SI satuannya adalah joule (J).

Sebelum orang mengetahui bahwa kalor adalah salah satu bentuk energi, kalor diberi satuan kalori. Untuk diketahui 1 kalori setara dengan 4,18 J atau  $1 \text{ J} = 0,24 \text{ kalori}$ .

#### b. Hubungan Suhu dan Kalor

Untuk memahami hubungan antara suhu dan kalor, mari kita lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 7.1

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu menemukan hubungan antara suhu dengan kalor yang diberikan pada benda.



**Konsep:**

Kalor dapat menaikkan suhu benda.

**Saran penyajian:**

Sejumlah zat jika diberi tambahan kalor suhunya akan naik. Kenaikan suhu ditentukan oleh jumlah kalor yang diberikan jumlah zat dan jenis zat.

**Alat dan bahan:**

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Gelas piala 1 biji   | 5. Gelas ukur 1 biji          |
| 2. Termometer 1 biji    | 6. Pemanas spiritus 1 biji    |
| 3. Air secukupnya       | 7. Kaki tiga 1 biji           |
| 4. Air garam secukupnya | 8. Kasa perata kalor 1 lembar |
|                         | Arloji 1 biji                 |

**Persiapan percobaan:**

Susunlah alat-alat seperti gambar 7.1 dan isi gelas ukur dengan 50 ml air.

**Langkah percobaan I:**

1. Ukur suhu air mula-mula!
2. Nyalakan api spiritus!
3. Ukur suhu air setiap 2 menit!

**Hasil pengamatan:**

- a. Catat hasil pengamatan pada Tabel!
- b. Buatlah grafik hubungan antara suhu air dan waktu!



**Gambar 7.1** Percobaan suhu dan kalor

**Kesimpulan 1:**

Jika jumlah kalor sebanding dengan lamanya waktu pemanasan dapat disimpulkan, bahwa .....

**Langkah kegiatan 2:**

Ulangi kegiatan I dengan jumlah air 2 kali lipat semula 100 ml. Bandingkan lama pemanasan pada kenaikan suhu yang sama pada Kegiatan I dan II!

**Kesimpulan 2:**

.....

**Langkah kegiatan 3:**

Ganti air pada Kegiatan II dengan air garam sebanyak 100 ml!

**Kesimpulan 3:**

.....

Apabila kalian lakukan percobaan dengan teliti kita dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut. Dari kesimpulan 1, makin banyak kalor yang diberikan pada zat, makin besar kenaikan suhunya. Dapat ditulis:

$$Q \sim \Delta T$$

Dari kesimpulan 2, makin banyak jumlah zat (massa) yang dikalorkan, untuk mendapatkan penambahan suhu yang sama makin banyak pula jumlah kalor yang diperlukan. Dapat ditulis:

$$Q \sim m$$

Dari kesimpulan 3, kenaikan suhu suatu benda, oleh penambahan kalor yang sama dan massa yang sama bergantung pada jenis bendanya. Dapat ditulis:  $Q \sim c$

Dari ketiga persamaan di atas, dapat disimpulkan banyak kalor yang diberikan pada suatu benda sebanding dengan kenaikan suhu ( $\Delta T$ ), massa benda ( $m$ ) dan kalor jenis bendanya ( $c$ ). Ditulis dengan persamaan:

$$Q = m c \Delta T$$

dengan

$Q$  = jumlah kalor yang diberikan (J)

$m$  = massa benda (kg)

$\Delta T$  = penambahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$  atau K)

$c$  = kalor jenis ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )

Persamaan di atas, jika kalor ditambahkan ke zat maka  $Q$  dan  $\Delta T$  adalah positif dan temperatur naik. Sebaliknya jika kalor dilepas dari zat,  $Q$  dan  $\Delta T$  negatif dan temperatur turun. Definisi yang diberikan oleh persamaan di atas berlaku untuk  $c$  konstan.

Kalor jenis atau panas jenis ( $c$ ) adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu selesai satu satuan suhu pada zat yang massanya satu satuan massa. Perlu diperhatikan bahwa jika melepas kalor.

**Tabel 7.1 Kalor Jenis Beberapa Zat pada Suhu  $25^{\circ}\text{C}/\text{atm}$**

Nama Zat	Kalor Jenis ( $\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Nama Zat	Kalor Jenis ( $\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
Aluminium	$9,0 \times 10^2$	Es	$2,1 \times 10^3$
Kuningan	$3,8 \times 10^2$	Karet	$1,7 \times 10^3$
Tembaga	$3,9 \times 10^2$	Kayu	$1,7 \times 10^3$

Kaca (biasa)	$6,7 \times 10^2$	Alkohol	$2,4 \times 10^3$
Besi	$4,48 \times 10^2$	Gliserin	$2,5 \times 10^3$
Raksa	$1,4 \times 10^2$	Minyak parafin	$2,1 \times 10^3$
Timbal	$1,3 \times 10^2$	Air	$4,2 \times 10^3$
Perak	$2,34 \times 10^2$	Terpentin	$1,8 \times 10^3$

Sumber: Halliday Resnick

Persamaan  $Q = m c \Delta T$  dapat ditulis  $Q = C \Delta T$ , di mana  $C = m c$ .  $C$  adalah kapasitas kalor, yaitu banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepas oleh sejumlah zat jika suhunya naik atau turun sebesar satu satuan suhu ( $\text{JK}^{-1}$ ).

$$Q = C \Delta T$$

Pada tabel 7.1, perlu disadari bahwa nilai  $c$  bervariasi terhadap temperatur. Namun jika variasi temperaturnya tidak terlalu besar, maka bisa diabaikan sehingga nilai  $c$  tetap, misalnya air, nilai  $c$  bervariasi 1% air perubahan suhu  $^{\circ}\text{C}$  ke  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm.

Suatu yang menarik pada tabel 7.2 adalah bahwa air mempunyai nilai  $c$  yang besar dibanding dengan material yang lain. Besarnya nilai  $c$  dari air ini sangat berpengaruh terhadap temperatur pada benda-benda yang ada di sekitarnya.

## Aksi Fisika

### “Kembangkan kengintahuan kalian”

Berdasarkan tabel 7.1, kalor jenis besi lebih besar daripada kalor jenis kayu. Tetapi mengapa pada malam hari besi terasa lebih dingin dan siang hari terasa panas dibandingkan dengan kayu? Coba buktikan! Beri penjelasan dan argumentasi kalian terhadap peristiwa tersebut!

## Contoh Soal 7.1

- 200 gram air dikalorkan dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $45^{\circ}\text{C}$ . Jika diketahui kalor jenis air  $1 \text{ kal g}^{-1}\text{C}^{-1}$  atau  $4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Tentukan:
  - Banyaknya kalor dalam kalori!
  - Banyaknya kalor dalam joule!

### Penyelesaian:

Diketahui:

$$\begin{array}{ll}
 m = 200 \text{ gr} & C = 1 \text{ kal g}^{-1}\text{C}^{-1} \\
 T_1 = 25^{\circ}\text{C} & C = 4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1} \\
 T_2 = 45^{\circ}\text{C} &
 \end{array}$$

Tanya:  $Q = \dots$  J?  
 $Q = \dots$  kal?

Jawab:

a.  $Q = m c \Delta T$   
 $= 200 \text{ gr} \times 1 \text{ kal}^{-1}\text{C}^{-1} \times 25^\circ\text{C}$   
 $= 5.000 \text{ kal}$

b.  $Q = m c \Delta T$   
 $= 0,2 \times 4200 \times 25$   
 $= 21.000 \text{ J}$

2. Hitung ketinggian air yang diperlukan agar suhu air yang di bawah  $1^\circ$  lebih tinggi daripada yang di atas, bila semua energi potensial berubah menjadi kalor!

**Penyelesaian:**

energi potensial air terjun  $E_p = m g h$  joule  
panas yang dihasilkan  $= m c \Delta t$   
 $Q = m \times 4200 \times 1$

$$\begin{aligned} E_p &= 0 \\ m g h &= 4200 \text{ m} \\ 10 h &= 4200 \\ h &= 420 \text{ m} \end{aligned}$$

Ketinggian air terjun yang diperlukan adalah 420 m agar ada perbedaan suhu  $1^\circ\text{C}$

## Latihan 7.1

- Tuliskan dengan kata-kata kalian sendiri, definisi dari:
  - Kalor jenis!
  - Kapasitas kalor!
- Sebutkan faktor-faktor yang menentukan jumlah kalor yang diserap oleh suatu benda!
- Hitung jumlah energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu dari  $30^\circ\text{C}$  menjadi  $130^\circ\text{C}$  pada 50 gram kuning!
- Sejumlah benda dengan kapasitas kalor  $6.000 \text{ JK}^{-1}$ . Hitung kenaikan suhunya jika diberikan 120 kJ!
- Hitung jumlah energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu dari  $30^\circ\text{C}$  menjadi  $130^\circ\text{C}$  pada 50 gram aluminium!

## 2. Perubahan Fase Zat

Kita ambil sepotong es, kita masukkan ke dalam panci aluminium, lalu kita panaskan. Apakah yang terjadi pada es tersebut?

Pemberian kalor pada suatu zat tidak selalu menyebabkan suhunya naik. Misalnya pada es yang bersuhu tetap  $0^{\circ}\text{C}$  sampai semua es berubah menjadi air. Sama halnya air yang sedang mendidih, suhunya tetap  $100^{\circ}\text{C}$  walaupun diberi kalor terus sampai semua air berubah menjadi uap.

### a. Melebur dan Membeku

Melebur adalah perubahan dari wujud padat menjadi wujud cair, sebaliknya perubahan dari wujud cair ke wujud padat dinamakan membeku. Pada saat melebur zat memerlukan kalor dan saat membeku zat melepaskan kalor. Banyaknya kalor yang diperlukan suatu zat pada saat melebur, di titik leburnya disebut kalor beku, sedangkan banyaknya kalor yang dilepaskan suatu zat padat saat membeku di titik bekunya disebut kalor lebur. Pada tekanan tertentu kalor lebur sama dengan kalor beku dan titik lebur sama dengan titik beku, kalor beku dan kalor lebur juga disebut kalor laten (kalor tersembunyi), yaitu kalor laten beku dan kalor laten lebur. Pada saat percobaan diperoleh suatu kesimpulan bahwa kalor yang diperlukan atau dilepas untuk melebur atau membeku sebanding dengan massanya dan tergantung jenis bendanya.

Ditulis dengan persamaan:

$$Q = m L_{lb}$$

dengan

$Q$  = jumlah kalor yang diperlukan atau dilepaskan pada saat melebur atau membeku (J atau kal)

$m$  = massa benda (kg atau gram)

$L_{lb}$  = kalor lebur atau kalor beku ( $\text{Jkg}^{-1}$  atau  $\text{kalg}^{-1}$ )

### b. Menguap dan Mengembun

Menguap adalah perubahan dari wujud cair menjadi uap. Jika penguapan terjadi di semua bagian zat dinamakan mendidih. Sedangkan mengembun adalah perubahan dari wujud uap menjadi wujud cair. Walaupun ditambah kalor, selama mendidih suhu zat yang mendidih tetap, suhu ini dinamakan titik didih. Kalor yang diperlukan untuk menguapkan satu satuan massa tanpa disertai perubahan suhu dinamakan kalor didih.

Proses sebaliknya adalah pengembunan. Pada pengembunan zat melepaskan kalor. Percobaan menunjukkan bahwa titik didih sama dengan titik embun dan kalor didih sama dengan kalor embun. Kalor yang diperlukan atau dilepas saat mendidih atau mengembun selain tergantung bendanya juga sebanding dengan massanya. Dirumuskan:

$$Q = m L_u$$

dengan

$Q$  = jumlah kalor yang diperlukan atau dilepaskan pada saat menguap atau mengembun (J atau kal)

$m$  = massa benda (kg atau gram)

$L_u$  = kalor uap atau kalor embun ( $\text{Jkg}^{-1}$  atau  $\text{kal.g}^{-1}$ )

Untuk memperoleh hubungan antara kalor yang diberikan pada sejumlah zat dengan suhunya kita lakukan percobaan sebagai berikut!

## Percobaan 7.2

### **Tujuan pembelajaran:**

Siswa mampu menemukan hubungan antara kalor terhadap suhu pada zat yang mengalami perubahan wujud.

### **Konsep:**

Jika terus-menerus dipanaskan zat mengalami perubahan wujud.

### **Saran penyajian:**

Pada saat melebur atau mendidih suhu zat tetap.

### **Alat dan bahan:**

1. Gelas piala 1 biji
2. Termometer 1 biji
3. Stopwatch 1 biji
4. Kaki tiga 1 biji
5. Kasa perata kalor 1 lembar
6. Pemanas spiritus 1 biji
7. Es  $\pm$  100 gram

### **Persiapan percobaan:**

Susunlah alat-alat seperti pada gambar 7.2, masukkan es ke dalam gelas piala!

**Langkah percobaan:**

1. Tentukan suhu es mula-mula!
2. Bersamaan dengan menyalakan pemanas spiritus, tekan tombol jalan stopwatch!
3. Amati perubahan yang terjadi pada es, catat suhu dan waktu pada perubahan wujud!
4. Buatlah tabel pengamatan!
5. Setelah . . .sekon suhu tetap . . .°C, zat terdiri . . . dan . . . .
6. Berapa waktu yang diperlukan untuk melebur es menjadi air?
7. Berapa waktu yang diperlukan air sebelum mencapai suhu 100°C?
8. Buatlah grafik hubungan antara suhu ( $T$ ) dan waktu ( $t$ )!



**Gambar 7.2** Peristiwa perubahan wujud

**Kesimpulan:**

Dengan membuat grafik dapat disimpulkan bahwa:

.....

**Tabel 7.2 Titik Lebur, Titik Didih, Kalor Lebur, dan Kalor Uap Beberapa Zat**

Zat	Titik Lebur (°C)	Kalor Lebur (J/kg)	Titik Didih (°C)	Kalor Uap (J/kg)
Air	0	$3,34 \times 10^5$	100	$2,26 \times 10^6$
Alkohol	-114	$1,04 \times 10^5$	78	$8,53 \times 10^5$
Asam sulfat	8,6	$1,63 \times 10^5$	326	$5,10 \times 10^5$
Bismut	271	$5,22 \times 10^4$	920	$7,94 \times 10^5$
Nitrogen	-210	$2,55 \times 10^4$	-196	$2,01 \times 10^5$
Oksigen	-219	$1,38 \times 10^4$	-183	$2,13 \times 10^5$
Raksa	-39	$1,17 \times 10^4$	358	$2,97 \times 10^5$
Seng	420	$1,00 \times 10^5$	918	$1,99 \times 10^6$
Timbal	327	$2,45 \times 10^4$	1750	$8,70 \times 10^5$

### Contoh Soal 7.2

1. Jika diketahui kalor lebur es  $3,35 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$  atau  $80 \text{ kal g}^{-1}$ , berapakah kalor yang diperlukan untuk mencairkan 50 gram es pada titik leburnya?

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } L_{Lb} &= 3,35 \times 10^5 \text{ Jkg}^{-1} & m &= 50 \text{ gram} \\ L_{Lb} &= 80 \text{ kalg}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya: } Q = \dots ?$$

Jawab:

Cara pertama dengan sistem CGS:

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

$$L_{Lb} = 80 \text{ kal g}^{-1}$$

$$Q = m L_{Lb}$$

$$= 50 \text{ gram} \times 80 \text{ kal g}^{-1} = 4.000 \text{ kal}$$

Cara kedua dengan sistem MKS:

$$m = 50 \text{ gram} = 5 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$L_{Lb} = 3,35 \times 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$$

$$Q = m L_{Lb}$$

$$= 5 \cdot 10^{-2} \times 3,35 \times 10^5 = 1,675 \times 10^4 \text{ J}$$

2. Dalam sebuah bejana yang massanya diabaikan terdapat  $a$  gram air  $42^\circ\text{C}$  dicampur dengan 6 gram es  $-4^\circ\text{C}$ . Setelah diaduk 50% es melebur. Jika titik beku es =  $0^\circ\text{C}$  kalor jenis es =  $0,5 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$ , kalor lebur es =  $80 \text{ kal/kg}$ . Hitung perbandingan akhir antara  $a$  dan  $b$ .

**Penyelesaian:**

Dengan menggunakan asas Black, panas yang dilepas ( $Q_{lepas}$ ) adalah dari air  $42^\circ\text{C}$  menjadi air  $0^\circ\text{C}$ .

$$\begin{aligned} Q_{lepas} &= m_{air} C_{air} \Delta t_{air} \\ &= a \times t \times (42^\circ - 0^\circ) = 42 a \end{aligned}$$

Panas yang diserap ( $Q_{serap}$ ) digunakan untuk menaikkan suhu es dari  $-4^\circ\text{C}$  menjadi air pada  $0^\circ\text{C}$ .

$$\begin{aligned} Q_{serap} &= m_{es} C_{es} \Delta t_{es} + m_{es} L_u \\ &= b \times 0,5(0 - (-4^\circ)) + 50\% b \times 80 \\ &= 2b + 40b = 42b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{lepas} &= Q_{serap} \\ 42a &= 42b \end{aligned}$$

$$\frac{a}{b} = 1, \quad \text{maka perbandingannya } \frac{a}{b} \text{ adalah } 1.$$



## Latihan 7.2

1. Misalkan kita memiliki 1 kg es bersuhu  $5^{\circ}\text{C}$  kita kalorkan hingga menjadi uap semua, bersuhu  $120^{\circ}\text{C}$ . Kemudian dari uap kita dinginkan menjadi es lagi.
  - a. Berapa jumlah kalor yang diberikan atau dilepas pada proses tersebut?
  - b. Bagaimana hubungan antara kalor lebur dengan kalor beku dan kalor didih dengan kalor embun?
2. Tentukan keadaan akhir 100 gram air pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  bila diberi kalor sejumlah  $2,5 \times 10^5\text{ J}$ !
3. *Ice skate* yang memiliki berat 57 kg bergerak dengan kecepatan 8 m/s meluncur hingga berhenti. Andaikan temperatur es  $0^{\circ}\text{C}$  dan 50% kalor yang ditimbulkan oleh gesekan diserap oleh es. Berapa banyak es yang mencair?
4. Balok es diambil dari lemari es pada suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dan diletakkan dalam kalorimeter alumunium yang terisi 300 gr air pada suhu kamar  $20^{\circ}$ . Suhu akhir yang teramati di semua air  $17^{\circ}\text{C}$ . Berapa massa balok es?

### 3. Penguapan Memerlukan Kalor

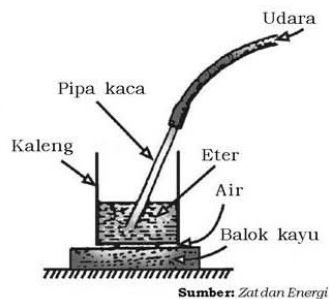
Atas yang menyatakan bahwa pada waktu menguap diperlukan kalor banyak dimanfaatkan oleh manusia, misalnya lemari es, pendingin ruangan, pembeku kering, dan lain-lainnya.

#### a. Lemari Es

Prinsip kerja lemari es seperti demonstrasi di bawah ini.

Eter dimasukkan ke dalam tabung. Tabung diletakkan di atas balok kayu sebagai isolator. Di antara tabung dan kayu diteteskan air sebanyak yang dimungkinkan. Udara dihembuskan ke dalam eter, setelah beberapa lama air di antara tabung dan balok kayu dapat membeku. Demonstrasi ini harus dilakukan di ruang terbuka, agar uap eter tidak terhisap oleh pernapasan.

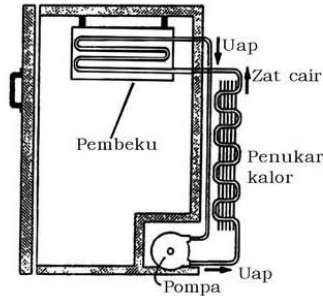
Alat (sistem) pendingin lemari es terdiri dari pompa, pembeku, dan penukar kalor. Pembeku berupa



Sumber: Zat dan Energi

**Gambar 7.3** Mendinginkan dengan menguapkan

kumparan pipa yang berisi zat cair yang mudah menguap, misalnya zat cair yang disebut freon. Zat cair ini terus menerus diuapkan dengan menghisap uapnya menggunakan pompa. Oleh pompa uap itu diletakkan masuk ke dalam pipa penukar kalor yang dilengkapi sirip-sirip, yang biasanya terletak di bagian belakang lemari es. Dengan cara ini gas freon dicairkan kembali dan memberikan kalor dari penguapan tadi ke udara di luar lemari es melalui sirip-sirip. Freon yang sudah mencair dimasukkan kembali ke dalam pipa pembeku. Dengan cara ini freon terus-menerus dicairkan di penukar kalor, seakan-akan freon mengambil kalor dari dalam lemari dan membuangnya keluar.



Sumber: *Zat dan Energi*  
**Gambar 7.4** Proses pendinginan pada lemari es

Penggunaan freon pada alat pendingin ternyata memberi dampak buruk terhadap lingkungan. Bagaimanapun ada freon yang bocor keluar alat dan masuk ke atmosfer. Freon memiliki sifat merusak lapisan ozon yang melindungi bumi dari penyinaran-penyinaran ultraungu (ultraviolet) yang datang dari matahari.

Jika lapisan ozon rusak atau tidak ada, sinar matahari akan bergerak mengenai permukaan bumi. Sudah diketahui orang bahwa sinar ultraungu yang berlebihan dapat merusak kesehatan, di antaranya dapat menimbulkan kanker kulit. Pada masa ini orang sudah menemukan pengganti freon akan tetapi masih belum umum digunakan.

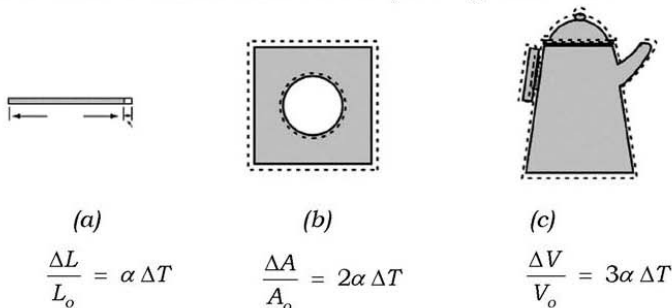
**b. Pengeringan Beku**

Sistem pengeringan beku digunakan untuk mengawetkan, misalnya buah-buahan, sayur-sayuran, bunga, dan lain-lainnya. Bunga yang diawetkan dimasukkan dalam ruangan yang bersuhu rendah dan tekanan rendah. Sehingga air yang terkandung di dalam bunga membeku menjadi es. Pada tekanan rendah es langsung berubah menjadi uap, selanjutnya uapnya dikeluarkan dari mesin pengeringan. Diperoleh bunga kering dengan warna aslinya.

## 4. Pemuaiian

### a. Muai Panjang, Muai Luas, dan Muai Ruang

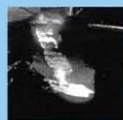
Pada umumnya semua benda jika temperaturnya naik akan memuai dan temperatur diturunkan akan menyusut. Kecuali air yang temperaturnya dinaikkan dari 0,5° C ke 4° C air tersebut akan menyusut. Anomali semacam ini dimanfaatkan oleh kehidupan ikan pada musim salju, di mana air di permukaan danau atau sungai akan membeku. Ikan akan bertahan hidup pada kedalaman tertentu, mengapa? Pemuaiian suatu benda mempunyai dimensi panjang disebut muai panjang, dimensi luas yang disebut muai luas dan dimensi volume disebut muai volume, lihat gambar 7.5!



**Gambar 7.5** Muai panjang (a), muai luas (b), dan muai ruang (c)

Gambar 7.5 menunjukkan bahwa setiap kenaikan temperatur akan menunjukkan perubahan panjang ( $\Delta L$ ), perubahan luas ( $\Delta A$ ), dan perubahan volume ( $\Delta V$ ). Kesebandingan antara perubahan temperatur dan perubahan panjang disebut koefisien muai panjang ( $\alpha$ ), muai luas disebut koefisien muai luas ( $\beta$ ) =  $2\alpha$  dan muai volume disebut koefisien muai volume ( $\gamma$ ) =  $3\alpha$  yang secara keseluruhan tergantung pada jenis benda, lihat tabel 7.3 Jika  $T$  dinyatakan dalam °C maka  $\alpha$  dinyatakan dalam (°C)<sup>-1</sup>. Misalkan sebuah aluminium mempunyai nilai  $24 \times 10^{-6}$  (°C)<sup>-1</sup>, ini berarti setiap perubahan temperatur °C terjadi perubahan panjang aluminium sebesar 24 per satu juta dari panjang mula-mula.

### Info Sains



Setiap benda memuai (membesar) jika dipanaskan, karena molekulnya membesar dan bergetar lebih cepat ketika panasnya naik. Baja yang membara terlihat berwarna putih, ini sebabkan karena suhu dapat mengubah warna.

Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar

**Tabel 7.3 Koefisien Muai Panjang dan Volume**

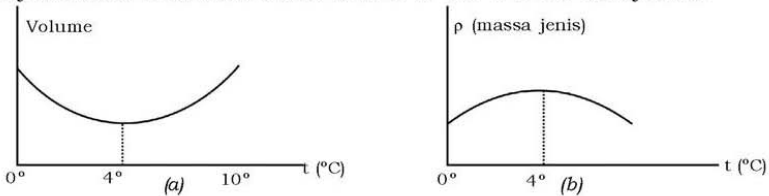
Benda	$\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup> $\times 10^{-6}$	Benda	$\gamma \times 10^{-4}$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup>
Aluminium	24	Alkohol	1,12
Tembaga	19	Bensena	1,24
Timbal	29	Aseton	1,5
Gelas (pyrex)	3,2	Gliserin	4,85
Gelas (biasa)	9	Air raksa	1,82
Besi	12	Helium	36,65
Platinum	9	Udara (0 $^{\circ}\text{C}$ )	36,67
Emas	14	Gasolin	9,6
Tungsten	4,3	Air	4,4

Sumber: *Holiday Resnick*

Tabel 7.3 menunjukkan bahwa nilai  $\alpha$  positif berarti setiap kenaikan temperatur diikuti oleh kenaikan panjang benda tersebut. Namun tidak semua berlaku ketentuan ini misalkan bentuk anisotropik dari kristal  $\text{CaCO}_3$  (kalsit) di mana penambahan temperatur mengakibatkan pertambahan panjang, nilai  $\alpha$  positif di sisi lain terjadi penyusutan, nilai  $\alpha$  negatif. Buktikan bahwa  $\beta = 2\alpha$  dan  $\gamma = 3\alpha$ !

### b. Anomali Air

Dari hasil pengamatan (diterangkan di kelas II SMP), kristal es mempunyai rongga-rongga yang cukup besar tetapi pada air lebih rapat daripada dalam es karena es terapung di air karena adanya rongga-rongga yang lebih besar pada kristal es tadi, menyebabkan kenaikan suhu dari 0 $^{\circ}\text{C}$  ke 4 $^{\circ}\text{C}$  air menyusut.



**Gambar 7.6** Grafik volume terhadap suhu pada air (a) dan grafik massa jenis air terhadap suhu (b)

### c. Pemuaian Gas

Sifat gas yang mempunyai massa ( $m$ ) ditentukan beberapa variabel yang sangat menentukan keadaan gas yaitu volume ( $V$ ), tekanan ( $P$ ), dan temperatur ( $T$ ). Ini perlu diketahui bagaimana hubungan variabel-variabel tersebut. Secara umum, persamaan

yang menghubungkan variabel-variabel tersebut disebut persamaan *state* dan persamaan ini sangat kompleks. Untuk gas yang mempunyai kerapatan rendah mempunyai persamaan yang sederhana dan gas tersebut bertingkah laku sebagai gas ideal. Hampir semua gas yang berada pada temperatur kamar dan tekanan 1 atmosfer bertingkah laku sebagai gas ideal. Apa yang dimaksud gas ideal? Gas ideal mempunyai beberapa ciri di antaranya adalah:

1. Tumbukan antaratom atau molekul berlaku tumbukan lenting sempurna.
2. Tidak ada interaksi antarmolekul.
3. Energi dalam yang dimiliki oleh atom atau molekul dalam bentuk energi kinetik.
4. Perubahan energi dalam diikuti oleh perubahan temperatur.

Hubungan antara ketiga variabel tersebut di mana pada temperatur konstan adalah:

$$PV = \text{konstan}$$

Persamaan di atas disebut *hukum Boyle*, di mana  $P$  dinyatakan dalam Pascal (Pa), dinyatakan dalam  $\text{m}^3$ . Perhatikan bahwa 1 atmosfer = 760 mmHg = 101,3 kPa!

Hubungan antara  $V$  dan  $T$  di mana  $P$  konstan, dapat ditulis:

$$\frac{V}{T} = \text{konstan}$$

Persamaan di atas disebut *hukum Gay Lussac*, di mana  $T$  dinyatakan  $K$ .

Hubungan antara  $P$  dan  $T$ , di mana volume konstan adalah:

$$\frac{P}{T} = \text{konstan}$$

Secara umum dapat dirumuskan sebagai:

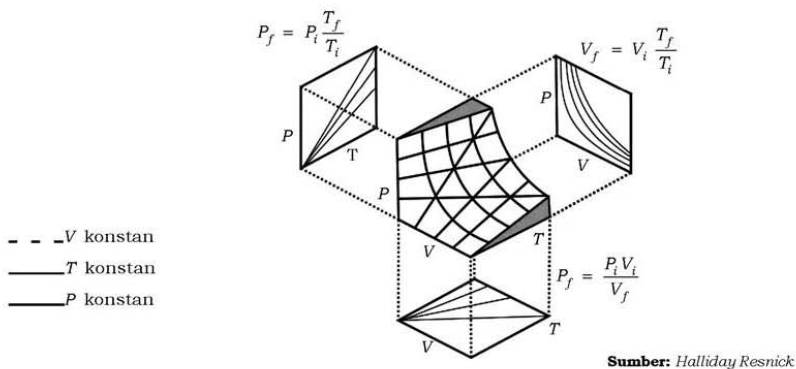
$$\frac{PV}{T} = \text{konstan}$$

Persamaan di atas disebut *hukum Boyle Gay Lussac*, jika gas tersebut bermassa  $m$ , maka dapat ditulis dalam bentuk:

$$PV = nRT \Rightarrow PV = NRT \Rightarrow n = \frac{m}{M}$$

dengan  $n$  adalah banyaknya mol,  $M$  adalah berat atom atau molekul,  $R$  adalah konstanta gas yang besarnya  $= 8,3145 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $N$  adalah banyaknya atom atau molekul,  $k$  adalah konstanta Boltzman  $= 1,38066 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1} = 8,617385 \times 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}$ ,  $k = R/N_A$  dan  $N_A$  adalah bilangan Avogadro  $= 6,0221 \times 10^{23}$ .

Gambar 7.7 menunjukkan hubungan ketiga variabel  $V$ ,  $T$ , dan  $P$  di mana  $V_f$ ,  $T_f$ , dan  $P_f$  bekerja pada volume, temperatur, dan tekanan akhir, dan  $V_i$ ,  $T_i$ , dan  $P_i$  bekerja pada volume, temperatur dan tekanan mula-mula.



**Gambar 7.7** Grafik antara tiga variabel yaitu  $V$ ,  $T$ , dan  $P$

Jelaskan bagaimana hubungan antara tekanan, temperatur, dan volume gas ideal yang didasarkan gambar 7.7!

### Contoh Soal 7.3

1. Suatu gas volumenya  $0,5 \text{ m}^3$  perlahan-lahan dipanaskan pada tekanan tetap hingga volumenya menjadi  $2 \text{ m}^3$ . Jika volume luar gas tersebut  $3 \times 10^5 \text{ joule}$  dan suhu semula. Hitung:
  - a) Tekanan gas tersebut!
  - b) Berapakah suhu akhir?

**Penyelesaian:**

a.  $W = \rho \Delta V$

$$3 \times 10^5 = \rho (2 - 0,5)$$

$$\rho = \frac{3 \times 10^5}{1,5} = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

b. Untuk panas pada tekanan tetap

$$\frac{V}{T} = K$$

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

$$= \frac{300}{0,5} = 1200 \text{ K}$$

2. Tentukan dimensi dari konstanta gas R

**Penyelesaian:**

$$PV = NRT$$

$$R = \frac{PV}{NT}$$

$$= \frac{[M][L]^{-1}[T]^{-2}[L]^3}{[N][\theta]}$$

$$= [M] [L]^2 [T]^{-2} [M]^{-1} [\theta]^{-1}$$

## B. Cara Perpindahan Kalor

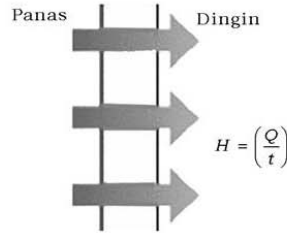
### 1. Konduksi

Coba kalian pegang salah satu ujung sebuah sendok makan, sedangkan ujung yang lain kalian panaskan pada api kompor gas! Apa yang terjadi pada ujung sendok yang kalian pegang?

Selanjutnya ambil sebuah pisau yang mempunyai pegangan dari kayu! Peganglah pisau pada pegangannya, sedang ujung yang lain dipanaskan. Apakah yang terasa pada tanganmu? Bandingkan, apa yang kalian dirasakan pada pegangan pisau dan ujung sendok!

### a. Laju Perpindahan Kalor dengan Cara Konduksi

Peristiwa yang terjadi pada sendok, menunjukkan adanya aliran panas ke daerah dingin, bukan? Begitu pula pada pisau. Bagaimana fungsi kayu itu sendiri? Peristiwa aliran panas ini membuktikan adanya transfer energi panas ke dingin. Bagaimana cara mentransfer energi panas tersebut? Untuk menjawab pertanyaan ini perlu adanya analisis secara fisika.



**Gambar 7.8** Perpindahan kalor dari panas ke dingin

Jika zat mendapat energi panas maka energi panas tersebut digunakan untuk menggetarkan partikel-partikel zat tersebut. Partikel-partikel yang bergetar mempunyai energi kinetik lebih besar ini, memberikan sebagian energi kinetiknya kepada partikel tetangganya melalui tumbukan sehingga partikel tetangga bergetar dengan energi kinetik lebih besar pula. Begitu seterusnya partikel tetangga ini memindahkan energi ke partikel tetangga berikutnya. Sedangkan partikelnya sendiri tidak berpindah tempat. Pemindahan energi panas atau kalor semacam ini disebut konduksi. Jadi, perpindahan panas dengan cara konduksi adalah perpindahan panas yang tidak diikuti oleh perpindahan partikel zat. Sebatang logam panjang  $\ell$ , luas penampangnya  $A$ , perbedaan temperatur kedua ujungnya adalah  $\Delta T$ , besarnya laju perpindahan panas  $H$  adalah berbanding terbalik dengan  $\ell$ , berbanding lurus dengan  $\Delta T$  dan  $A$ . Secara matematis dapat ditulis dengan persamaan:

$$H = \kappa A \frac{\Delta T}{\ell}$$

dengan  $\kappa$  adalah koefisien konduksi termal zat atau sering disebut konduktivitas termal ( $\text{Js}^{-1}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $\Delta T$  dinyatakan dalam K,  $A$  dinyatakan dalam  $\text{m}^2$ ,  $\ell$  dinyatakan dalam m, maka  $H$  dinyatakan dalam  $\text{Js}^{-1}$ .

Persamaan di atas menunjukkan bahwa zat yang mempunyai nilai konduktivitas panas besar merupakan konduktor panas yang baik. Bagaimana terhadap kayu yang digunakan pada pegangan pisau? Tentu kayu bukan konduktor yang baik, bukan? Pada tabel konduktivitas termal zat menunjukkan bahwa logam merupakan konduktor termal yang baik daripada bukan logam, seperti kayu, karena mobilisasi elektron ikut berpartisipasi dalam konduktivitas listrik dan juga ikut berperan dalam transfer energi panas.



**Tabel 7.4 Konduktivitas Termal beberapa Zat**

Zat/Bahan	$J.m^{-1}.s^{-1}.K^{-1}$	Zat/Bahan	$J.m^{-1}.s^{-1}.K^{-1}$
Logam:		Zat cair:	
Perak	$4,2 \times 10^{-1}$	Air	$5,7 \times 10^{-4}$
Tembaga	$3,8 \times 10^{-1}$	Bahan isolator:	
Aluminium	$2,1 \times 10^{-1}$	Serbuk gergajian	$5,9 \times 10^{-5}$
Kuningan	$1,0 \times 10^{-2}$	Gabus	$4 \times 10^{-5}$
Besi/baja	$4,6 \times 10^{-2}$	Wol gelas	$3,9 \times 10^{-5}$
		Kapuk	$3,5 \times 10^{-5}$
Zat padat lain:		Gas:	
Beton	$1,7 \times 10^{-3}$	Hidrogen	$1,7 \times 10^{-4}$
Kaca	$8,0 \times 10^{-4}$	Udara	$2,3 \times 10^{-5}$
Batu bata	$7,1 \times 10^{-4}$		
Kayu cemara	$1,2 \times 10^{-4}$		

Sumber: Halliday Resnick

Oleh karena itu yang perlu diperhatikan adalah suatu logam yang mempunyai nilai konduktivitas termal tinggi, logam tersebut mempunyai konduktor termal yang baik. Menurut hukum Wideman-Franz, dinyatakan bahwa pada temperatur  $T$ , konduktivitas termal ( $K$ ) berbanding lurus dengan konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) dengan satuan ( $Jm^{-1}s^{-1}K^{-1}$ ). Kenaikan temperatur akan menaikkan konduktivitas termal tetapi terjadi penurunan konduktivitas listrik, dapat ditulis:

$$L = \frac{K}{\sigma T}$$

dengan  $L$  adalah bilangan Lorentz.

Pada persamaan di atas menunjukkan bahwa konduktivitas termal berbanding lurus dengan kenaikan temperatur. Tabel 7.4 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal pada udara, gabus, wol, dan kapuk sangat kecil. Berdasarkan persamaan di atas menunjukkan bahwa nilai konduktivitas kecil, nilai perpindahan panas persatuan waktu,  $H$  juga kecil, ini berarti bisa dikatakan bahwa pada bahan tersebut tidak menghantarkan panas. Bahan seperti ini disebut isolator. Bahan yang bersifat isolator sangat bermanfaat bagi manusia, misalnya plastik digunakan untuk pegangan alat-alat pemanas, udara, dan gabus untuk penyekat pada termos dan lain-lainnya.

## Aksi Fisika

**“Kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh!”**

Pernahkah kalian bermain ke pegunungan? Jika belum cobalah berjalan-jalan ke pegunungan bersama teman-teman. Kalian akan mendapati rumah di daerah pegunungan banyak menggunakan atap rumah dari seng daripada menggunakan genteng keramik. Mengapa demikian? Beri penjelasan dan argumentasi kalian!

Dan apabila dikaitkan dengan persamaan  $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ . Bagaimana pengaruh bilangan Lorentz, jika temperatur diperbesar?

### Contoh Soal 7.4

Batang tembaga panjang 100 cm luas penampang melintang  $1 \text{ cm}^2$ . Salah satu ujungnya berada pada air yang mendidih sedang ujung yang lainnya ditempatkan pada es yang sedang mencair. Jika koefisien konduksi termal tembaga  $400 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Berapa joule banyaknya kalor yang berpindah dari ujung satu ke ujung yang lain dalam 1 menit?

#### **Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } \kappa &= 400 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1} \\ A &= 1 \text{ cm}^2 \\ &= 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 373 \text{ K} - 273 \text{ K} \\ &= 100 \text{ K} \\ \ell &= 100 \text{ cm} \\ &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya: } H = \dots?$$

Jawab:

Berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned} H &= \kappa A \frac{\Delta T}{l} \\ &= 400 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1} \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ K}}{1 \text{ m}} = 4 \text{ Js}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{Dalam satu menit } (H) = 60 \text{ s} \times 4 \text{ Js}^{-1} = 240 \text{ J.}$$

### Latihan 7.3

1. Rumus:  $H = \kappa A \frac{\Delta T}{l}$ . Buktikan bahwa satuan ruas kiri sama dengan satuan ruas kanan!
2. Mengapa orang tidak menggunakan tembaga sebagai bahan pembuat panci, tetapi menggunakan aluminium?

## 2. Konveksi

Untuk memahami perpindahan panas dengan cara konveksi, lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 7.3

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk memahami perpindahan panas dengan cara konveksi.

#### Konsep:

Air yang menerima kalor temperaturnya naik dan massa jenisnya berkurang. Air tersebut naik dengan membawa kalor yang diterimanya. Tempat air tersebut diganti dengan air lain yang lebih dingin. Air dingin ini mendapat kalor lagi dan naik lagi, begitu seterusnya.

#### Saran penyajian:

Melakukan percobaan dengan memanaskan air yang diberi zat pewarna.

#### Alat dan bahan:

1. Gelas piala 1 biji
2. Pemanas spiritus 1 biji
3. Kaki tiga 1 biji
4. Kasa perata panas 1 biji
5. Pipa kaca kecil 1 biji
6. Kalium permanganat 1 butir

#### Langkah percobaan:

1. Isilah gelas piala dengan air jernih!
2. Melalui pipa kaca kecil jatuhkan sebutir kalium permanganat ke tepi dasar gelas!
3. Angkat pipa kaca dari air dengan menutup lubang pipa dengan telunjuk, agar air berwarna yang ada di dalam pipa tidak mewarnai air yang lain!

4. Nyalakan pemanas spiritus tepat di bawah air yang berwarna (tempat di mana kalium permanganat dijatuhkan)!
5. Hentikan percobaan setelah kalian mengamati satu kali lingkaran aliran!

**Hasil pengamatan:**

1. Apakah yang kalian amati pada bagian air yang berwarna?
2. Kenapa air yang berwarna naik ke atas?
3. Bagaimana hubungan antara kerapatan air panas dan air dingin?
4. Perbedaan temperatur menyebabkan adanya aliran panas secara konveksi, bagaimana untuk zat padat dan gas?
5. Perbedaan temperatur menyebabkan perbedaan kerapatan. Dengan konsep perbedaan temperatur, jelaskan terjadinya pergantian musim!

**Kesimpulan:**

Jadi, dapat disimpulkan bahwa konveksi adalah perpindahan energi panas dengan pergerakan massa dari benda-benda fluida seperti air, udara ketika ada perbedaan temperatur.

Untuk perbedaan temperatur yang kecil, laju perpindahan panas ( $h$ ), dikarenakan konveksi alamiah sebanding dengan selisih suhu sekitarnya ( $\Delta T$ ) dan luas permukaan ( $A$ ), ditulis dengan persamaan:

$$H = h A \Delta T$$

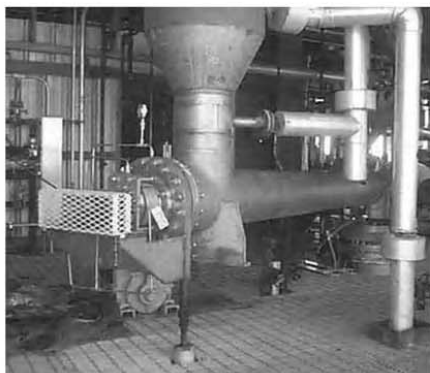
dengan  $h$  adalah faktor kesebandingan yang nilainya tergantung pada bentuk dan orientasi permukaan. Dinyatakan dalam  $\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $A$  dinyatakan dalam  $\text{m}^2$ ,  $\Delta T$  dinyatakan dalam K maka  $H$  dinyatakan  $\text{Js}^{-1}$ .

Kejadian yang kalian amati pada percobaan 7.3 disebut *konveksi alamiah* yang didasarkan pada perbedaan temperatur, sesuai dengan persamaan di atas, bagaimana terhadap luas permukaan benda tersebut?

**Konveksi Paksa**

Pada banyak penerapan dalam teknik, aliran zat alir (misalnya air), dilakukan dengan sengaja, yaitu mengalirkan air yang sudah panas ke tempat lain. Misalkan pada sistem pendinginan pada reaktor nuklir dan radiator mobil. Pada radiator mobil diberi kipas angin,

apa fungsi kipas angin tersebut? Tentu sebelum kalian menjawab pertanyaan ini, kalian harus mengetahui prinsip kerja radiator. Prinsip yang kalian pegang adalah bahwa radiator menyediakan air dingin, kemudian dipaksa mengalir ke daerah mesin untuk mendinginkan mesin, terus air panas dari mesin mengalir kembali ke radiator. Dari sini kalian akan tahu fungsi dari kipas angin, bukan? Jelaskan! Dan bagaimana kalau kipas anginnya tidak bekerja apakah sistem pendinginan pada mesin akan normal?



(a)

Sumber: [psdf.southernco.com](http://psdf.southernco.com)



(b)

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

Gambar 7.9 (a) Pendingin (b) Radiator

### Contoh Soal 7.5

Seseorang mempunyai suhu badan  $33^{\circ}\text{C}$ , berada dalam ruangan yang bersuhu  $29^{\circ}\text{C}$ . Hitung kalor yang dilepaskan dari orang setiap detik! Jika luas permukaan kulit orang  $1,5\text{ m}^2$ , dan faktor kesebandingan untuk orang tanpa busana  $h = 7,1\text{ Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ .

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $T_{\text{Badan}} = 33^{\circ}\text{C}$        $A = 1,5\text{ m}^2$   
 $T_{\text{Ruangan}} = 29^{\circ}\text{C}$        $h = 7,1\text{ Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$

Ditanya:  $H = \dots?$

Jawab:

$$H = h A \Delta T$$

$$= 7,1 \times 1,5 \times (306 - 302) = 42,6\text{ J s}^{-1}$$

### 3. Radiasi

Kita semua sudah mengetahui bahwa matahari jauh letaknya dari bumi. Dan kita ketahui pula bahwa sebagian besar ruangan antara bumi dan matahari adalah hampa. Tetapi kenyataannya bumi kita selalu menerima panas terus-menerus.



Sumber: k41.pbase.com

**Gambar 7.10** Sinar matahari adalah salah satu contoh radiasi

Mungkinkah perpindahan panas ini dengan cara konveksi dan konduksi? Mengapa? Dengan cara bagaimanakah perpindahan panas ini? Energi yang dipancarkan matahari berupa gelombang elektromagnetik. Cara rambatan energi panas semacam ini disebut radiasi. Jadi, radiasi adalah perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan tidak memerlukan zat perantara.

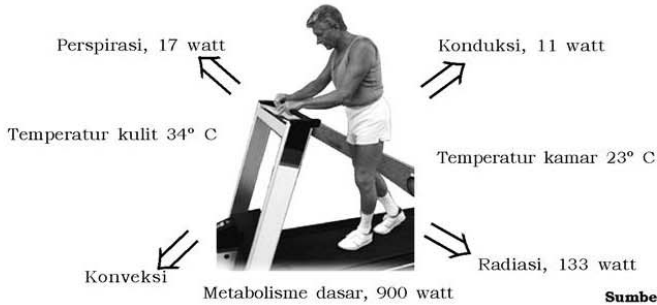
Pada umumnya semua benda pada temperatur tertentu memancarkan atau menerima energi ke atau dari lingkungan. Dalam keseimbangan energi yang diterima sebesar energi yang dipancarkan benda. Hubungan antara energi radiasi per satuan waktu per satuan luas ( $W$ ), dan temperatur sumber radiasi/radiator ( $T_R$ ) terhadap temperatur lingkungan ( $T_S$ ) dirumuskan:

$$W = e\sigma(T_R^4 - T_S^4)$$

dengan  $W$  dinyatakan watt  $m^{-2}$ ,  $e$  = emisivitas benda yang nilainya tergantung sifat permukaan benda dan  $\sigma$  adalah tetapan Stefan yang besarnya adalah  $5,672 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  dan  $T$  adalah temperatur mutlak benda dinyatakan dalam K.

Persamaan di atas disebut hukum Stefan-Boltzman yang menunjukkan bahwa besarnya energi yang dipancarkan atau diterima besarnya sebanding dengan pangkat empat temperatur mutlaknya. Nilai  $e$  bervariasi dari 0 sampai 1 tergantung sifat permukaan. Apa yang terjadi jika  $e = 0$ ? Apakah ada proses radiasi?

Untuk nilai  $e = 1$  menunjukkan bahwa benda tersebut mempunyai daya absorpsi dan radiasi yang ideal. Benda yang mempunyai nilai  $e = 1$  disebut *radiasi benda hitam*. Bisakah kalian menemukan benda yang bernilai  $e = 1$ ?



Sumber: CD Image

**Gambar 7.11** Proses pertukaran energi pada badan terhadap lingkungan

Gambar 7.11 menunjukkan suatu model bagaimana seseorang kehilangan energi panas terhadap lingkungan. Walaupun seseorang tidak melakukan aktivitas, mereka tetap kehilangan energi untuk proses metabolisme dasar sebesar 90 watt. Suatu hal yang menarik dan penting dalam radiasi adalah adanya mekanisme transfer panas akibat adanya perbedaan temperatur kamar dengan temperatur kulit. Akibatnya badan terasa dingin, bukan?

Jika suhu kamar naik menjadi 45 °C, apa yang dirasakan oleh badan? Tentu, badan terasa panas dan badan selalu berkeringat. Oleh karena itu energi yang dikeluarkan (keluarnya keringat) akan lebih tinggi yaitu mencapai 234 watt.

### Contoh Soal 7.6

Pada suhu 3.000 K sebuah benda memancarkan energi radiasi sebesar  $810 \text{ Js}^{-1}$ . Berapa energi yang dipancarkan benda tersebut pada suhu 4.000 K?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $T_1 = 3000 \text{ k}$        $T_2 = 4000 \text{ k}$   
 $W_1 = 810 \text{ Js}^{-1}$

Ditanya:  $W_2 = \dots?$

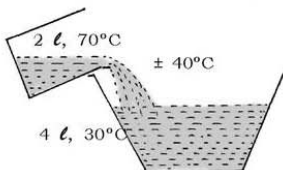
Jawab:  $W_1 = e\sigma(T_{R1}^4 - T_{S1}^4)$   
 $W_1 = e\sigma(T_{R2}^4 - T_{S2}^4)$

$$T_{S1} - T_{S2} \rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{T_{R1}^4}{T_{R2}^4} \rightarrow W_2 = \frac{T_{R1}^4}{T_{R2}^4} W_1$$

$$W_2 = \frac{(3.000)^4}{(4.000)^4} (810) \text{ Js}^{-1}$$

### C. Hukum Kekekalan Energi untuk Kalor

Kita ingin mandi dengan air hangat, untuk keperluan ini kita ambil 2 liter air yang bersuhu  $70^{\circ}\text{C}$ , kita campurkan dengan 4 liter air yang bersuhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Bagaimana suhu air  $70^{\circ}\text{C}$  setelah dicampur dan bagaimana pula suhu air  $30^{\circ}\text{C}$ ? Ternyata air hangat itu bersuhu kurang lebih  $40^{\circ}\text{C}$ . Mengapa hal itu dapat terjadi?



**Gambar 7.12** Hukum kekekalan energi

**“Ayo kembangkan wawasan lingkungan global/semesta kalian!”**

## Dimensi Fisika

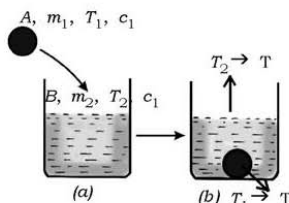


Asap cerobong

Apa yang dapat kalian ceritakan dari gambar di samping. Asap pabrik atau jika kalian membakar sampah dipekarangan kalian, mengapa asapnya selalu membumbung ke atas. Berikan analisis dan argumentasi kalian, jika ditinjau dari pengertian konveksi dan radiasi!

### 1. Asas Black

Menurut hukum kekekalan energi, bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, yang terjadi hanyalah perubahan bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Kita ambil contoh, sebuah benda A massa  $m_1$ , suhu  $T_1$  dan massa jenisnya  $c_1$ , kita masukkan ke dalam air B yang massanya  $m_2$ , suhu  $T_2$ , dan massa jenis  $c_2$ . Setelah terjadi keseimbangan dianggap tidak ada kalor yang diserap oleh tempat, suhu air menjadi  $T$ . Perhatikan gambar 7.13 di samping!



**Gambar 7.13** Percobaan Asas Black

Dalam hal ini benda A suhunya turun dari  $T_1$  ke  $T$ . Maka kalor yang dilepas benda A adalah  $Q_1 = m_1 c_1 (T_1 - T)$ . Sedangkan air B, suhunya naik dari  $T_2$  ke  $T$ . Maka kalor yang diserap air B adalah  $Q_2 = m_2 c_2 (T - T_2)$



Berdasarkan hukum kekekalan energi untuk kalor, jumlah kalor yang dilepas benda A sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh air B. Hal ini dikenal dengan Asas Black.

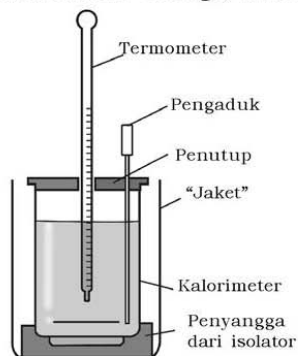
$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 \\
 m_1 c_1 \Delta T_1 &= m_2 c_2 \Delta T_2 \\
 m_1 c_1 (T_1 - T) &= m_2 c_2 (T - T_2)
 \end{aligned}$$

## 2. Kalorimeter

Kalorimeter adalah alat untuk mengukur kalor jenis suatu zat, perhatikan gambar 7.14! Salah satu bentuk kalorimeter yaitu kalorimeter campuran. Kalorimeter ini terdiri dari sebuah bejana logam yang kalor jenisnya diketahui. Bejana ini biasanya ditempatkan di dalam bejana lain yang agak lebih besar. Kedua bejana dipisahkan oleh bahan penyekat, misalnya gabus atau wol. Kegunaan bejana luar adalah sebagai isolator agar pertukaran kalor dengan sekitar kalorimeter dapat dikurangi.

Kalorimeter juga dilengkapi dengan batang pengaduk. Pada waktu zat dicampurkan di dalam kalorimeter, air di dalam kalorimeter perlu diaduk agar diperoleh suhu merata sebagai akibat percampuran dua zat yang suhunya berbeda. Asas penggunaan kalorimeter adalah Asas Black.

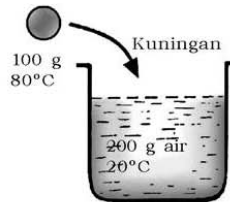
Zat yang ditentukan kalor jenisnya dipanaskan sampai suhu tertentu. Dengan cepat zat itu dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air dengan suhu dan massanya sudah diketahui. Kalorimeter diaduk sampai suhunya tidak berubah lagi. Dengan menggunakan hukum kekekalan energi, kalor jenis zat yang dimasukkan dihitung.



Gambar 7.14 Kalorimeter

### Contoh Soal 7.7

Sebuah kalorimeter yang kapasitas kalor  $40 \text{ kal}^\circ\text{C}^{-1}$  berisi  $200 \text{ gram}$  air suhunya  $20^\circ\text{C}$  akan dipakai untuk menentukan kalor jenis kuningan. Ke dalam kalorimeter dimasukkan  $100 \text{ gram}$  kuningan yang bersuhu  $80^\circ\text{C}$ . Jika suhu akhir air  $22^\circ\text{C}$  dan kalor jenis air  $1 \text{ kal g}^{-1}\text{C}^{-1}$ , berapa kalor jenis kuningan?



#### Penyelesaian:

Diketahui:	$C_{kal} = 40 \text{ kal}^\circ\text{C}^{-1}$	$T_k = 80^\circ$
	$m_a = 200 \text{ gram}$	$T_{akhir} = 22^\circ\text{C}$
	$T_a = 20^\circ\text{C}$	$C_a = 1 \text{ kal g}^{-1}\text{C}^{-1}$
	$m_k = 100 \text{ gram}$	

Ditanya:  $C_k = \dots?$

Jawab:

Kalor yang dilepas oleh kuningan = kalor yang diterima oleh kalorimeter dan air.

$$Q_1 = Q_2$$
$$m_k c_k \Delta T_k = m_a c_a \Delta T_a + C_{kal} \Delta T_{ka}$$
$$100 \times c_k \times (80 - 22) = 200 \times 1 \times (22 - 20) + 40 (22 - 20)$$
$$c_k = 0,083$$

Jadi, kalor jenis kuningan tersebut adalah  $0,083 \text{ kal g}^{-1}\text{C}^{-1}$ .

### Latihan 7.4

1. Tulislah dengan jelas Asas Black!
2. Kalor jenis aluminium lebih besar dari kalor jenis kuningan. Apa akibatnya apabila pada jumlah massa yang sama kedua benda diberi kalor yang sama?
3. Ke dalam panci aluminium yang massanya  $0,5 \text{ kg}$ , suhu  $80^\circ$ . Hitung suhu air di dalam panci aluminium (lihat tabel 7.2)!
4. Untuk menentukan kalor jenis suatu zat, ke dalam kalorimeter yang mempunyai kapasitas kalor  $168 \text{ J K}^{-1}$ , berisi  $400 \text{ gram}$  air suhu  $20^\circ\text{C}$ . Dimasukkan  $200 \text{ gram}$  ke dalam kalorimeter. Jika suhu benda  $80^\circ$ , hitung kalor jenis benda (dalam SI)!

5. Sebuah peluru yang massanya 2,0 gram bergerak dengan laju sebesar  $200 \text{ ms}^{-1}$  tertanam di dalam sebuah balok kayu yang massanya 2,0 kg yang digantungkan seperti bandul. Hitunglah kenaikan temperatur dari peluru tersebut dengan menganggap bahwa semua tenaga yang diserap digunakan untuk menaikkan temperatur!

## Rangkuman

1. Kalor adalah salah satu bentuk energi yang dapat berpindah karena adanya perbedaan suhu.
2. Banyaknya kalor yang diberikan pada suatu benda sebanding dengan kenaikan suhu ( $\Delta T$ ), massa benda ( $m$ ) dan jenis bendanya.

$$Q = m c \Delta T$$

3. Perubahan fase zat ada 4 macam yaitu:
  - a. Melebur adalah perubahan dari wujud padat menjadi wujud cair.
  - b. Membeku adalah perubahan dari wujud cair ke wujud padat.
  - c. Menguap adalah perubahan dari wujud cair menjadi uap
  - d. Mengembun adalah perubahan dari wujud uap menjadi wujud cair.
4. Pemuaian
  - a. Muai panjang, muai luas, dan muai ruang.
  - b. Anomali air
  - c. Pemuaian gas
5. Hukum Boyle Gay Lussac

$$PV = nRT$$

6. Perpindahan kalor antara lain:
  - a. Konduksi adalah perpindahan panas yang tidak diikuti oleh perpindahan partikel zat.
  - b. Konveksi adalah perpindahan energi panas dengan pergerakan massa dari benda-benda fluida seperti air, udara ketika ada perbedaan temperatur. Konveksi ada 2 macam konveksi alami dan konveksi paksa.

- c. Radiasi adalah perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan tidak memerlukan zat perantara.

$$W = e\sigma (T_R^4 - T_S^4)$$

7. Hukum kekekalan energi untuk kalor.  
Hukum kekekalan energi untuk kalor dikenal dengan Asas Black yaitu jumlah kalor yang dilepas benda pertama sama dengan jumlah yang diserap oleh benda kedua.

$$Q_1 = Q_2$$
$$m_1 c_1 \Delta T = m_2 c_2 \Delta T_2$$

8. Penerapan Asas Black terjadi pada kalorimeter. Kalorimeter adalah alat untuk mengukur kalor.

## Evaluasi

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

- Dalam SSI satuan kalor sama dengan satuan . . . .
  - usaha
  - daya
  - waktu
  - tekanan
  - volume per sekon
- Jika sejumlah zat dipanasi maka kenaikan suhu benda . . . .
  - sebanding dengan kalor jenis benda
  - berbanding terbalik dengan jumlah massa benda
  - berbanding terbalik dengan jumlah kalor yang diberikan
  - sebanding dengan massa benda
  - tergantung dengan jenis pemanasnya
- Dalam suatu bejana terdapat 50 cc air yang bersuhu 25°C. Padanya ditambahkan 100 cc air yang bersuhu 40°C. Jika dianggap tidak ada kalor yang hilang, maka campuran air bersuhu . . . .
  - 26° C
  - 27° C
  - 30° C
  - 33° C
  - 35° C

4. Yang merupakan prinsip kerja mesin pendingin adalah . . . .
  - a. mendidih memerlukan kalor
  - b. melebur membutuhkan kalor
  - c. membeku membutuhkan kalor
  - d. menguap memerlukan kalor
  - e. menguap memberikan kalor
5. Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu  $2^{\circ}\text{C}$  pada 0,5 gram air adalah . . . .
  - a. 4 kal
  - b. 3 kal
  - c. 2 kal
  - d. 1 kal
  - e. 0,5 kal
6. Perpindahan panas pada alat oven adalah . . . .
  - a. dengan cara konduksi
  - b. dengan cara konveksi
  - c. dengan cara rambatan gelombang elektromagnet
  - d. dengan cara getaran molekul zat
  - e. dengan cara perpindahan molekul zat
7. Jika suhu mutlak benda pijar dijadikan 3 kali semula maka energi yang dipancarkan menjadi . . . .
  - a. 3 kali semula
  - b. 6 kali semula
  - c. 9 kali semula
  - d. 27 kali semula
  - e. 81 kali semula
8. Laju perpindahan kalor mempunyai dimensi . . . .
  - a.  $[M][L]^{-2}[T]^{-2}$
  - b.  $[M][L][T]$
  - c.  $[M]^2[L]^2[T]^{-1}$
  - d.  $[M][L]^2[T]^2$
  - e.  $[M][L]^2[T]^{-2}$
9. Benda yang berwarna hitam lebih mudah menyerap panas daripada benda berwarna putih sebab . . . .
  - a. konduktivitas benda hitam lebih tinggi
  - b. konveksivitas benda hitam lebih tinggi
  - c. emisivitas benda hitam lebih tinggi
  - d. tetapan Stefan benda hitam lebih tinggi
  - e. konduktivitas benda putih lebih tinggi
10. Jika konduktivitas gabus  $0,04 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Tebal beton yang diperlukan untuk menyekat ruangan yang setara dengan 1 cm wol adalah . . . .
  - a. 50 cm
  - b. 40 cm
  - c. 30 cm
  - d. 20 cm
  - e. 10 cm

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

1. 20 gram suatu zat diberi kalor 4.800 kal sehingga suhu benda tersebut berubah dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $70^{\circ}\text{C}$ . Berapakah kalor jenis benda tersebut?
2. Sebatang baja panjangnya 20 km, koefisien muai panjang  $0,000011/^{\circ}\text{C}$ . Berapa panjang baja jika suhu naik  $45^{\circ}\text{C}$ ?
3. Sebuah gelas mempunyai kapasitas kalor  $50 \text{ kal}^{\circ}\text{C}^{-1}$  berisi 100 gram air suhunya  $30^{\circ}\text{C}$ . Kemudian dituangi air bersuhu  $90^{\circ}\text{C}$  massa 50 gram. Hitunglah suhu akhir campuran air tersebut!
4. Sebuah benda hitam yang emisivitasnya ( $e = 1$ ) dan tetapan Stefan  $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ . Tentukan energi yang dipancarkan benda hitam tersebut tiap satu satuan luas benda tiap satuan waktu pada suhu  $3000 \text{ K}$ !
5. Sebuah kubus aluminium dengan sisi 0,1 m, koefisien muainya  $0,00024/^{\circ}\text{C}$  mula-mula bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Berapa  $\text{cm}^3$  pertambahan volume koefisien dipanaskan  $100^{\circ}\text{C}$ ?
6. Sebatang tembaga panjang 100 cm, luas penampangnya  $4 \text{ cm}^2$ , ujung yang satu selalu tetap  $100^{\circ}\text{C}$ , sedang ujung yang lain pada es yang bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika diketahui koefisien konduksi termal tembaga  $400 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$  dan kalor lebur es  $3,2 \times 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$ . Berapa gram es yang melebur?
7. Luas keseluruhan dinding lemari es =  $4 \text{ m}^2$ . Kemampuan menyekat dinding lemari es setara dengan kemampuan menyekat serbuk gergajian setebal 10 cm. Jika konduktivitas termal serbuk gergajian  $6 \times 10^2 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Hitung berapa joule kalor yang lewat dinding setiap detik, jika perbedaan suhu di luar dan di dalam lemari es  $30^{\circ}\text{C}$ !
8. Dua batang logam sejenis A dan B penampangnya berbanding 2 : 1, sedangkan panjangnya berbanding 4 : 3. Bila beda suhu kedua ujung-ujung kedua batang sama. Tentukan perbandingan jumlah rambatan kalor tiap satuan waktu pada A dan B!

9. Luas penampang dan panjang batang baja dan kuningan sama. Salah satu ujungnya dihubungkan. Suhu ujung batang baja bebas adalah  $250^{\circ}\text{C}$ , sedangkan ujung kuningan  $100^{\circ}\text{C}$ . Jika koefisien konduksi kalor baja dan kuningan adalah 0,12 dan 0,24 kal/s, hitung panjang ujung saling berhubungan!
10. Ketika suhunya ditingkatkan dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  suatu batang baja yang panjangnya 1 m pertambahan panjang 1 mm. Berapa pertambahan panjang suatu batang baja yang panjangnya 60 cm, bila dipanaskan dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $120^{\circ}\text{C}$ !

## Aplikasi

**“Kembangkan daya saing dan semangat inovatif/kreatif kalian.”**

1. Untuk mengetahui proses terjadinya efek rumah kaca secara sederhana, lakukan kegiatan sebagai berikut!  
Mobil yang tertutup semua pintunya diparkir pada area yang panas. Tunggu kurang lebih 2 jam! Setelah 2 jam masuklah ke dalam mobil kemudian dengan membawa termometer! Ukur temperatur di dalam mobil, kemudian keluarlah dan ukur temperatur di luar mobil!  
Diskusikan dengan temanmu, antara proses terjadinya efek rumah kaca, temperatur di dalam dan di luar mobil, dan dampak kehidupan di bumi!
2. Membuat Pemanas Air Tenaga Matahari  
Sediakan drum bekas dengan ukuran 20 liter dan pasanglah keran air di tengah-tengah ketinggian drum! Kemudian seluruh bagian drum dicat hitam. Letakkan drum di tempat pada sinar matahari langsung, isilah air hampir penuh! Jangan lupa memberi ganjal batako di bawahnya! Selanjutnya ditutup dengan kaca bening.  
Diskusikan dengan temanmu, antara lain setelah berapa lama air mencapai suhu paling tinggi? Langkah selanjutnya, gunakan di rumahmu masing-masing!

# Bab VIII

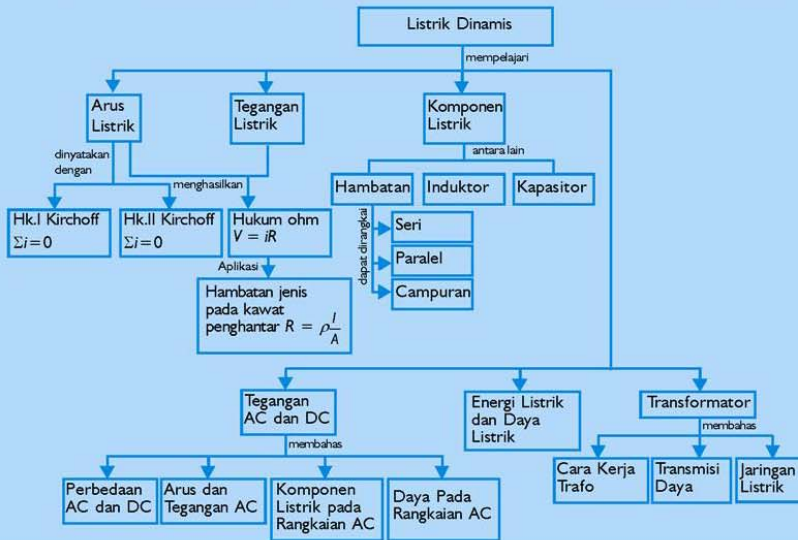
## Listrik Dinamis

Sumber gambar: *The 5 Most Spectacular Photos in 2003*

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menentukan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu loop), mengidentifikasi penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, menggunakan alat ukur listrik.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Arus listrik
2. Hambatan
3. Tegangan
4. Hukum Ohm
5. Hukum Kirchoff





**Sumber gambar:** *The 5 Most Spectacular Photos in 2003*

**Gambar.** *Petir*

Petir terjadi apabila ada beda potensial antara awan dan bumi sangat besar, sehingga elektron-elektron ditarik oleh medan listrik dari atom-atom udara. Udara merupakan konduktor sementara atom-atom yang terionisasi dan elektron-elektron yang dibebaskan mengalir dengan cepat, bertumbukan dengan lebih banyak atom dan menyebabkan ionisasi yang sangat besar. Aliran muatan yang deras memperkecil beda potensial dan “pelepasan” berhenti dengan cepat. Cahaya dari petir menunjukkan energi yang dilepaskan ketika ion-ion dan elektron-elektron bergabung kembali untuk membentuk atom-atom.

*Panduan Pembelajaran Fisika X SMA/MA*

## A. Arus Listrik

Sudah kita pelajari di SMP bahwa ada 2 jenis muatan listrik, yaitu muatan positif dan muatan negatif (yang dibawa oleh elektron).

Gerakan muatan listrik akan menimbulkan arus listrik. Arah arus listrik disepakati sebagai arah gerak muatan positif. Tetapi di dalam penghantar logam (misalnya kawat), sebenarnya yang bergerak adalah muatan negatif (elektron). Gerak elektron berlawanan dengan arah arus listrik. Pada dasarnya arus listrik sama dengan aliran air. Air dapat mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Demikian juga arus listrik, arus listrik mengalir dari tempat yang berpotensi tinggi (tegangan tinggi) ke tempat yang berpotensi rendah (tegangan rendah). Hal ini dapat dikatakan bahwa arus listrik ditimbulkan oleh adanya perbedaan potensial listrik  $\Delta V$ . Selain itu arus listrik hanya dapat mengalir dalam rangkaian tertutup. Dalam SSI satuan kuat arus listrik adalah ampere (A).

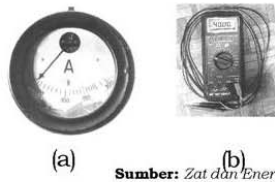
### Aksi Fisika

**"Ayo kembangkan kecakapan vokasional kalian!"**

Untuk memahami tentang listrik, kalian dapat melakukan kegiatan sederhana berikut. Rangkailah batu baterai dan lampu kecil (1 watt/1,5 volt) dengan kabel. Jika rangkaian benar maka lampu akan menyala. Setelah rangkaian benar, kalian dapat memutus salah satu kabel sehingga lampu mati. Apakah ujung kabel yang putus tersebut mempunyai arus listrik? Kalau jawaban kalian ya atau tidak bagaimana cara menerangkan dan membuktikannya?

### 1. Alat Ukur Listrik

Alat ukur kuat arus listrik yang cukup peka adalah basicmeter (meter dasar) batas maksimum basicmeter adalah 0,1 mA. Agar dapat dipakai untuk mengukur kuat arus yang lebih besar dari 0,1 mA basicmeter (meter dasar) ini dilengkapi susunan penghambat yang disebut *shunt*, yang dapat dipasang dan dilepas dari meter dasar. Ada shunt untuk arus 50 mA, 100 mA, 1 A, dan 5 A. Pada umumnya alat untuk mengukur kuat arus listrik dinamakan amperemeter.



**Gambar 8.1** Amperemeter (a) dan multimeter (b)

Meter dasar juga dapat digunakan sebagai voltmeter, yaitu alat untuk mengukur tegangan listrik. Agar dapat digunakan sebagai voltmeter, meter dasar ini dilengkapi dengan susunan penghambat yang disebut multiplier yang dapat dipasang dan dilepas dari meter dasar. Ada multiplier untuk 1 V, 5 V, 10 V, dan 50 V. Alat yang dapat dipakai untuk mengukur kuat arus, tegangan dan hambatan listrik disebut avometer atau multimeter.

## 2. Kuat Arus Listrik

Sudah disebutkan di depan bahwa arus listrik adalah gerakan muatan listrik, jumlah muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu dalam suatu penghantar disebut kuat arus listrik ( $i$ ). Dalam SSI diberi satuan ampere (A). Ditulis dengan persamaan:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

dengan

$i$  = Kuat arus listrik (ampere, A)

$\frac{dq}{dt}$  = Jumlah muatan listrik tiap sekon ( $Cs^{-1}$  = coulumb per sekon)

di mana  $q$  dinyatakan dalam satuan coulumb, C, dan  $t$  dalam sekon, s maka  $i$  dinyatakan dalam coulumb per sekon,  $Cs^{-1}$  atau A.

### Percobaan 8.1

#### **Tujuan pembelajaran:**

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk memahami:

1. Arus listrik hanya mengalir dalam rangkaian tertutup.
2. Pembacaan amperemeter.

#### **Konsep:**

Lampu pijar menyala, jarum amperemeter menyimpang jika arus listrik mengalir.

#### **Saran penyajian:**

Mengamati gerak jarum amperemeter dan hidup matinya lampu.

**Alat dan bahan:**

- 1. Batu baterai
- 2. Lampu pijar kecil 1 buah
- 3. Amperemeter 1 buah (dapat digunakan basicmeter yang sudah dipasang shunt)
- 4. Saklar 1 buah
- 5. Kabel secukupnya.

**Persiapan percobaan:**

Susunlah alat seperti gambar 8.2!

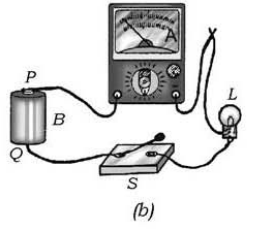
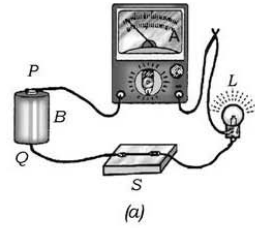
**Langkah-langkah:**

- 1. Tutuplah saklar S! Apa yang kamu lihat pada lampu pijar dan jarum amperemeter? Rangkaian ini disebut . . . .
- 2. Bukalah saklar S! Apa yang kamu lihat pada lampu pijar dan jarum amperemeter? Rangkaian ini disebut . . . .

**Kesimpulan:** .....

Dari kesimpulan di atas, diskusikan dengan teman:

- 1. Gambarkan skema rangkaian tertutup dan terbuka di atas!
- 2. Bola lampu kalian ganti dengan daya yang lebih besar, bagaimana perubahan arus listrik yang tampak pada amperemeter?
- 3. Bagaimana cara memasang amperemeter dengan rangkaian jika kalian ingin mengukur arus yang dikeluarkan oleh baterai? Jelaskan!



Sumber: Zat dan Energi

**Gambar 8.2** (a) Rangkaian listrik tertutup (b) dan rangkaian listrik terbuka

**3. Tegangan Listrik**

Telah disebutkan di atas bahwa arus listrik mengalir dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Alat untuk mengukur tegangan listrik ialah voltmeter atau basicmeter yang telah dipasang multiplier. Voltmeter selalu dipasang paralel dengan rangkaian yang akan diukur tegangan. Untuk mengukur tegangan, lakukan percobaan berikut ini!

## Percobaan 8.2

### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk mengukur tegangan listrik dan kuat arus listrik.

### Konsep:

1. Angka yang ditunjuk voltmeter merupakan beda tegangan listrik antara kedua ujung rangkaian, pada percobaan adalah tegangan lampu pijar.
2. Angka yang ditunjuk amperemeter merupakan kuat arus listrik yang melalui rangkaian, pada percobaan adalah kuat arus pada lampu.

### Saran penyajian:

Amperemeter dipasang seri dengan rangkaian, voltmeter dipasang paralel dengan rangkaian.

### Alat dan bahan:

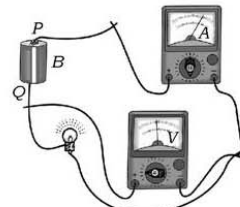
1. Batu baterai 1 buah
2. Amperemeter 1 buah
3. Voltmeter 1 buah
4. Lampu pijar 2,5 V 1 buah
5. Kabel secukupnya.

### Persiapan percobaan:

Susunlah alat-alat seperti pada gambar 8.3 berikut!

### Langkah percobaan:

1. Bacalah angka yang ditunjuk amperemeter, yaitu kuat arus yang melalui lampu!
2. Bagaimana skala dan satuan yang digunakan dalam amperemeter?
3. Bacalah angka yang ditunjuk voltmeter! Berapa tegangan pada lampu pijar?
4. Mengapa skala dan satuan sangat penting dalam melakukan pengukuran?
5. Apakah ada kesamaan angka yang dibaca pada voltmeter dengan angka yang tertera pada lampu pijar?
6. Jika tegangan sumber dinaikkan, apakah kuat arus juga akan naik?
7. Bagaimana cara menurunkan kuat arus?
8. Bagaimana hubungan kuat arus dan tegangan terhadap nyala lampu?



Sumber: Zat dan Energi

**Gambar 8.3** Sebuah voltmeter dipasang paralel dengan lampu *L* untuk mengetahui tegangan pada lampu

9. Gambarkan skema rangkaian percobaan di atas!
10. Diskusikan dengan teman kalian mengapa voltmeter harus dipasang paralel terhadap rangkaian yang diukur?

**Kesimpulan:** .....

### Contoh Soal 8.1

Dalam suatu penghantar mengalir arus listrik 2 ampere. Berapa coulomb muatan yang mengalir dalam penghantar selama satu menit?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $i = 2A$   
 $t = 1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Jawab:  $i = \frac{Q}{t}$   
 $Q = i t$   
 $= 2 \times 60 = 120 \text{ C}$

### Latihan 8.1

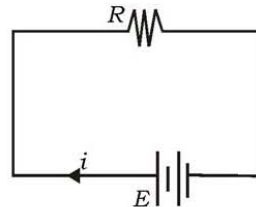
1. Dalam suatu penghantar mengalir 720 coulomb setiap menitnya. Hitung kuat arus listrik pada penghantar!
2. Apa arti angka yang tertera pada lampu pijar misal, 0,2 A dan 2,5 V?
3. Apa arti angka (no. 2) tersebut? Jika batu baterai tertera 3 volt!
4. Ketika kalian membeli lampu pijar, kalian tidak memperhatikan kriteria lampu yang dibeli. Bagaimana kalau lampu pijar tersebut digunakan dalam rangkaian yang tiba-tiba filamennya putus? Diskusikan langkah-langkah apa yang dilakukan untuk mencari penyebabnya!
5. Sebuah arus tetap sebesar 3 A mengalir pada kawat selama 5 menit.
  - a. Berapa besar muatan yang mengalir melalui suatu titik pada rangkaian?
  - b. Menjadi berapa elektronkah muatan tersebut?

## B. Hubungan Antara Tegangan dengan Kuat Arus Listrik

Kuat arus yang mengalir melalui suatu penghantar, umumnya sebanding dengan tegangan pada ujung-ujung penghantar.

### 1. Hukum Ohm

Seorang Sarjana fisika dari Jerman bernama **George Simon Ohm (1789 – 1854)** menemukan hubungan antara arus yang mengalir pada suatu penghantar, hambatan penghantar, dan tegangan antara ujung-ujung penghantar. Untuk membuktikan hubungan tersebut, lakukanlah percobaan berikut!



### Percobaan 8.3

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk menentukan hubungan antara tegangan dan kuat arus listrik.

#### Konsep:

Tegangan yang diberikan pada penghantar berubah, kuat arus juga berubah.

#### Saran penyajian:

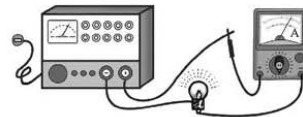
Memberikan tegangan yang berubah-ubah dari yang kecil menjadi besar pada sebuah lampu pijar.

#### Alat dan bahan:

1. Bola lampu pijar 12 V dengan pegangannya 1 stel
2. Amperemeter DC atau basicmeter yang sudah dipasang shunt
3. Sumber tegangan
4. Kabel secukupnya

#### Persiapan percobaan:

1. Rangkailah alat-alat seperti gambar 8.4 berikut!
2. Sebelum steker catu daya dimasukkan ke stop kontak periksakan dahulu pada gurumu, sudah benarkah rangkaiannya!



Sumber: Zat dan Energi

Gambar 8.4 Rangkaian hubungan tegangan dan kuat arus

**Langkah-langkah:**

1. Mula-mula pasanglah pada tegangan 2 volt DC!
2. Amatilah terangnya nyala lampu dan ukurlah besar arus listrik pada amperemeter!
3. Ulangi langkah tersebut pada tegangan berturut-turut 4 volt, 6 volt, 8 volt, 10 volt, dan 12 volt!

**Hasil pengamatan:**

1. Isikan hasilnya pada tabel 8.1 berikut!

**Tabel 8.1 Hasil Pengamatan Percobaan Hukum Ohm**


Tegangan ( <i>V</i> ) dalam Volt	Kuat Arus ( <i>i</i> ) dalam Ampere	Nyala Lampu	Besarnya $\frac{V}{i}$
2	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....
6	.....	.....	.....
8	.....	.....	.....
10	.....	.....	.....
12	.....	.....	.....

2. Bandingkan besarnya tegangan (*V*) dengan kuat arus (*i*)!
3. Buatlah grafik hubungan antara tegangan dengan kuat arus!

**Kesimpulan:**

Jika percobaan kalian dilakukan dengan teliti, diperoleh grafik berupa garis lurus yang miring. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besar kuat arus sebanding dengan tegangan. Dapat ditulis dengan rumus:

$$V \sim i$$
$$V = k i$$

dengan *k* merupakan faktor pembanding untuk setiap penghantar selalu berharga tetap. Sebenarnya harga *k* ini menyatakan hambatan listrik yang dinyatakan dengan huruf *R* dengan lambang  .

Sehingga diperoleh hubungan antara kuat arus listrik (*i*), tegangan (*V*), dan hambatan listrik (*R*) yang dirumuskan:



$$i = \frac{V}{R} \text{ atau } V = i R$$

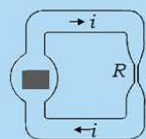
dengan  $R$  adalah hambatan listrik dinyatakan dalam satuan ohm ( $\Omega$ ).

Persamaan di atas dikenal sebagai hukum Ohm, yang menyatakan bahwa kuat arus yang mengalir dalam suatu hambatan, jika suhu dibuat tetap adalah:

1. Sebanding dengan tegangan pada ujung-ujung penghantar.
2. Berbanding terbalik dengan hambatannya.

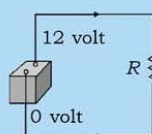
**“Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian”**

## Dimensi Fisika



Setelah kalian memahami hukum ohm, berikan argumentasi dan analisis kalian dari pertanyaan berikut.

1. Apa yang terjadi jika hambatan mendekati tak berhingga?
2. Apa yang terjadi jika hambatan suatu penghantar mendekati nol?
3. Sebutkan 3 bahan suatu penghantar untuk memenuhi no. 1 dan 2!
4. Setelah kalian melihat gambar di samping, ceritakan dengan bahasa kalian, yaitu hubungan antara aliran air dan aliran muatan.



## Saintis

### Georg Simon Ohm (1789-1854)



Georg Simon Ohm, ahli Fisika Jerman. Pada 1826, Ohm melakukan percobaan mengenai hambatan. Pada suatu rangkaian listrik. Dalam percobaan tersebut, Ohm menyimpulkan bahwa kuat listrik sebanding dengan beda potensial yang diberikan dan berbanding terbalik dengan hambatan rangkaian. Hal ini dikenal sebagai hukum Ohm. Ohm juga merumuskan bahwa hambatan listrik suatu bahan berbanding lurus dengan panjang bahan, berbanding terbalik dengan luas penampang bahan, dan bergantung kepada jenis bahan tersebut. Namanya diabadikan sebagai satuan hambatan listrik, yaitu Ohm.

## 2. Hambatan Jenis Suatu Kawat Penghantar

Hambatan sebuah kawat penghantar ditentukan oleh panjang, luas penampang, dan bahan penghantar. Untuk memahami hal ini, lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 8.4

#### Tujuan pembelajaran:

Siswa mampu melakukan percobaan dan bernalar. Untuk mengetahui faktor-faktor yang menentukan hambatan sebuah kawat penghantar.

#### Konsep:

Suatu penghantar mempunyai hambatan. Besarnya ditentukan oleh jenis penghantar, panjang pendeknya penghantar, dan tebal tipisnya penghantar.

#### Saran penyajian:

Melakukan percobaan untuk menentukan hambatan:

1. Dua jenis kawat, diameter sama, panjang sama
2. Satu jenis kawat, diameter sama, panjang  $l$  dan  $2l$
3. Satu jenis kawat, diameter  $d$  dan  $2d$ , panjang sama.

#### Alat dan bahan:

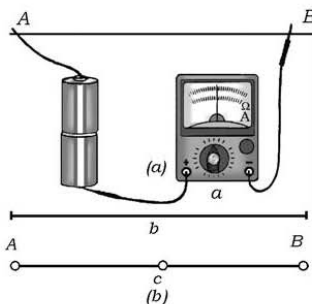
1. Baterai 2 buah
2. 2 Kawat tembaga berdiameter berbeda
3. 2 Kawat nikelin berdiameter berbeda
4. Amperemeter
5. Kabel dengan penjepit buaya.

#### Persiapan percobaan:

Susunlah alat-alat seperti gambar 8.5!

#### Langkah-langkah percobaan:

1. Pasanglah pada AB sehelai kawat nikelin seperti pada gambar 8.5a! Berapakah kuat arus yang ditunjukkan oleh jarum amperemeter?
2. Pasanglah pada AB, sehelai kawat nikelin seperti pada gambar 8.5b! (dirangkap).



Sumber: Zat dan Energi

Gambar 8.5 Rangkaian percobaan untuk mengukur hambatan jenis suatu penghantar

- Berapakah kuat arus yang ditunjukkan oleh jarum amperemeter?
- Lepaskan kawat itu, kemudian sambungkan satu dengan yang lainnya, kemudian pasanglah pada AB seperti pada langkah pertama! (Ini berarti panjang kawat menjadi dua kali dari semula)
  - Lepaskan kawat nikelin dan gantilah dengan 1 helai kawat tembaga! Berapakah angka yang ditunjuk oleh jarum amperemeter?
  - Ulangi langkah 2 dan 3 dengan kawat tembaga!

**Hasil pengamatan:**

Masukkan dalam tabel 8.2 data hasil pengamatan yang kalian peroleh!

**Tabel 8.2 Hasil Pengamatan Percobaan Hambatan Jenis Kawat Penghantar**

Jenis Kawat	No.	Jumlah Kawat	Kuat Arus (A)
A. Nikelin	1.a	1 helai	.....
	2.a	2 helai dirangkap ( $2d$ )	.....
	3.a	2 helai disambung ( $2l$ )	.....
B. Tembaga	1.b	1 helai	.....
	2.b	2 helai dirangkap ( $2d$ )	.....
	3.b	2 helai disambung ( $2l$ )	.....

**Informasi:**

- Kawat dirangkap, berarti luas penampang kawat menjadi 2 kali, kawat disambung berarti panjang menjadi 2 kali.
- Tegangan tetap, arus bertambah, berdasarkan hukum Ohm maka hambatan berkurang.

**Kesimpulan:**

- Bandingkan hasil kegiatan 1a dengan 2a dan 1a dengan 3a. Begitu juga hasil 1b dengan 2b dan 3b!
- Bandingkan hasil kegiatan 1a dengan 1b, 2a dengan 2b dan 3a dengan 3b! Jika kegiatan dilaksanakan dengan teliti dapat disimpulkan bahwa besar hambatan pada suatu kawat penghantar:

- Sebanding dengan panjang kawat penghantar ( $\ell$ ).
- Berbanding terbalik dengan luas penampang kawat penghantar ( $A$ ).
- Tergantung dari hambatan jenis kawat penghantar ( $\rho$ ).

Dari kesimpulan tersebut dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

dengan

$R$  = hambatan (ohm,  $\Omega$ )

$\ell$  = panjang kawat (m)

$A$  = luas penampang kawat ( $\text{m}^2$ )

Bahan konduktor yang mempunyai hambatan jenis sangat kecil misalnya tembaga. Sedangkan bahan isolator yang mempunyai hambatan jenis sangat besar misalnya mika, kaca, ebonit, dan lain-lain.

### Contoh Soal 8.2

Seutas kawat penghantar mempunyai panjang 10 m dan luas penampang  $0,1 \text{ mm}^2$ . Kawat tersebut dipasang pada tegangan 25 V. Ternyata pada kawat mengalir arus listrik 0,25 A.

- Berapakah hambatan kawat penghantar?
- Berapakah hambatan jenis bahan kawat penghantar?

**Penyelesaian:**

Diketahui  $\ell = 10 \text{ m}$   
 $A = 0,1 \text{ mm}^2 = 0,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$   
 $V = 25 \text{ V}$   
 $i = 0,25 \text{ A}$

Ditanya  $R = \dots ?$   
 $\rho = \dots ?$

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } R &= \frac{V}{i} & \text{b. } R &= \rho \frac{\ell}{A} \\ &= \frac{25}{0,25} & \rho &= \frac{A R}{\ell} \\ &= 100 \Omega & &= \frac{0,1 \times 10^{-6} \times 100}{10} = 10^{-6} \Omega \text{m}^{-1} \end{aligned}$$

## Aksi Fisika

*"Ayo kembangkan kecakapan keingintahuan kalian!"*

Kalian pernah melihat seekor burung yang hinggap di kawat penghantar tegangan tinggi, mengapa burung tersebut tidak terkena aliran arus (*electric shock*)? Beranikah kalian berdiri di atas kawat pengantar seperti burung, usaha apa yang harus dilakukan agar tidak terkena *elektric shock*?

### C. Hukum I Kirchoff

Dalam rangkaian bercabang jumlah arus yang masuk pada suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik cabang tersebut. Pernyataan tersebut dinamakan hukum I Kirchoff. Untuk membuktikan hal itu, lakukan percobaan berikut!

#### Percobaan 8.5

##### **Tujuan pembelajaran:**

Siswa mampu melakukan percobaan untuk menentukan kuat arus listrik dalam rangkaian bercabang.

##### **Konsep:**

Menerapkan hukum kekekalan muatan, yang menyatakan bahwa jumlah muatan listrik yang ada pada suatu sistem tertutup tidak berubah.

##### **Saran penyajian:**

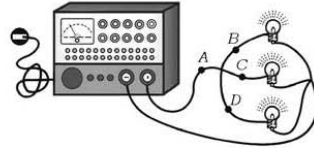
Melakukan percobaan dengan 3 buah lampu pijar di pasang paralel, kemudian dihubungkan pada sumber arus, untuk menunjukkan kuat arus yang masuk percabangan sama dengan kuat arus yang meninggalkan percabangan.

##### **Alat dan bahan:**

1. Bola lampu 6 volt dengan pemegangnya 3 buah
2. Sumber tegangan 1 buah
3. Amperemeter 1 buah
4. Kabel dengan penjepit buaya secukupnya.

**Persiapan percobaan:**

1. Rangkailah alat-alat tersebut seperti gambar 8.6 berikut!
2. Pasanglah sumber tegangan pada tegangan 6 volt! Jangan alirkan listrik sebelum ada perintah dari gurumu!



Sumber : Fisika SMA Suwandi

**Gambar 8.6** Pada rangkaian bercabang jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar

**Langkah percobaan:**

1. Lepaskan sambungan kabel A, kemudian pasanglah amperemeter! Catatlah kuat arus listrik yang mengalir pada A tersebut ( $i_A$ )!
2. Lakukan percobaan berturut-turut pada sambungan B, C, dan D! Catatlah kuat arus sebagai  $i_B$ ,  $i_C$ , dan  $i_D$ !

**Hasil pengamatan:**

1. Catat hasil pengamatan pada tabel 8.3 berikut!

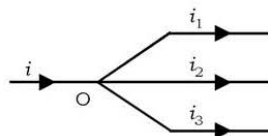
**Tabel 8.3 Hasil Pengamatan Proyek Hukum Kirchoff I**

Kuat Arus Listrik (A)				
A	B	C	D	B + C + D
.....	.....	.....	.....	.....

2. Bandingkan hasil pada kolom 1 dengan 5! Bagaimanakah kesimpulan kalian!

**Kesimpulan:**

Jika percobaan kamu lakukan dengan saksama maka hasil yang diperoleh pada kolom 1 sama dengan kolom 5. Jadi, jumlah kuat arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang meninggalkan titik percabangan. Rangkaian di atas dapat digambar seperti pada gambar 8.7!



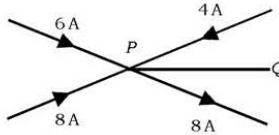
**Gambar 8.7** Hukum I Kirchoff

atau

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$
$$\Sigma i = 0$$

### Contoh Soal 8.3

Tentukan besar dan arah arus listrik pada PQ dalam percabangan arus listrik seperti pada gambar di bawah ini!



**Penyelesaian:**

$$\Sigma i = 0$$

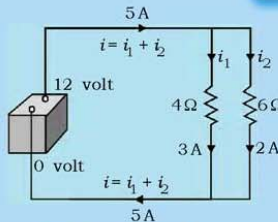
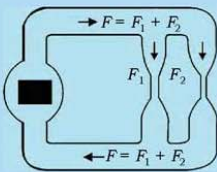
Arus listrik menuju titik cabang diberi tanda positif sedangkan yang meninggalkan titik cabang diberi tanda negatif sehingga diperoleh:  $6 + 8 + 4 - 8 + i = 0$

$$i = -10$$

Jadi, kuat arus pada PQ sebesar 10 ampere meninggalkan P.

**“Ayo asah kecakapan sosial kalian”**

**Dimensi Fisika**



Analogi Hukum Kirchoff

Untuk memudahkan pemahaman kalian tentang konsep hukum Kirchoff I. Buatlah kelompok yang terdiri dari 2 orang. Perhatikan gambar di atas, gambar (a) mengenai kecepatan aliran air,  $F$  dan gambar (b) kecepatan aliran muatan  $i$ . Diskusikan dengan temanmu apa yang dapat kalian simpulkan dari gambar tersebut dan beri argumentasi kalian!

## D. Hukum II Kirchoff

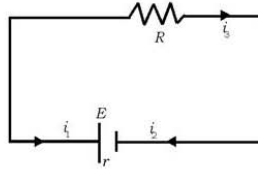
Hukum ini merupakan akibat hukum kekekalan energi yang berlaku pada rangkaian tertutup.

### 1. Rangkaian 1 Loop

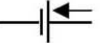

Hukum II Kirchoff menyebutkan bahwa pada rangkaian tertutup jumlah gaya gerak listrik ( $GGL = E$ ) sama dengan jumlah beda potensial ( $iR$ ) pada rangkaian. Ditulis dengan rumus:

$$\Sigma E + \Sigma i R = 0$$

Rangkaian di samping, sebuah sumber tegangan dengan gaya gerak listrik ( $GGL$ ) sama dengan  $E$  volt dan mempunyai hambatan dalam  $r$  ohm, dihubungkan dengan lampu pijar yang hambatannya  $R$  ohm.



Untuk menerapkan rumus  $\Sigma E + \Sigma i R = 0$ , digunakan ketentuan bahwa:

- Semua hambatan ( $R$ ) diberi tanda positif.
- Kuat arus ( $i$ ) yang arah arusnya searah, di mana kita mengikuti rangkaian diberi tanda positif, sedangkan yang berlawanan diberi tanda negatif. Penentuan arah arus ( $i$ ) sebelum diketahui boleh sembarang. Jika akhirnya diperoleh nilai  $i$  bertanda negatif maka pilihan arah  $i$  yang semula harus dibalik (berlawanan dengan penentuan arah semula).
- Tanda sumber arus ( $E$ ) ditentukan oleh jenis kutub yang dituju oleh arah arus.
  - Jika arus menuju kutub positif (  ) maka  $E$  diberi tanda positif.
  - Jika arus menuju kutub negatif (  ) maka  $E$  diberi tanda negatif.

Maka pada rangkaian di atas diperoleh  $-E + i r + i R = 0$  atau  $i(r + R) = E$

ditulis dengan rumus:  $i = \frac{E}{r + R}$

### 2. Rangkaian 2 Loop

Untuk menentukan kuat arus yang mengalir pada rangkaian 2 loop, juga digunakan hukum II Kirchoff pada masing-masing loop dengan ketentuan yang sama seperti pada 1 loop.



Perhatikan gambar 8.8 berikut ini!

Pada loop ABEFA:

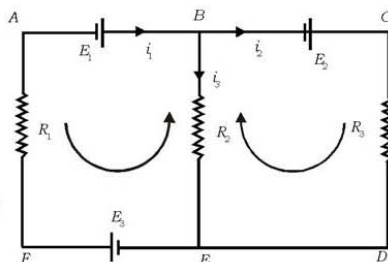
$$\begin{aligned} \Sigma E - \Sigma iR &= 0 \\ -(E_1) - E_3 + i_3 R_2 + i_1 R_1 &= 0 \dots (1) \end{aligned}$$

Pada loop BCDEB:

$$\begin{aligned} \Sigma E - \Sigma i R &= 0 \\ -(E_2) + i_2 R_3 - i_3 R_2 &= 0 \dots (2) \end{aligned}$$

Pada titik cabang B:

$$i_1 = i_2 + i_3 \dots (3)$$



**Gambar 8.8** Rangkaian 2 loop

Dari persamaan 1, 2, dan 3 apabila  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dan  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  diketahui, maka  $i_1$ ,  $i_2$ , dan  $i_3$  dapat dicari.

### 3. Rangkaian 3 Loop

Untuk rangkaian 3 loop atau lebih, analog dengan yang 2 loop. Perhatikan gambar 8.9 di bawah!

Pada loop ABGHA:  $E_1 + i_2 R_2 + i_1 R_4 + i_1 R_1 = 0$

Pada loop BCFGB:  $E_2 + i_5 R_3 + i_6 R_5 - i_2 R_2 = 0$

Pada loop CDEFC:  $E_3 - i_5 R_3 = 0$

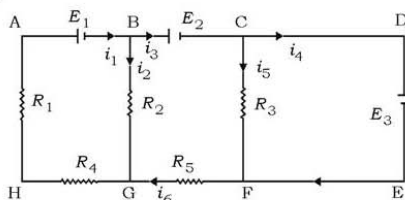
Pada titik cabang B:  $i_1 = i_2 + i_3$

Pada titik cabang C:  $i_3 = i_4 + i_5$

Pada titik cabang G:  $i_1 = i_6 + i_2$

Pada titik cabang F:  $i_6 = i_5 + i_4$

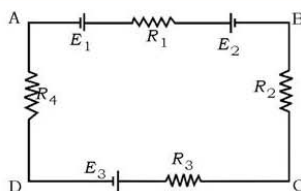
Dari persamaan di atas dapat dicari  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$ ,  $i_5$ , dan  $i_6$ .



**Gambar 8.9** Rangkaian 3 loop

### Contoh Soal 8.4

Dari gambar di samping diketahui  $E_1$ ,  $E_2$  dan  $E_3$  masing-masing 6 volt, 12 volt, dan 3 volt, serta  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  masing-masing 2 ohm, 3 ohm, 5 ohm, dan 1 ohm. Berapa dan bagaimanakah arus pada rangkaian?



**Penyelesaian:**

Diketahui:  $E_1, E_2, E_3 = 6 \text{ volt}, 12 \text{ volt}, 3 \text{ volt}$

$R_1, R_2, R_3, R_4 = 2 \Omega, 3 \Omega, 5 \Omega, 1 \Omega$

Ditanya:  $i = \dots?$

Jawab:

Kita misalkan arah arus menurut loop tertutup ABCDA maka:

$$-(E_1) + E_2 - E_3 + i(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = 0$$

$$-(6) + 12 - 3 + i(2 + 3 + 5 + 1) = 0$$

$$3 + 11i = 0$$

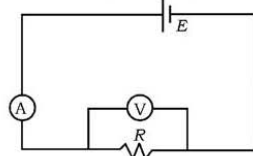
$$i = 0,27 \text{ A (negatif)}$$

Jadi, penentuan arah arus semula dari ABCDA adalah salah, yang benar adalah arah ADCBA besarnya 0,27 A.

## E. Susunan Komponen-komponen Listrik

Alat-alat listrik dapat dirangkakan di dalam rangkaian listrik dengan beberapa cara, bergantung pada keperluan. Pada dasarnya ada dua jenis rangkaian yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel.

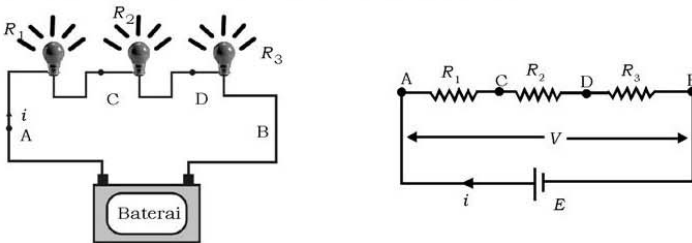
Gambar 8.10 di samping, amperemeter A berada dalam rangkaian seri dengan hambatan R dan sumber tegangan E. Voltmeter V berada dalam rangkaian paralel dengan hambatan R.



**Gambar 8.10** Skema rangkaian beberapa alat listrik

### 1. Susunan Hambatan Seri

Tiga buah lampu masing-masing mempunyai hambatan  $R_1, R_2,$  dan  $R_3$  disusun seri, dipasang pada beda potensial (tegangan)  $V$  volt, seperti tampak pada gambar 8.11 berikut.



**Gambar 8.11** Tiga buah lampu yang dipasang seri pada sebuah baterai

Susunan seri pada gambar 8.11 di atas berlaku:

- a. Kuat arus pada masing-masing hambatan adalah sama, sehingga berlaku:

$$i_{R_1} = i_{R_2} = i_{R_3} = i$$

- b. Tegangan pada masing-masing hambatan berlaku:

$$V_{R_1} = V_{A-C} = i R_1$$

$$V_{R_2} = V_{C-D} = i R_2$$

$$V_{R_3} = V_{D-B} = i R_3$$

- c. Beda potensial antara A – B berlaku:

$$V_{AB} = V_{AC} + V_{CD} + V_{DB}$$

$$V = i R_1 + i R_2 + i R_3$$

$$V = i (R_1 + R_2 + R_3)$$

Jika hambatan pengganti susunan seri dinyatakan dengan  $R_s$ , maka diperoleh hubungan:

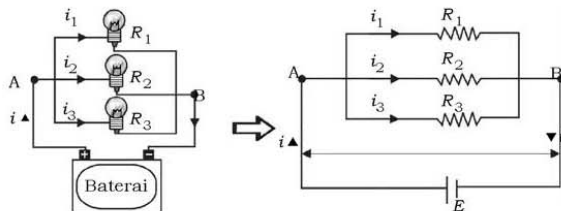
$$iR_s = i (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa hambatan pengganti susunan seri selalu lebih besar daripada salah satu hambatan yang terbesar yang disusun.

## 2. Susunan Hambatan Paralel

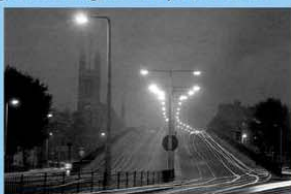
Tiga lampu masing-masing mempunyai hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  disusun paralel dipasang pada beda potensial (tegangan)  $V$  volt, seperti tampak pada gambar 8.12 berikut.



Gambar 8.12 Rangkaian paralel

## Info Sains

Tanpa adanya transduser, lampu-lampu jalanan harus dihidupkan dan dimatikan dengan tangan, atau dengan sakelar waktu. Sensor elektronik yang dimasukkan dalam transistor sensitif cahaya. Sekarang sudah cukup murah untuk dapat dipasang pada lampu jalan. Tidak perlu lagi penyesuaian waktu, baik pagi maupun sore. Lampu bahkan menyala di siang hari jika cuaca tidak bagus atau tingkat cahaya menurun.



Sumber: *Jendela Iptek 8*

Susunan pada gambar 8.12 tersebut berlaku:

- a. Tegangan pada masing-masing hambatan sama besar, sehingga berlaku:

$$V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = V$$

- b. Kuat arus pada masing-masing hambatan berbeda, sehingga berlaku:

$$i_1 = \frac{V}{R_1}; \quad i_2 = \frac{V}{R_2}; \quad i_3 = \frac{V}{R_3}$$

Jika dibandingkan, diperoleh:

$$\begin{aligned} i_1 : i_2 : i_3 &= \frac{V}{R_1} : \frac{V}{R_2} : \frac{V}{R_3} \\ &= \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} \end{aligned}$$

- c. Berdasarkan hukum I Kirchoff, berlaku:

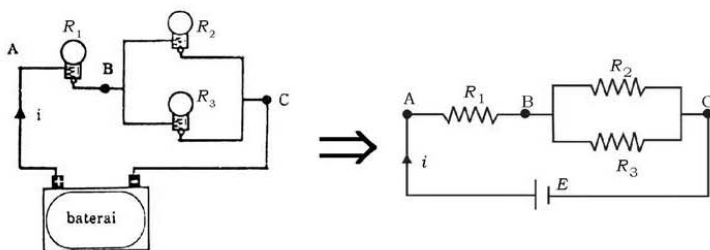
$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 + i_3 \\ &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \end{aligned}$$

Jika hambatan-hambatan pengganti susunan paralel dinyatakan  $R_p$  maka diperoleh hubungan:

$$\begin{aligned} \frac{V}{R_p} &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \\ \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{aligned}$$

### 3. Susunan Hambatan Seri dan Paralel

Tiga lampu masing-masing mempunyai hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  dapat disusun gabungan seri dan paralel yang dipasang pada beda potensial (tegangan)  $V$  volt, seperti gambar 8.13 berikut.



**Gambar 8.13** Susunan hambatan seri dan paralel

Untuk menentukan hambatan pengganti susunan gabungan seri dan paralel kita tentukan dahulu hambatan pengganti masing-masing susunan paralel, maupun susunan seri, kemudian hambatan pengganti susunan tersebut disusun sesuai dengan pertanyaan.

Pada gambar 8.13 di atas berlaku:

- a. AB merupakan hambatan tunggal, berlaku:

$$R_{AB} = R_1$$

- b. BC merupakan susunan paralel, berlaku:

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

$$R_{BC} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

- c. AC merupakan susunan gabungan seri dan paralel, berlaku:

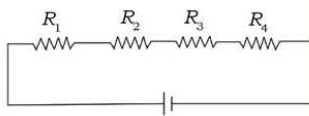
$$R_{sp} = R_{AB} + R_{BC}$$

$$R_{sp} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$R_{sp}$  = hambatan pengganti susunan seri paralel

### Contoh Soal 8.5

Empat buah hambatan disusun seperti gambar di samping. Jika dipasang pada tegangan 100 volt dan masing-masing hambatan besarnya 4  $\Omega$ , 6  $\Omega$ , 7  $\Omega$ , dan 8  $\Omega$ .



Tentukan:

- Besarnya hambatan pengganti susunan tersebut!
- Besarnya arus listrik yang mengalir pada masing-masing hambatan!
- Besarnya tegangan pada masing-masing hambatan!

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } R_1 &= 4 \Omega & R_4 &= 8 \Omega \\ R_2 &= 6 \Omega & V &= 100 \text{ V} \\ R_3 &= 7 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ditanya: a) } R_s &= \dots? \\ \text{b) } i &= \dots? \\ \text{c) } V &= \dots? \end{aligned}$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } R_s &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ &= 4 + 6 + 7 + 8 \\ &= 25 \Omega \end{aligned}$$

- b. Pada susunan seri berlaku  $i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i$ .  
Karena pada susunan seri berlaku:

$$i = \frac{V}{R_s} = \frac{100}{25} = 4 \text{ A}$$

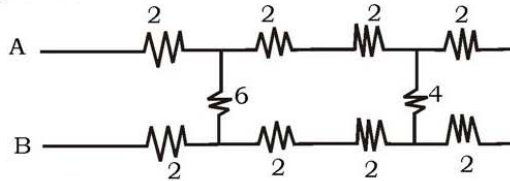
- c. Maka:  $i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = 4 \text{ A}$

$$\begin{aligned} V_1 &= i_1 R_1 & V_3 &= i_3 R_3 \\ &= 4 \times 4 & &= 4 \times 7 \\ &= 16 \text{ V} & &= 28 \text{ V} \\ V_2 &= i_2 R_2 & V_4 &= i_4 R_4 \\ &= 4 \times 6 & &= 4 \times 8 \\ &= 24 \text{ V} & &= 32 \text{ V} \end{aligned}$$

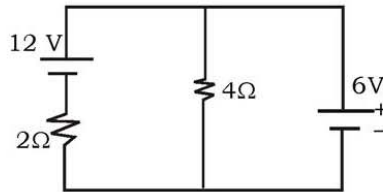
## Latihan 8.2

- Delapan lampu dihubungkan seri melintasi jalur 200 V.
  - Berapa tegangan yang melintasi setiap lampu?
  - Jika arus sebesar 0,4 A, berapa hambatan dan disipasi daya masing-masing lampu?
- Delapan lampu dihubungkan paralel ke sumber 220 V oleh dua kawat dengan hambatan total 2  $\Omega$ . Jika arus 250 mA mengalir melalui setiap lampu, berapa hambatan masing-masing? Dan berapa bagian dari daya total yang terbuang pada kawat-kawat tersebut?

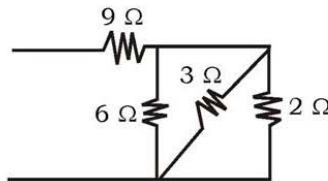
3. Hitung hambatan listrik antara titik A dan titik B pada rangkaian!



4. Hitung energi yang timbul tiap detiknya dalam tahanan 2 ohm.



5. Hitung hambatan pengganti untuk rangkaian di bawah ini!



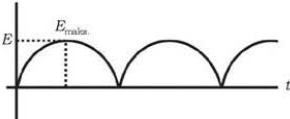
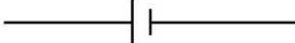
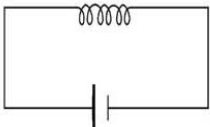
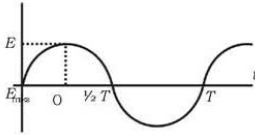

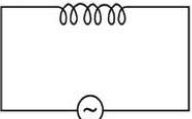
## F. Perbedaan Tegangan DC dengan AC dan Rangkaian Sederhana

Tahukah kalian, mengapa sumber arus tegangan tinggi selalu AC? Tahukah perbedaan sumber arus AC dengan DC?

### 1. Perbedaan Tegangan DC dan AC

Kalian mungkin tahu kepanjangan DC, yaitu *Direct Current* dan AC adalah *Alternating Current*. Keduanya berbeda arah arusnya, di mana DC adalah arus searah dan AC adalah arus bolak-balik. Berikut beberapa perbedaan tegangan DC dan AC.

**Tabel 8.4 Perbedaan Tegangan AC dan DC**

Tegangan DC	Tegangan AC
<p>a. Dapat dihasilkan oleh dinamo arus searah.</p> <p>b. Bentuk grafik yang dihasilkan osiloskop.</p>  <p>Dinamo arus searah</p> <p>c. Simbol tegangan:</p>  <p>d. Persamaan tegangan untuk induktor:  <math>V = V_{rata-rata}</math>  <math>R_L = 0</math></p> 	<p>a. Dapat dihasilkan oleh dinamo arus bolak-balik (altenator).</p> <p>b. Bentuk grafik yang dihasilkan osiloskop.</p>  <p>Dinamo arus bolak-balik</p> <p>c. Simbol tegangan:</p>  <p>d. Persamaan tegangan untuk induktor  <math>V = V_{maks.} \sin \omega t</math>  <math>R_L = X_L = \omega L</math></p> 

**2. Arus dan Tegangan Bolak-balik**

Arus dan tegangan bolak-balik adalah arus dan tegangan yang besarnya selalu berubah secara periodik.

**a. Persamaan dan Grafik Tegangan Bolak-balik**

Berikut ini adalah grafik tegangan bolak-balik dengan persamaan yang berlaku.

$$V = V_{maks.} \sin \omega t \qquad i = i_{maks.} \sin \omega t$$



dengan

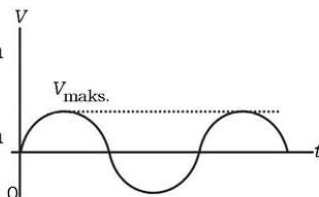
$V$  = tegangan yang selalu berubah terhadap waktu (volt)

$V_{\text{maks.}}$  = tegangan maksimum (volt)

$i$  = arus yang selalu berubah terhadap waktu (ampere)

$i_{\text{maks.}}$  = arus maksimum (ampere)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)



**Gambar 8.14** Grafik tegangan bolak-balik

### b. Nilai Efektif

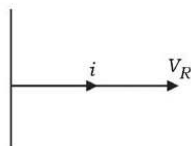
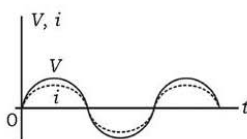
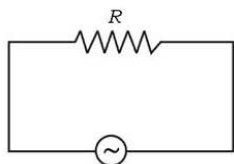
Angka yang ditunjukkan oleh alat ukur listrik merupakan nilai efektif dalam pengukuran.

$$V_{\text{ef.}} = \frac{V_{\text{maks.}}}{\sqrt{2}} = 0,707 V_{\text{maks.}}$$

$$i_{\text{ef.}} = \frac{i_{\text{maks.}}}{\sqrt{2}} = 0,707 i_{\text{maks.}}$$

Dengan osiloskop dapat ditentukan tegangan maksimum dan frekuensi bolak-balik.

### c. Rangkaian Hambatan Ohm (R) dengan Tegangan Bolak-balik



**Gambar 8.15** Rangkaian hambatan R

**Gambar 8.16** Grafik  $V, i$  terhadap waktu

**Gambar 8.17** Diagram fasor

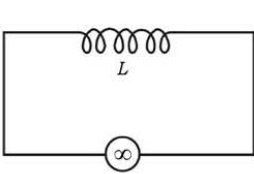
Dari grafik di atas, disimpulkan bahwa kuat arus listrik sefase dengan tegangan. Ditulis dengan persamaan:

$$V = V_{\text{maks.}} \sin \omega t \quad \text{dan} \quad i = i_{\text{maks.}} \sin \omega t$$

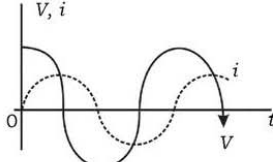
### 3. Induktor dalam Rangkaian Arus Bolak-balik

Di dalam rangkaian arus bolak-balik sering kita temui induktor.

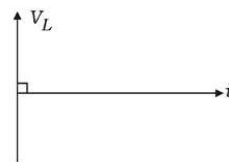
#### a. Rangkaian dan Grafik



Gambar 8.18 Rangkaian AC



Gambar 8.19 Grafik  $V, i$  terhadap waktu



Gambar 8.20 Diagram fasor

Dari grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa kuat arus berbeda fase  $90^\circ$  terhadap tegangan, dengan tegangan mendahului kuat arus. Ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = V_{maks.} \sin \omega t \quad \text{dan} \quad i = i_{maks.} \sin (\omega t - \pi/2)$$

#### b. Reaktansi Induktif ( $X_L$ )

Persamaannya adalah:  $X_L = \omega L$

dengan

$X_L$  = reaktansi induktif (ohm)

$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad s}^{-1}$ )

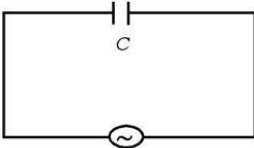
$L$  = induktansi diri (Henry = H)

Persamaan kuat arusnya:  $i_{maks.} = \frac{V_{maks.}}{X_L}$

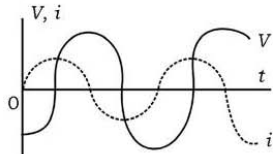
### 4. Kapasitor dalam Rangkaian Arus Bolak-balik

Di samping induktor, di dalam rangkaian AC juga terdapat kapasitor.

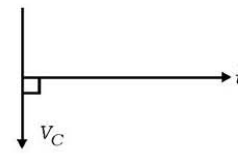
#### a. Rangkaian dan Grafik



Gambar 8.21 Rangkaian AC



Gambar 8.22 Grafik  $V, i$  terhadap waktu



Gambar 8.23 Diagram fasor

Dari grafik di atas, disimpulkan bahwa kuat arus berbeda fase  $90^\circ$  terhadap tegangan, dengan tegangan tertinggal dari kuat arus. Ditulis dengan persamaan:

$$V = V_{\text{maks.}} \sin \omega t \quad \text{dan} \quad i = i_{\text{maks.}} \sin (\omega t + \pi/2)$$

### b. Reaktansi Kapasitas ( $X_C$ )

Sebuah kapasitor yang dipasang pada tegangan bolak-balik menghasilkan reaktansi kapasitif:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{dan} \quad i_{\text{maks}} = \frac{V_{\text{maks}}}{X_C}$$

dengan

$X_C$  = reaktansi kapasitif (ohm)

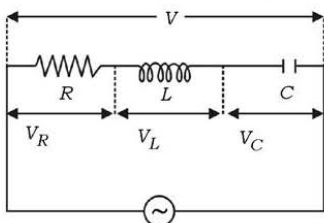
$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad s}^{-1}$ )

$C$  = kapasitas kapasitor (farad = F)

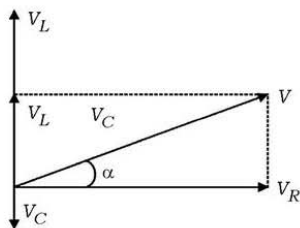
## 5. Rangkaian R, L, dan C Pada Tegangan Bolak-balik

Berikut ini akan kita pelajari secara jelas rangkaian sederhana dari gabungan R, L, dan C pada tegangan bolak-balik.

### a. Rangkaian dan Diagram Fasor



Gambar 8.24 Rangkaian R, L, dan C



Gambar 8.25 Diagram fasor

### b. Hubungan Tegangan

Dirumuskan:  $V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$

di mana:

$V$  = tegangan total pada rangkaian (volt)

$V_R$  = tegangan pada hambatan (volt)

$V_L$  = tegangan pada induktor (volt)

$V_C$  = tegangan pada kapasitor (volt)

**c. Hubungan Hambatan**

Dirumuskan: 
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

dengan

$Z$  = impedansi (hambatan total)

$R$  = hambatan (ohm)

$X_L$  = reaktansi induktif (ohm)

$X_C$  = reaktansi kapasitif (ohm)

**d. Fase dan Faktor Daya**

Beda fase antara tegangan dan kuat arus, ditunjukkan oleh sudut  $\alpha$  pada diagram fasor.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad \text{atau} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Faktor daya adalah: 
$$\cos \alpha = \frac{V_R}{V}$$

**e. Resonansi**

Pada rangkaian  $R$ ,  $L$ , dan  $C$  tegangan bolak-balik akan berlaku:

- 1) Rangkaian bersifat induktif, tegangan mendahului kuat arus, jika  $X_L > X_C$  (reaktansi induktif lebih besar dari reaktansi kapasitif)
- 2) Rangkaian bersifat kapasitif, tegangan mengikuti kuat arus, jika  $X_L < X_C$  (reaktansi induktif lebih kecil dari reaktansi kapasitif)
- 3) Terjadi resonansi seri, jika reaktansi induktif = reaktansi kapasitif,  $\operatorname{tg} \alpha = 0$ , akibat impedansi sama dengan hambatan murni ( $R$ ).

$$X_L = X_C \quad \text{atau} \quad \omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{dan} \quad Z = R$$

Frekuensi resonansi pada arus bolak-balik:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

## 6. Daya pada Arus Bolak-balik

Pada daya arus bolak-balik dapat terjadi 2 daya, antara lain:

- Daya semu, dirumuskan:  $P = V i$
- Daya sesungguhnya, dirumuskan:  $P = V i \cos \alpha$

### Latihan 8.3

- Berapa arus puncak pada resistor  $3,2 \text{ k}\Omega$  yang dihubungkan ke sumber AC  $120 \text{ V}_{rms}$ ?
- Sebuah tegangan AC, yang nilai puncaknya  $220 \text{ V}$ , melintasi resistor  $330 \Omega$ . Berapa nilai rms dan arus puncak pada resistor?
- Berapa disipasi daya sesaat oleh, dan arus maksimum yang melewati, sebuah setrika  $60 \text{ watt}$  yang terhubung ke sumber daya AC  $240 \text{ V}$ ?

## G. Energi Listrik dan Daya Listrik

Dengan mengamati dan memahami alat-alat listrik di rumahmu, misalnya setrika listrik, lampu listrik, televisi, radio, kipas angin, dan lain-lainnya, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

- Apakah listrik merupakan salah satu bentuk energi?
- Jika listrik merupakan salah satu bentuk energi, semestinya dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain? Sebutkan 5 contoh perubahan bentuk energi listrik masing-masing dengan alatnya! Misalnya pada radio, energi listrik diubah menjadi energi suara.
- Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok. Jelaskan!

### 1. Energi Listrik

Perubahan energi listrik menjadi kalor dalam suatu hambatan sebanding dengan waktu dan kuadrat kuat arus. Ditulis dengan persamaan

$$W = i^2 R t$$

Oleh karena  $V = i R$ , dapat ditulis:

$$W = V i t$$

Oleh karena  $i = \frac{V}{R}$ , maka  $W$  dapat ditulis:  $W = \frac{V^2}{R}t$

dengan  $W$  dinyatakan dalam joule,  $V$  dalam volt,  $i$  dalam ampere,  $R$  dalam ohm dan  $t$  dalam sekon.

## 2. Daya Listrik

Pada waktu di SMP kamu telah memahami bahwa daya adalah energi tiap satuan waktu. Hal ini juga berlaku pada energi listrik. Besarnya daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t} ; P = \frac{i^2 R t}{t}$$

$$P = i^2 R \quad \text{atau} \quad P = \frac{V^2}{R} \quad \text{atau} \quad P = Vi$$

$P$  = daya, diberi satuan watt (W) atau voltampere (VA) atau .....

Satuan yang lebih besar adalah kilowatt =  $10^3$  watt.

Satuan energi listrik sering dinyatakan dalam kWh (kilowatthour).

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 10^3 \times 3600 \text{ wattsekon} \\ &= 3,6 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

Karena energi listrik sebanding dengan waktu maka untuk menghemat pemakaian energi listrik, kita hendaknya menggunakan seperlunya saja (dimatikan jika tidak digunakan). Dalam sebuah rumah pemakaian energi listrik dibatasi dengan alat (sekering). Jika pemakaian daya listrik lebih besar daripada daya yang ditentukan maka sekering akan putus.

### Contoh Soal 8.6

Sebuah rumah menggunakan 5 lampu masing-masing 40 W dan sebuah televisi 100 W. Rata-rata sehari semalam lampu digunakan 10 jam dan televisi selama 15 jam. Jika tarif listrik Rp 100,00 per kWh, berapakah rekening yang harus dibayar selama satu bulan (30 hari)?

#### Penyelesaian:

Diketahui: 5 lampu @ 40 W  $t_{\text{lampu}} = 10$  jam  
 1 televisi = 100 W  $t_{\text{televisi}} = 15$  jam  
 tarif Rp100,00 perKWh

Ditanya: rekening 1 bulan (30 hari)?

Jawab:

$$\begin{aligned} 5 \text{ lampu} &= 5 \times 40 \times 10 \times 30 \\ &= 60.000 \text{ watt.jam} \end{aligned}$$

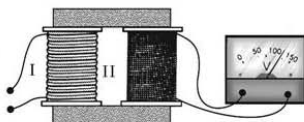
$$\begin{aligned} 1 \text{ televisi} &= 1 \times 100 \times 15 \times 30 \\ &= 45.000 \text{ watt.jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang dipakai selama 1 bulan} & \\ &= 60.000 + 45.000 \\ &= 105.000 \text{ watt.jam} \\ &= 105 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rekening yang harus dibayar selama satu bulan} & \\ &= 105 \times \text{Rp } 100,00 \\ &= \text{Rp } 10.500,00. \end{aligned}$$

## H. Transformator

Dalam kehidupan sehari-hari, khususnya alat-alat yang ada kaitannya dengan listrik, ada salah satu alat yang dinamakan transformator atau trafo. Apakah kamu sudah mengenal trafo? Bagaimanakah cara kerja dari trafo?



Sumber Zat dan Energi

Gambar 8.26 Transformator

Tegangan listrik yang tersedia di rumah kita 220 volt, seandainya alat listrik kita hanya memerlukan tegangan 60 volt maka kita perlu alat untuk menurunkan tegangan, begitu pula sebaliknya. Apabila alat kita membutuhkan tegangan listrik yang lebih tinggi daripada tegangan yang tersedia maka harus kita naikkan, tegangan itu. Alat untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik disebut transformator atau sering disebut trafo.

### 1. Cara Kerja Trafo

Transformator hanya bekerja pada arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*), tidak dapat bekerja pada arus searah atau DC (*Direct Current*). Transformator terdiri dari teras besi, pada teras besi ini digulung dua lilitan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan, kumparan sekunder dihubungkan dengan alat listriknya (misalnya kulkas).

Berdasarkan fungsinya dibedakan 2 jenis trafo, yaitu:

- Trafo *step-up*, digunakan untuk menaikkan tegangan. Jumlah lilitan sekunder  $N_2$  lebih banyak dari jumlah lilitan primer ( $N_1$ ).
- Trafo *step-down*, digunakan untuk menurunkan tegangan. Jumlah lilitan primer ( $N_1$ ) lebih banyak dari pada jumlah lilitan sekunder ( $N_2$ ).

Jika tegangan pada kumparan primer  $V_1$  dan tegangan pada kumparan sekunder  $V_2$  diperoleh hubungan:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

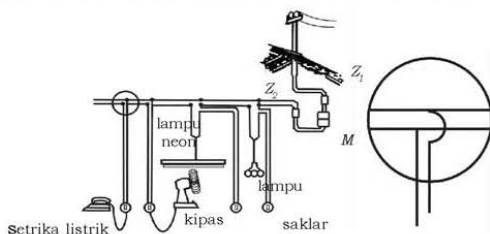
Persamaan di atas menunjukkan pengaruh banyaknya lilitan yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan.

## 2. Cara Mentransmisikan Daya Listrik

Dari suatu pembangkit listrik yang berada pada suatu tempat yang jauh, listrik dialirkan melalui penghantar, sebelumnya tegangan listrik dinaikkan dengan transformator *step-up*. Hal ini dilakukan agar kuat arus menjadi kecil, sehingga energi yang terbuang melalui penghantar menjadi kecil. Jika listrik telah sampai di kota yang dituju tegangan diturunkan lagi dengan bantuan transformator *step-down*, di Indonesia yang masuk rumah menjadi 220 volt.

## 3. Jaringan Listrik di Rumah

Untuk keperluan pemakaian listrik dalam rumah, arus listrik masuk ke dalam rumah melalui suatu kawat ke sekering pertama ( $Z_1$ ). Dari sana arus masuk ke dalam alat pengukur Wh, (M). Dari M arus listrik melalui sekering  $Z_2$  masuk ke jaringan listrik di dalam rumah. Dari sana barulah arus listrik dialirkan ke alat listrik, yang terpasang secara paralel. Perhatikan gambar 8.27!



Sumber: Zat dan Energi

Gambar 8.27 Skema jaringan listrik dalam rumah



### Contoh Soal 8.7

Sebuah transformator dengan kumparan primer 1.000 lilitan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik 220 volt. Jika kumparan sekunder terdiri dari 500 lilitan, berapakah tegangan sekunder yang dihasilkan?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $V_1 = 220$  volt  
 $N_1 = 1.000$  lilitan  
 $N_2 = 500$  lilitan

Ditanya:  $V_2 = \dots ?$

Jawab

$$\begin{aligned} V_1 : V_2 &= N_1 : N_2 \\ 220 : V_2 &= 1.000 : 500 \end{aligned}$$

$$V_2 = \frac{220 \times 500}{1.000} = 110 \text{ volt}$$

Jadi, tegangan sekunder yang dihasilkan sebesar 110 volt.

### Latihan 8.4

1. Kumparan primer suatu trafo memiliki lilitan 420 lilitan dan sekundernya 12 lilitan. Apakah jenis trafo ini dan, dengan asumsi efisiensi 100%. Berapa faktor perubahan tegangannya dan faktor perubahan arusnya?
2. Sebuah transformator dirancang untuk mengubah tegangan 120 V menjadi 10.000 V, dan kumparan primernya 6000 lilitan. Berapa jumlah lilitan sekundernya, jika efisiensinya dianggap 100%?
3. Tegangan keluaran dari sebuah trafo 100 dan 12 V dan arus masukannya 10 A.
  - a. Jenis trafo ini adalah step up atau step down?
  - b. Berapa faktor kelipatan tegangannya?

## Rangkuman

1. Arus listrik adalah gerakan muatan listrik. Arus listrik mengalir dari tempat yang berpotensi tinggi ke tempat yang berpotensi rendah.
2. Hukum ohm menyatakan bahwa kuat arus yang mengalir dalam suatu hambatan, jika suhu dibuat tetap adalah:
  - a. Sebanding dengan tegangan pada ujung-ujung penghantar.
  - b. Berbanding terbalik dengan hambatannya

$$i = \frac{V}{R} \text{ atau } V = i R$$

3. Hambatan jenis suatu kawat penghantar dirumuskan

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

4. Hukum Kirchoff I menyatakan jumlah kuat arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang meninggalkan titik percabangan.
5. Hukum Kirchoff II menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup jumlah gaya gerak listrik ( $\text{ggl} = E$ ) sama dengan jumlah beda potensial pada rangkaian itu.

$$\Sigma E + \Sigma i R = 0$$

6. Pada rangkaian hambatan listrik ada 2 jenis rangkaian yaitu

- a. Rangkaian seri  $R_s = R_1 + R_2 + R_3$

- b. Rangkaian paralel  $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

7. Sumber tegangan ada 2 jenis sumber tegangan AC (*Alternatif Current*) adalah sumber tegangan dihasilkan oleh dinamo arus bolak-balik yang kedua sumber tegangan DC (*Direct Current*) yang dapat dihasilkan dari dinamo bolak-balik.
8. Frekuensi resonansi pada arus bolak-balik.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

9. Perubahan energi listrik menjadi kalor dalam suatu hambatan sebanding dengan waktu dan kuadrat kuat arus, dirumuskan:

$$W = I^2 R t$$

10. Daya adalah energi tiap satuan waktu, dapat dirumuskan

$$P = \frac{W}{t}$$

11. Transformator adalah alat untuk menaikkan dan menurunkan tegangan.

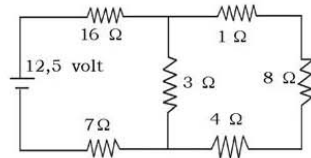
## Evaluasi

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

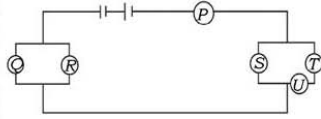
1. Hambatan paling besar yang dapat diperoleh dari kombinasi 4 buah hambatan yang masing-masing besarnya 10 ohm, 20 ohm, 25 ohm dan 50 ohm adalah . . . .
- a. 2 ohm
  - b. 4,76 ohm
  - c. 25 ohm
  - d. 50 ohm
  - e. 105 ohm

2. Gambar di samping menunjukkan rangkaian arus searah. Beda potensial pada hambatan 4 ohm adalah . . . .

- a. 0,5 V
- b. 1,0 V
- c. 1,5 V
- d. 2,0 V
- e. 8 V

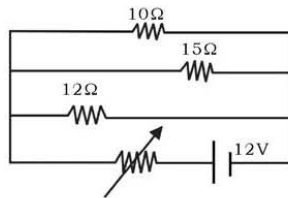


3. Enam buah lampu dipasang di dalam rangkaian listrik seperti di samping. Semua lampu memiliki kesamaan (daya dan tegangan yang tertulis). Di antara lampu-lampu tersebut yang menyala paling terang ialah . . . .



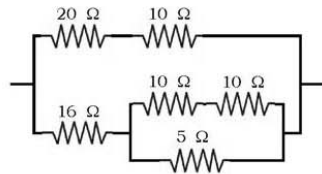
- a. P  
b. Q  
c. R  
d. S  
e. T dan U
4. Jika arus 4 ampere mengalir dalam kawat yang ujungnya berselisih 12 volt maka besar muatan per menit yang mengalir melalui kawat . . . .
- a. 4 coulomb  
b. 12 coulomb  
c. 60 coulomb  
d. 120 coulomb  
e. 240 coulomb

5. Tiga buah lampu pijar dengan hambatan masing-masing  $10\ \Omega$ ,  $15\ \Omega$ ,  $12\ \Omega$ , dipasang paralel. Ketiga lampu akan menyala sepenuhnya pada beda tegangan 9 volt. Jika untuk menyalakan sepenuhnya lampu-lampu itu digunakan sumber arus dari 12 volt hambatan dalam 1 W maka diperlukan sebuah potensiometer yang dipasang seri dengan sumber tegangan. Hambatan potensiometernya adalah . . . .



- a. 3 ohm  
b. 4 ohm  
c. 6 ohm  
d. 5 ohm  
e.  $1/3$  ohm
6. Arus listrik dari PLN yang sampai ke rumah-rumah bertegangan 220 V, tegangan tersebut adalah . . . .
- a. tegangan minimum  
b. tegangan efektif  
c. tegangan rata-rata  
d. tegangan maksimum  
e. tegangan puncak ke puncak

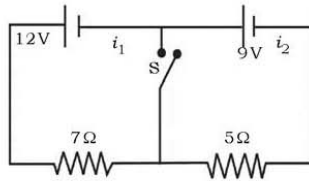
7. Besarnya frekuensi resonansi atau suatu rangkaian LCR seri . . . .
- berbanding terbalik dengan LC
  - berbanding lurus dengan LC
  - berbanding terbalik dengan akar LC
  - berbanding lurus dengan akar C/L
  - berbanding lurus dengan akar L/C
8. Hambatan lampu besar pada mobil yang mempunyai daya 30 W yang dirancang dengan tegangan untuk 12 V adalah . . . .
- 3  $\Omega$
  - 3,2  $\Omega$
  - 4  $\Omega$
  - 4,8  $\Omega$
  - 5  $\Omega$
9. Besarnya nilai hambatan total pada gambar di samping . . . .
- 50  $\Omega$
  - 65  $\Omega$
  - 71  $\Omega$
  - 45  $\Omega$
  - 58  $\Omega$
10. Pemanas listrik menarik 15 A pada jalur 120 V. Daya yang digunakan pemanas tersebut adalah . . . .
- 500 W
  - 700 W
  - 1.000 W
  - 1.500 W
  - 1.800 W



**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

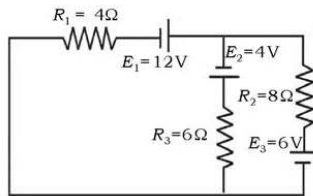
- Sebuah kumparan dipasang pada tegangan DC 110 V memberikan kuat arus 0,275 A. Jika dipasang pada sumber arus bolak-balik pada tegangan yang sama memberikan 0,22 A. Jika kecepatan sudut sumber tegangan 100 rads<sup>-1</sup>, hitunglah induksi kumparan tersebut!

2. Perhatikan gambar di bawah ini!



Tentukan  $i_1$ ,  $i_2$ , dan  $i_3$  bila:

- S ditutup!
  - S dibuka!
3. Suatu alat pemanas yang menggunakan listrik mempunyai hambatan 1.000 ohm dan khusus dipakai untuk beda potensial 120 V. Alat ini dipakai untuk memanaskan air 40 kg, sehingga suhu naik 40°C. Tentukan waktu yang diperlukan!
4. Perhatikan gambar di bawah ini!



Tentukan kuat arus pada masing-masing cabang!

5. Hitunglah hambatan total pada sebuah rangkaian seri yang terdiri dari hambatan 4 kΩ, kumparan 4 H, dan kapasitor 1 mikrofarad yang dipasang pada sumber tegangan bolak-balik dengan frekuensi sudutnya 100 rads<sup>-1</sup>!

## Aplikasi

**“Ayo tumbuhkan keingintahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh.”**

Tanpa kita sadari listrik memberikan manfaat yang sangat besar bagi kehidupan sehari-hari. Dengan listrik pula perkembangan teknologi sekarang ini berkembang sangat pesat. Dari mulai digunakan untuk penerangan sampai penggunaan alat-alat elektronik yang canggih. Semua itu tidak terlepas dari jasa para penemu listrik antara lain Alessandro Volta, Thomas Alfa Edison dan masih banyak lagi. Untuk menambah pengetahuan buatlah artikel tentang sejarah perkembangan listrik. Bagaimana listrik dapat dihasilkan dan manfaat apa saja yang dapat kita rasakan. Kemudian kumpulkan pada guru!

# Bab IX

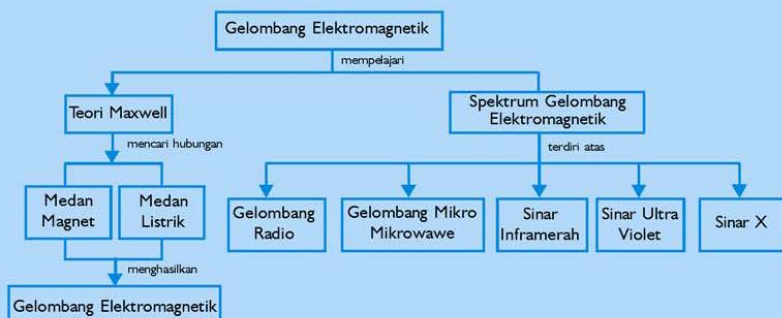
## Gelombang Elektromagnetik

Sumber gambar: Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 9

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan spektrum gelombang elektromagnetik dan mengaplikasikan gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Medan magnet
2. Medan listrik
3. Gelombang
4. Frekuensi



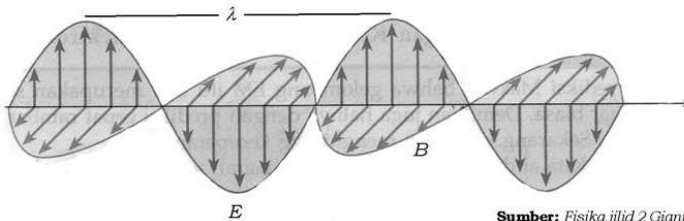


**Sumber gambar:** Ilmu Pengetahuan  
Populer Jilid 9

**Gambar:** Radar

Setiap hari kita pasti mendengarkan radio, melihat televisi bahkan dengan telepon genggam kita menerima dan mengirim SMS dari teman, mungkin juga dengan internet kita dapat mencari informasi terkini. Yang menjadi pertanyaan, dengan perantara apa, suara, gambar, tulisan dari seberang sana dapat sampai pada kita. Untuk menjawabnya kita ikuti pembahasan berikut.

## A. Teori Gelombang Elektromagnet Maxwell



Gambar 9.1 Penjalaran gelombang elektromagnetik

Sumber: Fisika jilid 2 Giancoli

Faraday mengemukakan, bahwa perubahan medan magnet  $\vec{B}$  dapat menimbulkan medan listrik  $\vec{E}$  yang arahnya tegak lurus terhadap arah medan magnet  $\vec{B}$ . Terdorong oleh suatu keyakinan bahwa aturan-aturan alam semesta ini sederhana dan rapi, **James Clark Maxwell (1831 - 1879)** mengambil suatu kesimpulan jika perubahan  $\vec{B}$  dapat menimbulkan  $\vec{E}$ , sudah seharusnya perubahan  $\vec{E}$  dapat menimbulkan  $\vec{B}$  yang juga tegak lurus terhadap arah medan listrik  $\vec{E}$ .

Apabila proses ini dapat berjalan terus-menerus, sehingga mendapatkan proses yang berantai dari pembentukan medan magnet dan medan listrik yang menjalar ke segala jurusan didapat suatu gelombang yang oleh Maxwell dihipotesiskan sebagai gelombang elektromagnetik.

Gambar 9.1 melukiskan perambatan gelombang elektromagnetik pada arah sumbu z. Pada rambatan gelombang elektromagnetik,  $E$  selalu tegak lurus terhadap  $B$  dan keduanya saling tegak lurus arah rambat gelombang, lihat gambar 9.1. Penjalaran gelombang elektromagnetik dapat melalui ruang hampa dan membawa energi,  $S$ , yang merupakan produk antara medan listrik  $E$  dan medan magnet  $B$  melalui hubungan:

$$S = \frac{1}{\mu_0} EB$$

dengan  $\mu_0$  adalah permeabilitas ruang hampa,  $\mu_0 = 12,6 \times 10^{-6} \text{ T m/A}$ .

Kecepatan merambat  $c$  dari gelombang ini hanya bergantung pada dua besaran, yaitu permitivitas listrik  $\epsilon_0$  dan permeabilitas magnet  $\mu_0$  dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

di mana  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  coulomb/newton  $m^2$  dan nilai  $\mu_0 = 12,6 \times 10^{-6}$  weber/ampere. Dengan memasukkan kedua parameter tersebut ke persamaan kedua diperoleh nilai  $c = 3 \times 10^8$   $ms^{-1}$ . Besarnya nilai  $c$  sama dengan nilai kecepatan cahaya.

Gelombang elektromagnet Maxwell dapat menunjukkan gejala-gejala refraksi, refleksi, difraksi, dan polarisasi seperti yang ditemui pada gelombang cahaya. Oleh karena itu, Maxwell mempunyai cukup alasan untuk menyatakan bahwa cahaya tidak lain adalah gelombang elektromagnetik.

Betapapun indahna hipotesis Maxwell, namun tetap tidak akan diterima sebelum ada eksperimen yang sanggup menguji kebenaran ramalan-ramalannya. Baru beberapa tahun setelah Maxwell meninggal dunia, **Heinrich Rudolph Hertz (1857 – 1894)**, seorang fisikawan Jerman, untuk pertama kali berhasil melakukan eksperimen yang dapat menunjukkan gejala perambatan gelombang elektromagnetik.

## Saintis

### Heinrich Rudolph Hertz (1857 – 1894)

Georg Simon Ohm, ahli Fisika Jerman. Pada 1826, Ohm melakukan percobaan mengenai hambatan. Pada suatu rangkaian listrik. Dalam percobaan tersebut, Ohm menyimpulkan bahwa kuat



listrik sebanding dengan beda potensial yang diberikan dan terbanding terbalik dengan hambatan rangkaian. Hal ini dikenal sebagai hukum Ohm. Ohm juga merumuskan bahwa hambatan listrik suatu bahan berbanding lurus dengan panjang bahan, berbanding terbalik dengan luas penampang bahan, dan bergantung kepada jenis bahan tersebut. Namanya diabadikan sebagai satuan hambatan listrik, yaitu Ohm.

(Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar)

## Latihan 9.1

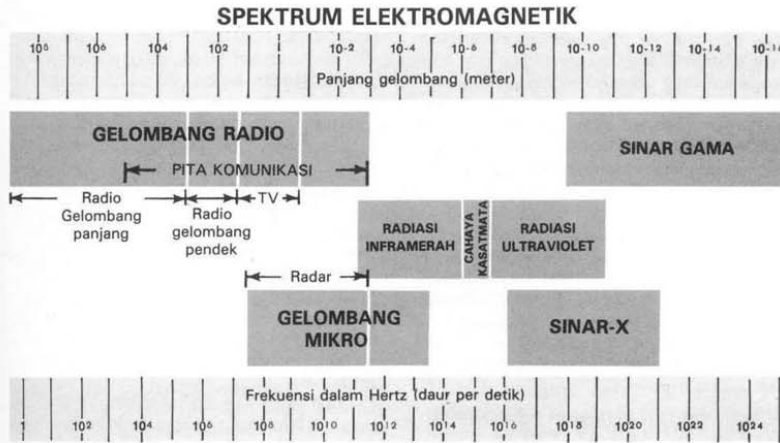
Dengan menggunakan persamaan  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ , buktikan bahwa

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

## B. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik memiliki daerah frekuensi yang sangat lebar. Dari kenyataan yang kita hadapi sehari-hari, sifat fisis gelombang elektromagnetik berbeda satu sama lain, bergantung pada daerah frekuensinya. Misalnya frekuensi gelombang radio sangat berbeda dengan frekuensi gelombang cahaya.

Dari perbedaan jenis detektor yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gelombang elektromagnetik, orang dituntut untuk mengklasifikasikan jenis-jenis gelombang elektromagnetik walaupun pembatasannya tidak tegas, tetapi terasa keberadaannya. Di bawah ini dituliskan pembagian gelombang elektromagnetik beserta contoh penggunaannya. (lihat gambar 9.2).



Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer

Gambar 9.2 Spektrum gelombang elektromagnetik

Sumber pembangkit:

1. Sinar  $\gamma$  dari sinar kosmis dan dari perubahan-perubahan radioaktif.
2. Sinar X dihasilkan oleh tumbukan elektron-elektron pada logam-logam bermassa tinggi.
3. Sinar ultraungu ditimbulkan oleh lampu busur, bunga api listrik, tabung lucutan, lampu air raksa, dan sinar matahari.
4. Sinar inframerah ditimbulkan oleh atom-atom yang bergetar.
5. Radar ditimbulkan oleh gelombang radio dan rangkaian elektron.

## 1. Gelombang Radio

Gelombang radio banyak digunakan dalam sistem pembicaraan jarak jauh yang tidak menggunakan kawat penghantar. Dalam sistem ini orang menumpangkan gelombang audio (suara) pada gelombang radio yang disebut modulasi gelombang. Modulasi amplitudo (AM) membawa frekuensi antara 535-1605 kHz. Frekuensi 30-535 kHz digunakan dalam maritim untuk komunikasi dan navigasi dalam dunia penerbangan.

Frekuensi batas atas dari AM dan batas bawah VHF secara umum disebut wilayah gelombang pendek (penamaan secara historis). Frekuensi ini merupakan bagian dari frekuensi radio atau RF. Frekuensi antara 1605 kHz – 54 MHz mempunyai kegunaan ganda dalam bidang komunikasi, lihat tabel 9.1.

### Info Sains

Gelombang radio berkisar dari kira-kira 1 milimeter sampai beberapa kilometer panjangnya. Radar, oven mikrogelombang (mikrowave), televisi, dan radio menggunakan gelombang yang berbeda-beda. Gelombang radio juga dihasilkan oleh banyak bintang dan kumpulan bintang, dan dapat dideteksi dengan menggunakan teleskop khusus. Deretan radio teleskop di New Mexico ini bekerja bersama-sama mengumpulkan gelombang dari benda-benda yang jauh sekali.



Sumber: Jendela Iptek 2

**Tabel 9.1 Gelombang Pendek**

Frekuensi	Kegunaan
1605 kHz-30 MHz	Radio amatir, radio pemerintah, penyiaran gelombang pendek, komunikasi pada instansi-instansi tertentu
30-50 MHz	Pemerintah dan non pemerintah, instansi tertentu, misal: polisi, jalan tol, kebakaran dan pelayanan kereta api
50-54 MHz	Amatir

RF antara 40 – 50 MHz adalah frekuensi yang penting dalam dunia kedokteran yaitu peralatan seperti *nuclear magnetic resonance (NMR)* dan *magnetic resonance imaging (MRI)*, lihat tabel 9.2 di bawah ini!

**Tabel 9.2 Frekuensi Televisi dan Radio FM**

Frekuensi (MHz)	Kegunaan
54-72	VHF TV channel 2-4
72-76	Pemerintah dan non pemerintah
76-88	VHF TV channel 5-6
88-108	Radio FM dan VHF TV channel 6-7
108-122	Navigasi dunia penerbangan termasuk lokalisasi dan kontrol penerbangan
122-174	Layanan umum baik pemerintah maupun non pemerintah, yang bersifat khusus
174-216	VHF TV channel 7-13
216-470	Layanan khusus, misalkan navigasi penerbangan
470-890	UHF TV channel 14-83
890-3000	Penerbangan, studio pemancar
1300-1600	Radar

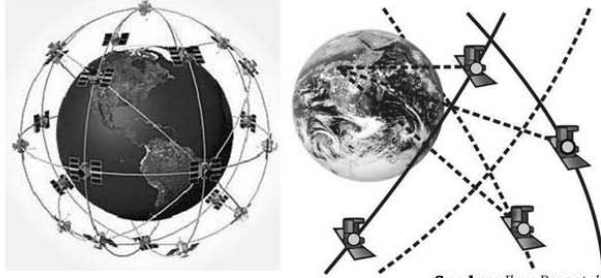
Tabel 9.1 dan tabel 9.2 menunjukkan variasi gelombang radio dan pengaturan penggunaan frekuensi tersebut.

### Aksi Fisika

**“Ayo kembangkan wawasan lingkungan lokal/ pengalaman sehari-hari”**

Tentunya kalian sering mendengarkan siaran radio, bukan? Ada berapa banyak pemancar radio di kota kalian? Jika kalian menemukan dua pemancar radio yang menggunakan frekuensi dan daerah operasional yang sama, apa yang akan terjadi pada siaran radio yang kalian dengar. Beri argumentasi dan analisis kalian terhadap kejadian tersebut!

Kalian mendengarkan radio yang pada gelombang tertentu ada suara yang terganggu oleh pemancar lain, bukan? Mengapa ini bisa terjadi? Oleh karena itu, pemerintah perlu mengatur penggunaan frekuensi pada setiap pemancar sehingga tidak terjadi gangguan dalam penyiarannya.



Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer

**Gambar 9.3** GPS dikendalikan dari stasiun bumi di Colorado, USA

Pertanyaan berikutnya adalah bagaimana cara rambatan gelombang radio atau televisi yang dipancarkan oleh suatu pemancar sampai ke pesawat radio atau televisi kalian yang ada di rumah? Pernahkah kalian mendengar satelit? Pesawat ini sangat membantu dalam hal menerima dan memancarkan kembali ke pesawat penerima yaitu radio atau televisi. Pada tahun 1993 kurang lebih ada penempatan 24 satelit ke dalam orbit yang dilengkapi jaringan kerja untuk memberikan berbagai data ke lokasi-lokasi di bumi pada jarak sekitar 30 m. Penempatan satelit ini dikenal sebagai *Global Positioning System (GPS)*, lihat gambar 9.3! Keduapuluhempat satelit ini dikendalikan di station bumi di Colorado, USA. Penempatan pada orbit sekitar 17,7 juta meter di atas bumi dengan periode orbit 10 jam. Gambar 9.3, sebelah kanan memberikan informasi bahwa *signal* atau data yang dikirimkan ketiga satelit dapat menentukan lokasi keberadaan kalian. Inilah teknologi yang perlu kalian renungi dan pelajari di masa mendatang, bukan?

## 2. Gelombang Mikro (*Microwaves*)

Tabel 9.2 menunjukkan bahwa penggunaan frekuensi Radar, 1.300 – 1.600 MHz, sebagian besar pemakaian gelombang mikro berkisar antara 3.000 – 30.000 MHz (3 – 30 GHz). Perambatan gelombang ini harus dipandu dalam tabung (*waveguides*) sehingga persoalan rangkaian tidak sama dengan rangkaian gelombang radio. Selain digunakan untuk komunikasi, juga pada sistem RADAR, yaitu suatu sistem peralatan yang besar peranannya dalam dunia perhubungan. Gelombang mikro dan gelombang radio ini sering disebut pula sebagai gelombang Hertzian. Peralatan rumah tangga yang menggunakan sistem gelombang ini adalah mikrowave oven, frekuensi 2450 MHz. Sedang untuk penelitian adalah penentuan panjang dan sudut ikatan molekul.

### 3. Sinar Inframerah

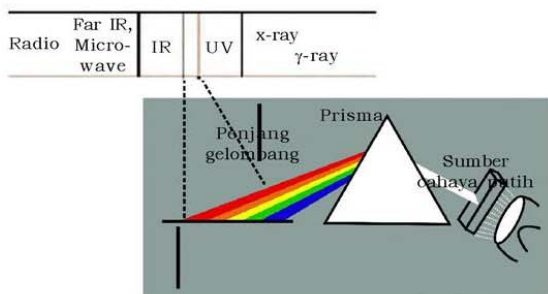
Pernyataan inframerah mengacu pada jangkauan frekuensi yang melebar, mulai ujung atas frekuensi ini digunakan untuk komunikasi dan melebar ke frekuensi rendah (merah) yaitu spektrum cahaya tampak. Panjang gelombang dari 1 mm sampai 750 nm. Spektrum yang dekat dengan cahaya tampak disebut *near infrared* dan panjang gelombang yang lebih besar disebut *far infrared*. Interaksi dengan materi akan menimbulkan getaran molekul. Selain itu sering pula digunakan untuk alat penginderaan rahasia atau penginderaan malam hari.

### 4. Cahaya Tampak

Cahaya tampak merupakan karunia Tuhan Yang Maha Esa yang langsung terasa oleh makhluk di bumi, karena dengan cahaya tampak, manusia dengan matanya sebagai detektor dapat menikmati keindahan alam semesta melalui indra penglihatan. Suatu yang menarik adalah spektrum cahaya tampak, lihat gambar 9.4, jika dipandu dengan cara diputar dengan kecepatan tinggi akan menghasilkan warna putih. Sebaliknya cahaya putih jika dilewatkan melalui prisma akan terdispersi menjadi spektrum cahaya tampak (gambar 9.5). Interaksi dengan suatu materi, cahaya tampak akan bekerja untuk mengeksitasi elektron ke tingkat yang lebih tinggi.



Gambar 9.4 Spektrum cahaya tampak



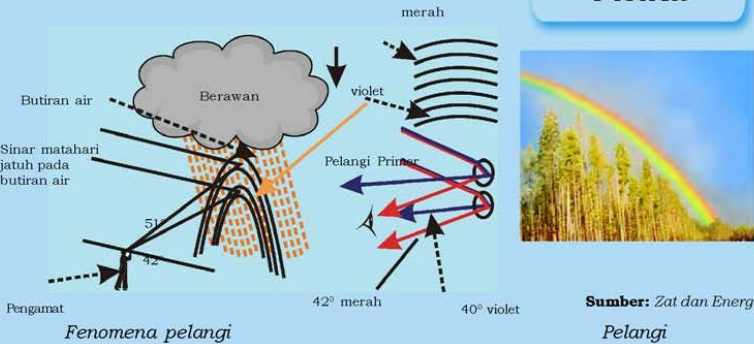
Sumber: Zat dan Energi

Gambar 9.5 Dispersi cahaya putih



**“Ayo Kembangkan wawasan lingkungan global/  
semesta kalian”**

## Dimensi Fisika



Pastinya kalian pernah melihat fenomena alam pelangi yang biasanya muncul setelah terjadi hujan. Dapat kalian lihat gambar di bawah ini. Apa yang terjadi pada fenomena alam seperti warna pelangi di langit. Analisislah dan beri argumentasi kalian tentang fenomena pelangi dan mengapa warna merah pada pelangi berada paling atas!

### 5. Sinar Ultraviolet

Menurut pengamatan, energi yang dibawa oleh sinar ultraviolet mampu merusak, bahkan membunuh jasad yang sederhana berupa kuman dan jasad renik yang lain. Karenanya sering dipakai sebagai sterilisasi. Terhadap struktur kimia tertentu sinar ultraviolet mampu merusak komposisi, sehingga berubah sama sekali. Sebagai contoh, polimer yang banyak di kenal dengan sebutan sensitif terhadap sinar ultraviolet. Pada beberapa jenis di atas, rantai atau sambungan antara molekul-molekulnya dapat putus bila terkena sinar ultraviolet. Sifat ini dipakai untuk membantu pembuatan *Integrated Circuit (IC)*, yaitu keping bahan semikonduktor yang dapat mengandung rangkaian elektronik kompleks.

Bagi dunia kesehatan sinar ultraviolet yang langsung mengenai kulit kita akan diserap dan mengeksitasi elektron ke tingkat yang lebih tinggi, dan bahkan mampu mengionisasi akibatnya kulit kita mudah terbakar dan memicu timbulnya kanker kulit. Oleh karena itu, lapisan ozon yang ada di lapisan stratosfer pada atmosfer bumi sangat membantu untuk menahan masuknya sinar ultraviolet ke permukaan bumi, dikarenakan ozon mampu menyerap sinar ultraviolet.

## 6. Sinar X

Nama yang diberikan kepada sinar X berkaitan dengan daya tembus yang sangat tinggi yang mana keluar dari hasil interaksi elektron dengan kecepatan tinggi menumbuk sebuah logam. Dalam waktu yang relatif singkat dari saat penemuannya banyak digunakan untuk fasilitas kesehatan khususnya untuk pengambilan citra dari patah tulang. Sekarang sudah diketahui secara umum bahwa sinar X dihasilkan oleh sinar-sinar kosmik. Jika berkas elektron dengan kecepatan tinggi tiba-tiba diperlambat, sinar X yang dihasilkan disebut radiasi bremsstrahlung, sinar X juga dihasilkan oleh kelompok logam berat saat adanya transisi elektron menyebabkan adanya beda energi, sinar X yang dihasilkan disebut radiasi karakteristik sinar X.

Sinar X termasuk radiasi ionisasi dan non ionisasi. Radiasi ionisasi mempunyai pengaruh fisiologi yang tidak bisa diamati langsung dan radiasi non ionisasi seperti terjadinya mutasi atau kanker dalam jaringan tubuh.

Penggunaan sinar X sangat luas, dalam dunia kesehatan antara lain, pengambilan citra untuk keperluan diagnosa yaitu pada energi 20-120 keV dan terapi pembunuhan sel-sel kanker pada energi 2 - 4 MeV. Dalam dunia industri antara lain untuk mencari keretakan atau kebocoran logam dan struktur pada bahan-bahan semikonduktor. Untuk keperluan keamanan di antaranya pengambilan citra barang-barang dalam bagasi, bahan obat-obatan yang terlarang bisa diketahui unsur-unsur dengan menggunakan pola difraksi. Sinar gamma ( $\gamma$ ) dan sinar X adalah sinar foton yang sumbernya berbeda. Sinar ini dihasilkan oleh unsur atom yang tidak stabil.

### Latihan 9.2

1. Pemancar Radio Bravo bekerja pada 95,1 kHz, apa maksudnya?
2. Kependekan dari apakah LASER dan RADAR?
3. Kamu mempunyai telepon genggam, termasuk daerah frekuensi yang mana?
4. Jelaskan mengapa makin tinggi frekuensi gelombang elektromagnetik makin besar daya tembusnya!

## Rangkuman

1. Teori Maxwell tentang gelombang elektromagnetik menyatakan jika perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, dan sudah seharusnya perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet yang juga tegak lurus.
2. Kecepatan merambat  $c$  dari gelombang ini hanya bergantung pada dua besaran yaitu permitivitas listrik  $\epsilon_0$  dan permeabilitas magnet  $\mu_0$  sehingga dirumuskan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

3. Spektrum elektromagnetik terdiri dari gelombang-gelombang EM dengan variasi panjang gelombang yang luas, mulai dari gelombang mikro dan gelombang radio hingga cahaya tampak, sinar X, dan sinar  $\gamma$ , yang semuanya merambat di ruang hampa dengan kecepatan  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ .

## Evaluasi

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

1. Yang merupakan hipotesis Maxwell adalah . . . .
  - a. di sekitar kawat penghantar timbul medan magnet
  - b. di sekitar benda bermuatan listrik timbul medan listrik
  - c. perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik
  - d. perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet
  - e. penghantar yang bergerak di dalam medan magnet menimbulkan GGL induksi
2. Yang merupakan sifat gelombang elektromagnet adalah . . . .
  - a. dapat difraksikan tetapi tidak dapat dipolarisasikan
  - b. dapat dipolarisasikan tetapi tidak dapat berinterferensi
  - c. dapat berinterferensi dan dapat dipolarisasikan
  - d. dapat membelok di dalam medan magnet
  - e. dapat membelok di dalam medan listrik

3. Urutan gelombang elektromagnet yang mempunyai frekuensi rendah ke frekuensi tinggi adalah . . . .
- gelombang radio-cahaya tampak-sinar X
  - gelombang radio-sinar gamma-sinar X
  - cahaya tampak-sinar gamma-sinar X
  - sinar X-sinar gamma-cahaya tampak
  - gelombang televisi-gelombang radio-gelombang gaya bolak-balik
4. Cahaya tampak adalah gelombang elektromagnetik yang dapat diamati oleh mata manusia. Yang panjang gelombangnya . . . .
- di bawah  $2.000\text{\AA}$
  - di antara  $1.000\text{\AA} - 3.000\text{\AA}$
  - di antara  $2.000\text{\AA} - 4.000\text{\AA}$
  - di antara  $4.000\text{\AA} - 6.500\text{\AA}$
  - di atas  $7.000\text{\AA}$
5. Jika  $\epsilon_0$  adalah permitivitas listrik dan  $\mu_0$  permeabilitas magnet dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ruang hampa maka diperoleh hubungan . . . .
- $c = \epsilon_0 \mu_0$
  - $c = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
  - $c = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}$
  - $c = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$
  - $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
6. Di bawah ini yang merupakan sifat gelombang elektromagnetik, **kecuali** . . . .
- dapat merambat di ruang hampa
  - merupakan gelombang transversal
  - dapat mengalami polarisasi, pemantulan, pembiasan dan interferensi
  - arah perambatan tidak dibelokkan baik pada medan magnet maupun medan listrik
  - merupakan gelombang longitudinal

7. Kuat medan listrik maksimum sebesar  $\pi \times 10^{-2} \text{ NC}^{-1}$  merambat tegak lurus terhadap medan magnet  $8 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2}$ . Jika  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb A}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Besarnya intensitas gelombang elektromagnetik rata-rata adalah . . . .
  - a.  $500 \text{ Wm}^{-2}$
  - b.  $1.000 \text{ Wm}^{-2}$
  - c.  $2.000 \text{ Wm}^{-2}$
  - d.  $2.100 \text{ Wm}^{-2}$
  - e.  $2.300 \text{ Wm}^{-2}$
8. Sinar gamma, infra merah, sinar X dan gelombang radar adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai kesamaan dalam hal . . . .
  - a. frekuensi
  - b. panjang gelombang
  - c. fase
  - d. cepat rambat di ruang hampa
  - e. amplitudo
9. Gelombang elektromagnetik di bawah ini yang mempunyai panjang gelombang paling besar adalah . . . .
  - a. gelombang radio
  - b. sinar X
  - c. sinar gamma
  - d. sinar ultraviolet
  - e. sinar inframerah
10. Cahaya merah, kuning dan hijau semuanya merupakan gelombang elektromagnetik dengan kecepatan cahaya . . . .
  - a. merah paling cepat
  - b. kuning paling cepat
  - c. hijau paling cepat
  - d. sama cepat
  - e. semua jawaban salah

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

1. Sebuah pemancar radio menggunakan gelombang dengan frekuensi 2,1 Mega hertz. Hitung panjang gelombangnya!
2. Apa perbedaan gelombang elektromagnetik dengan gelombang mekanik?

3. Selang waktu antara saat pulsa radar dipancarkan dengan saat pulsa diterima dari sebuah pesawat terbang adalah  $2 \times 10^{-3}$  s. Hitung jarak antara pesawat ke pemancar radar!
4. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik, sedangkan gelombang radio juga gelombang elektromagnetik. Apa sebabnya mata normal tidak dapat mengamati gelombang radio?
5. Jelaskan cara gelombang televisi dari siaran di Jakarta sampai kota-kota terpencil di seluruh Indonesia!

## Aplikasi

***“Kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh”***

Untuk menambah wawasan dan pengetahuan kalian tentang gelombang elektromagnetik buatlah klipings yang ada hubungannya dengan gelombang elektromagnetik yang dapat kamu peroleh dari koran, majalah, internet, dan lain-lainnya.

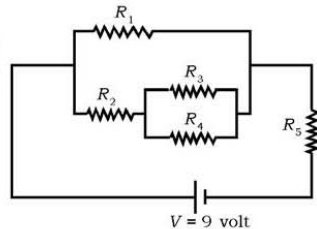
## Evaluasi Semester Genap

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

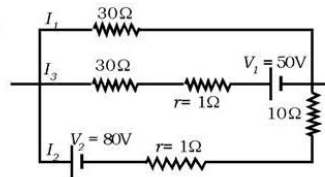
- Benda yang tingginya 2 cm diletakkan 15 cm dari cermin cekung yang radius kelengkungannya 40 cm. Jarak bayangan benda tersebut adalah . . . .
  - 24 cm dibelakang cermin
  - 24 cm di depan cermin
  - 60 cm di belakang cermin
  - 60 cm di depan cermin
  - 80 cm di belakang cermin
- Bayangan sebatang kayu 8 cm diletakkan 2 m dari lensa kamera dengan fokusnya 50 mm. Ukuran batang kayu sebenarnya adalah . . . .
  - 3,50 cm
  - 4,13 cm
  - 4,96 cm
  - 5,13 cm
  - 6,67 cm
- Teleskop memiliki diameter 80 cm. Lensa objektif memiliki panjang fokus 15 m dan lensa okuler memiliki panjang fokus 10 cm. Daya perbesaran total teleskop tersebut adalah . . . .
  - 80 kali
  - 120 kali
  - 120 kali
  - 50 kali
  - 150 kali
- Besar kuat lensa kaca mata yang dipakai seorang miopi yang jauhnya 2,5 m adalah . . . .
  - 0,5 D
  - 10
  - 0,40
  - 0,2 D
  - 0,4 D
- Sebuah panci yang terbuat dari aluminium dengan berat 1kg dipanaskan dari 10°C hingga 80°C. Jika kalor spesifik almunium 900, kg<sup>-1</sup>C<sup>-1</sup>. Besar kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu panci adalah . . . .
  - 9 kJ
  - 45 kJ
  - 63 kJ
  - 68 kJ
  - 72 kJ

6. 3 kg air pada  $20^{\circ}\text{C}$  dimasukkan ke dalam air tersebut sepotong es dengan berat 0,5 kg pada  $-10^{\circ}\text{C}$ . Suhu campuran terakhir, jika diketahui kalor jenis untuk air  $4186 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}$  kalor jenis es  $2100 \text{ jkg}^{-1}\text{C}$ , dan kalor laten air  $333 \text{ kg}^{-1}$  adalah . . .
- $4,8^{\circ}\text{C}$
  - $5,1^{\circ}\text{C}$
  - $6,7^{\circ}\text{C}$
  - $8,1^{\circ}\text{C}$
  - $10^{\circ}\text{C}$
7. Untuk mengubah 1 kg air pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  menjadi es dengan suhu  $-10^{\circ}\text{C}$ . Jika diketahui kalor jenis air  $4186 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}$ , kalor jenis es  $2100 \text{ J kg}^{-1}\text{C}$  dan kalor laten air  $333 \text{ kJkg}^{-1}$ . Energi yang diperlukan untuk menjadi es adalah . . .
- 731,8 kJ
  - 579,65 kJ
  - 437,65 kJ
  - 354 kJ
  - 125,65 kJ
8. Perpindahan panas pada alat oven dengan cara . . . .
- konduksi
  - konveksi
  - rambat gelombang elektromagnet
  - getaran molekul zat
  - perpindahan molekul zat

9. Gambar di samping jumlah hambatan total jika diketahui  $R_1 = 30\Omega$ ,  $R_2 = 9\Omega$ ,  $R_3 = 10\Omega$ ,  $R_4 = 15\Omega$ ,  $R_5 = 20\Omega$  adalah . . . .
- $15\Omega$
  - $18\Omega$
  - $20\Omega$
  - $25\Omega$
  - $30\Omega$



10. Pada gambar di samping arus yang melewati  $I_3$  adalah . . . .
- 1,60 A
  - 4,01 A
  - 2,90 A
  - 5,66 A
  - 7,27 A

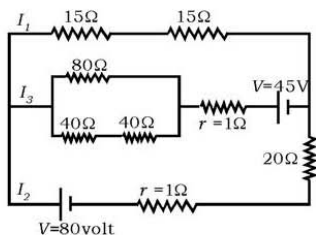




11. Televisi dapat menarik arus sebesar 10 A pada tegangan 120 V. Jika Televisi tersebut dinyalakan 6 jam setiap hari. Besarnya biaya perbulan (30 hari), jika PLN menghargai Rp 125 per kWh adalah . . . .
- Rp 27.000,00
  - Rp 25.000,00
  - Rp 21.000,00
  - 20.000,00
  - 19.500,00
12. Sebuah kawat yang dialiri arus tetap sebesar 2 A selama 5 menit. Besar muatan yang mengalir pada rangkaian kawat tersebut adalah . . . .
- 120 C
  - 240 C
  - 480 C
  - 600 C
  - 800 C
13. Stasiun radio menyiarkan acaranya pada gelombang radio FM frekuensi 90,2 MHz maka panjang gelombangnya adalah . . . .
- 29,8 m
  - 30,06 m
  - 32,6 m
  - 45,1 m
  - 90,2 m
14. Di bawah ini urutan yang benar pada spektrum elektromagnet
- Gelombang radio - sinar ultraviolet - sinar x - infra merah*
  - Gelombang mikro - cahaya tampak - sinar gama - sinar x*
  - Gelombang mikro - cahaya tampak - sinar x - sinar gamma*
  - Gelombang radio - cahaya tampak - sinar ultraviolet - sinar x*
  - Gelombang mikro - infra merah - sinar x - sinar ultraviolet*
- Dari panjang gelombang yang tinggi ke rendah adalah . . . .
- 1, 2 dan 3
  - 2 dan 4
  - 3, 4 dan 5
  - 3 saja
  - semua salah
15. Teori Maxwell memprediksi bahwa gelombang elektromagnet ( $EM$ ) transversal dapat dihasilkan melalui percepatan muatan listrik, dan gelombang-gelombang ini akan merambat melalui ruang dengan laju cahaya, yang dirumuskan dengan . . . .
- $S = \frac{EB}{\mu_0}$
  - $S = \frac{E_0 B_0}{2\mu_0}$
  - $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
  - $C = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
  - $C = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

- Dua lensa cembung, dengan fokus  $f_1 = 20$  cm dan  $f_2 = 25$  cm. Jarak lensa pertama 2 lensa kedua 80 cm. Sebuah benda diletakkan 60 cm di depan lensa pertama.
  - Tentukan posisi benda di lensa pertama!
  - Tentukan bayangan akhir yang dibentuk kombinasi kedua lensa!
  - Perbesarannya!
- Sebuah kaca pembesar atau lup dengan lensa cembung mempunyai titik fokus 8 cm.
  - Berapa perbesaran mata saat rileks/fokus tak hingga?
  - Berapa perbesarannya jika mata fokus pada titik dekatnya  $N = 25$ ?
- Apabila  $150 \text{ cm}^3$  kopi dengan suhu  $90^\circ\text{C}$  dituangkan ke dalam air bermassa 150 gram pada  $25^\circ\text{C}$ . Berapa suhu akhir campuran jika kesetimbangan tercapai dengan asumsi tidak ada kalor yang hilang? Jika diketahui kalor jenis air cair =  $4186 \text{ Jkg}^\circ\text{C}^{-1}$  dan kalor jenis gelas  $C_{\text{gelas}} = 840 \text{ Jkg}^\circ\text{C}^{-1}$ .
- Dari gambar di bawah ini tentukan arus  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$  untuk masing-masing cabang!



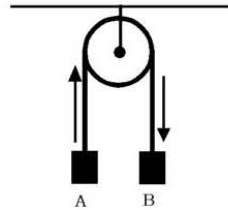
- Jelaskan bagaimana cara rambatan gelombang radio dan televisi yang dipancarkan oleh suatu pemancar sampai ke pesawat televisi atau radio!

## Evaluasi Akhir

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

- Diketahui resultan dua buah vektor 13 satuan. Jika besar vektor masing-masing 6 dan 7 satuan. Sudut antara resultan dengan vektor pertama adalah . . . .
  - $30^\circ$
  - $45^\circ$
  - $60^\circ$
  - $90^\circ$
  - $0^\circ$
- Seorang anak sedang bersepeda ke utara sejauh 600 meter kemudian ke selatan 300 meter. Perpindahan anak tersebut dihitung dari titik awal adalah . . . .
  - 30 m
  - 600 m
  - 900 m
  - 1200 m
  - 1800 m
- Di bawah ini dimensi daya yang benar adalah . . . .
  - $[M][L]^2[T]^{-3}$
  - $[M][L]^2[T]^{-3}$
  - $[M][L][T]^{-3}$
  - $[M][L]^{-1}[T]^{-3}$
  - $[M][L][T]^{-2}$
- Buah kelapa jatuh dari ketinggian 20 meter di atas tanah. Dengan kecepatan berapa kelapa tersebut sampai di tanah jika gravitasi bumi  $10 \text{ ms}^{-2}$  . . . .
  - $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
  - $15 \text{ ms}^{-2}$
  - $20 \text{ ms}^{-2}$
  - $30 \text{ ms}^{-2}$
- Bola jatuh dari ketinggian 125 m tanpa kecepatan awal. Percepatan jatuhnya bola setelah selang waktu 5 sekon adalah . . . .
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
  - $15 \text{ ms}^{-2}$
  - $20 \text{ ms}^{-2}$
  - $25 \text{ ms}^{-2}$
  - $30 \text{ ms}^{-2}$
- Sebuah sepeda motor berjalan dengan kecepatan awal  $v_0$ . Setelah 10 sekon, sepeda tersebut menempuh jarak 200 m jika kecepatan pada waktu itu  $30 \text{ ms}^{-1}$ . Percepatan sepeda tersebut adalah . . . .
  - $1 \text{ ms}^{-2}$
  - $2 \text{ ms}^{-2}$
  - $2,5 \text{ ms}^{-2}$
  - $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$

7. Sebuah batu dilempar dengan sudut elevasi  $30^\circ$  dan dengan kecepatan  $20 \text{ ms}^{-2}$ , pada ketinggian maksimum yang dapat dicapai batu tersebut adalah . . . .
- 15 m
  - 25 m
  - 5 m
  - 10 m
  - 20 m
8. Kincir angin raksasa bermassa 10 ton memiliki jari-jari 100 m dengan kecepatan kincir tersebut  $54 \text{ km/jam}$ . Gaya yang bekerja pada kincir angin tersebut adalah . . . .
- 5400 N
  - 15000 N
  - 22500 N
  - 36.000 N
  - 40.000 N
9. Pada gambar di samping adalah sebuah sistem katrol dengan massa benda A dan B masing-masing massanya 4 kg dan 12 kg, jika massa katrol yang digantung diabaikan. Percepatan benda-benda tersebut jika gravitasi  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$  adalah . . . .
- $20 \text{ ms}^{-2}$
  - $16 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
  - $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $2,5 \text{ ms}^{-2}$
10. Sebuah benda dijatuhkan dari atas bidang miring yang licin dengan kemiringan bidang  $30^\circ$ . Percepatan benda tersebut jika  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$  dan massa benda 6 kg adalah . . . .
- $20 \text{ ms}^{-2}$
  - $-10 \text{ ms}^{-2}$
  - $10 \text{ ms}^{-2}$
  - $5 \text{ ms}^{-2}$
  - $-5 \text{ ms}^{-2}$
11. Laju cahaya yang melewati sebuah kolam jika indeks bias air = 1,33 adalah . . . .
- $2,25 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
  - $1,24 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
  - $2,25 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$
  - $1,4 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$
  - $2,5 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$
12. Di mana lilin harus diletakkan agar lensa cekung dengan panjang fokus 25 cm membentuk bayangan maya yang terletak 20 cm di depan lensa . . . .
- 25 cm
  - 50 cm
  - 100 cm
  - 150 cm
  - 200 cm

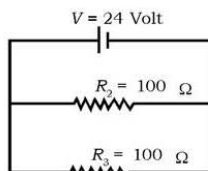


13. Mata akan melihat benda dengan jelas apabila terbentuk bayangan . . . .
- sejati, tegak di retina
  - sejati, terbalik di retina
  - maya, tegak di retina
  - maya, terbalik di retina
  - maya, tegak di lensa mata
14. Besar kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebuah tungku besar 720 kJ. Jika tungku mempunyai berat 20 kg, dan tungku besi tersebut dipanasi pada suhu akhir 90°C. Tungku tersebut mulai dipanasi pada suhu . . . .
- 0°C
  - 5°C
  - 10°C
  - 15°C
  - 20°C
15. Benda yang berwarna hitam lebih mudah menyerap panas daripada benda berwarna putih sebab . . . .
- konduktivitas benda hitam lebih tinggi
  - konveksivitas benda hitam lebih tinggi
  - emisivitas benda hitam lebih tinggi
  - tetapan stefan benda hitam lebih tinggi
  - konduktivitas benda putih lebih tinggi
16. Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 2°C pada 0,5 gram air adalah . . . .
- 4 kal
  - 3 kal
  - 2 kal
  - 1 kal
  - 0,5 kal

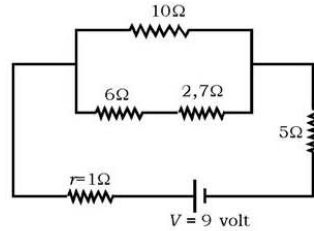
17. Sebuah rangkaian listrik digambar seperti gambar di samping.

Dari gambar tersebut arus yang melewati rangkaian tersebut sebesar . . . .

- 0,12 A
- 0,24 A
- 0,36 A
- 0,42 A
- 0,48 A



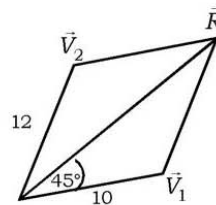
18. Pada gambar di samping besar tegangan terminal baterai adalah . . . .
- 8,13 V
  - 8,24 V
  - 8,53 V
  - 8,6 V
  - 9V



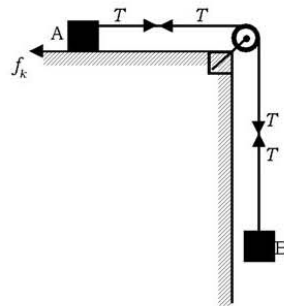
19. Kelajuan radiasi dari Matahari mencapai bumi sebesar  $1350 \text{ Js}^{-1}\text{m}^{-2}$ . Jika diasumsikan bahwa hanya terdapat satu gelombang EM. Nilai maksimum yang dicapai medan elektromagnet adalah . . . .
- $5670 \text{ Vm}^{-1}$
  - $7500 \text{ Vm}^{-1}$
  - $8090 \text{ Vm}^{-1}$
  - $1010 \text{ Vm}^{-1}$
  - $1210 \text{ Vm}^{-1}$
20. Kelajuan energi yang dibawa oleh gelombang elektromagnet dipengaruhi oleh, **kecuali** . . . .
- medan magnet
  - panjang gelombang
  - medan listrik
  - cepat rambat cahaya
  - permeabilitas ruang hampa

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan singkat dan tepat!**

1. Dua buah vektor seperti gambar yang masing-masing memiliki besar 10 dan 12 satuan saling mengapit sudut  $45^\circ$ . Hitung:
- Resultan vektor!
  - Sudut antara resultan dengan vektor pertama!



2. Pengendara sepeda motor melaju dengan kecepatan 72 km/jam. Karena sudah dekat dengan lampu merah ia memperlambat sepeda tersebut. Apabila jarak lampu lalu lintas 50 m. Hitung
  - a. Perlambatan yang harus diberikan agar ia dapat tepat berhenti di depan lampu lalu lintas tersebut!
  - b. Kecepatan pada saat 3 sekon setelah pengereman!
  
3. Seorang akan melempar buah mangga yang ada pada koordinat (50,8) dengan sebuah batu dengan sudut  $37^\circ$  ke arah sasaran tersebut dari pusat koordinat. Berapakah kecepatan yang diberikan agar batu tepat mengenai buah mangga?
  
4. Balok A dan B dihubungkan dengan seutas tali melalui sebuah katrol seperti pada gambar. Koefisien gesekan kinetik antara balok A dan meja,  $\mu_k = 0,2$ . Dengan mengabaikan massa katrol dan tali. Jika massa A dan B masing-masing 30 kg dan 20 kg. Hitung!
  - a. Jauh balok B akan jatuh dalam waktu 4 sekon setelah sistem dilepas!
  - b. Besar tegangan tali!



7. Air raksa padat mempunyai massa 1000 gram dengan titik leleh  $-39^{\circ}\text{C}$  dimasukkan dalam kalorimeter aluminium dengan massa 500 gram berisi 1300 gram air pada suhu  $20^{\circ}$ , suhu akhir campuran diperbolehkan  $16^{\circ}\text{C}$ . Berapa kalor fusi air dalam kkal  $\text{kg}^{-1}$ ? Jika diketahui kalor spesifik air raksa  $0,033 \text{ kkal kg}^{-1}\text{C}^{-1}$  aluminium  $0,22 \text{ kkal kg}^{-1}\text{C}^{-1}$  dan kalor spesifik air  $1 \text{ kkal kg}^{-1}\text{C}^{-1}$ .

8. Dari gambar di samping tentukan arus untuk masing-masing cabang yaitu  $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5,$  dan  $i_6$ ! Jika diketahui:

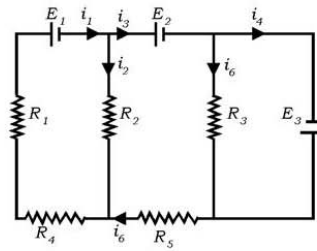
$$R_1 = 15\Omega, R_2 = 20\Omega,$$

$$R_3 = 30\Omega, R_4 = 30\Omega \text{ dan}$$

$$R_5 = 15\Omega$$

$$E_1 = 12 \text{ volt}, E_2 = 6 \text{ volt dan}$$

$$E_3 = 12 \text{ volt.}$$



9. Kapasitor memiliki ukuran pelat-pelatnya  $25 \times 3 \text{ cm}$  dan dipisahkan oleh udara sejauh  $0,1 \text{ cm}$ . Hitung:
- Kapasitansi kapasitor!
  - Muatan pada setiap pelat jika kapasitor tersebut dihubungkan baterai  $12\text{V}$ !
  - Medan listrik antara kedua pelat tersebut!
10. a. Jelaskan bagaimana teori Maxwell menerangkan tentang gelombang elektromagnet!
- b. Jelaskan spektrum elektromagnet terjadi dan sebutkan macam gelombang elektromagnetik dengan variasi panjang gelombangnya!



## Glosarium

**Alternating current.** Arus listrik bolak-balik.

**Angka eksak.** Angka pasti (aturan angka penting tidak berlaku pada angka eksak).

**Angka penting.** Jumlah angka taksiran dan angka pasti dalam suatu pengukuran dengan memperhatikan aturan yang berlaku.

**Ampere.** Lambang A. Satuan SI untuk arus listrik

**Amperemeter.** Alat untuk mengukur arus listrik.

**Arus ac.** (ac = alternating current atau arus bolak-balik) arus listrik yang arahnya senantiasa berbalik arah secara (periodik).

**Arus dc.** (dc = direct current) arus listrik yang arahnya selalu mengalir dalam satu arah.

**Arus listrik.** Aliran partikel-partikel bermuatan positif yang melalui konduktor (walau sesungguhnya elektron-elektron bermuatan negatiflah yang mengalir melalui konduktor). Arus listrik hanya mengalir dalam suatu rangkaian tertutup.

**Asas Black.** Kekekalan energi pada pertukaran kalor, kalor yang dilepas ( $Q_{lepas}$ ) sama dengan kalor diterima ( $Q_{diterima}$ )

**Berat.** Gaya berarah ke pusat bumi yang dikerjakan oleh bumi pada suatu benda.

**Besaran.** Segala sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka.

**Cahaya tampak.** Bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia.

**Cermin.** Permukaan yang memantulkan sebagian besar cahaya yang jatuh di atasnya.

**Cross product.** Perkalian silang dalam vektor.

**Direct current.** Arus listrik searah.

**Dot product.** Perkalian titik dalam vektor.

**Daya listrik.** Energi listrik per satuan waktu.

**Dimensi.** Dimensi suatu besaran menunjukkan cara besaran itu tersusun dari besaran-besaran pokok.

**Dinamika.** Cabang mekanika yang mempelajari gerakan benda-benda akibat gaya yang bekerja.

**Eksitasi elektron.** Proses terlepasnya elektron.

**Emisivitas.** Lambang  $e$ . Suatu ukuran seberapa besar pemancaran radiasi kalor suatu benda dibandingkan dengan hitam sempurna. Emisivitas tidak memiliki satuan, nilainya antara 0 dan 1 ( $0 < e < 1$ ) dan bergantung pada jenis zat dan keadaan permukaan.

**Energi kinetik.** Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya (kecepatannya).

**Energi listrik.** Energi yang disebabkan oleh alirnya muatan listrik dalam suatu rangkaian listrik tertutup.

**Energi potensial.** Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena ketinggiannya terhadap acuan.

**Frekuensi.** Banyak putaran yang dapat dilakukan oleh suatu titik materi pada benda yang berputar terhadap suatu poros tertentu, dalam selang waktu satu sekon.

**Gaya berat.** Gaya yang timbul akibat percepatan gravitasi.

**Gaya gesek.** Gaya yang melawan gerak pada suatu permukaan relatif satu sama lain. Arah gaya gesek berlawanan dengan kecenderungan arah gerak.

**Gaya normal.** Gaya yang berkerja pada bidang sentuh antara dua permukaan yang bersentuhan, yang arahnya selalu tegak lurus pada bidang sentuh.

**Gaya sentripetal.** Gaya yang bekerja pada sebuah benda yang mengakibatkan benda tersebut bergerak dengan lintasan melingkar.

**Gambar positif.** Gambar pada kertas film yang merupakan gambar dari benda yang diambil di depan kamera.

**Gambar negatif.** Plat film yang tidak pekat terhadap cahaya dan terlihat gambar pada plat film.

**Gelombang mikro.** Gelombang radio dengan frekuensi paling tinggi, di atas 3 GHz.

**Gelombang radio.** Gelombang yang dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang dipercepat melalui kawat-kawat penghantar. Gelombang radio dipancarkan dari antena dan diterima oleh antena pula.

**Gerak lurus.** Gerak dengan lintasan lurus.

**Gerak lurus beraturan.** Gerakan suatu benda dengan lintasan lurus dan mempunyai kecepatan tetap.

**Gerak lurus berubah beraturan.** Gerakan suatu benda dengan lintasan lurus dan kecepatan tetap disertai perubahan waktu.

**Gerak melingkar.** Hukum-hukum yang berhubungan dengan perputaran suatu benda mengelilingi suatu sumbu mirip dengan hukum-hukum pada gerak lurus. Lihat lintasan.

**Gerak melingkar beraturan.** Gerak suatu benda menempuh lintasan melingkar dengan kelajuan (atau besar kecepatan) tetap.

**Hambatan jenis.** Lambang  $\rho$ . Ukuran kemampuan bahan untuk melawan aliran listrik. Hambatan jenis atau resistivitas bahan diperoleh dari  $RA/L$ , dengan  $R$  adalah hambatan,  $L$  adalah panjang kawat, dan  $A$  adalah luas penampang.

**Hambatan listrik.** Lambang  $R$ . Ukuran perlawanan komponen terhadap aliran muatan listrik.

**Hipermotropi.** Rabun dekat. Pada cacat mata ini lensa mata tidak mampu berakomodasi secukupnya untuk membentuk bayangan benda-benda yang dekat pada retina.

**Hukum Newton.** Ada dua hukum gerak yang menjadi dasar mekanika Newton (I). Sebuah benda akan tetap bergerak seragam dalam lintasan garis lurus bila tidak dipengaruhi gaya luar. Jika sebuah benda memberikan gaya kepada benda lain, akan timbul gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah, yang disebut reaksi oleh benda kedua terhadap benda pertama.

**Hukum Kirchhoff.** Hukum yang berhubungan dengan rangkaian listrik, yang pertama kali dirumuskan oleh GR Kirchoff (1824 - 1887).

**Hukum Snellius.** Hukum pemantulan cahaya pada cermin.

**Hukum Stefan-Boltzmann.** Energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan hitam dalam bentuk radiasi kalor tiap satuan waktu.

**Jarak.** Panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak.

**Kapasitas kalor.** Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg dustu zat terbesar 1 K atau 1°C.

**Kalor.** Proses perpindahan energi dari suatu benda yang bergerak.

**Kalor jenis.** Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu satuan suhu pada zat yang massanya satu satuan.

**Kalorimeter.** Alat untuk mengukur kalor.

**Kelembaman.** Inersia.

**Kecepatan linear.** Kecepatan sesaat yang arahnya menyinggung lingkaran, disebut juga kecepatan tangensial.

**Kecepatan rata-rata.** Hasil bagi antara perpindahan dengan selang waktunya.

**Kecepatan sudut.** Lambang  $\omega$ . Laju pergeseran sudut terhadap waktu.

**Kinematika.** Cabang mekanika yang mempelajari gerak benda dengan mengabaikan gaya-gaya yang mengakibatkan gerak itu sendiri.

**Konduksi.** Perpindahan kalor melalui suatu bahan dari suatu daerah bertemperatur tinggi ke daerah lain yang bertemperatur rendah.

**Konduktivitas termal.** Ukuran kemampuan zat menghantarkan kalor.

**Konduktor.** Bahan yang memiliki konduktivitas yang tinggi, yakni mudah menghantarkan kalor.

**Konveksi.** Proses perpindahan kalor dari suatu bagian fluida ke bagian lain akibat pergerakan fluida itu sendiri.

**Kuat lensa.** Menggambarkan kemampuan lensa untuk mebiaskan cahaya.

**Koefisien gesek.** Angka gesek

**Komposisi.** Susunan

**Konduksi.** Perpindahan panas tanpa disertai perpindahan partikel zat.

**Konveksi.** Perpindahan panas yang diikuti perpindahan partikel zat.

**Lensa objektif.** Lensa yang dekat dengan benda yang diamati.

**Lensa okuler.** Lensa yang dekat dengan mata.

**Lensa.** Benda bening yang dibatasi oleh dua bagian bola.

**Lintasan.** Tempat posisi titik-titik yang dilalui oleh suatu benda yang bergerak. Jika lintasan tersebut garis lurus maka gerak benda disebut gerak lurus.

**Listrik dinamis.** Cabang dari ilmu listrik yang mempelajari tentang muatan-muatan listrik bergerak, yang menyebabkan munculnya arus.

**Listrik statis.** Cabang dari ilmu listrik yang mempelajari tentang muatan listrik yang diam.

**Massa.** Ukuran kelembaman suatu benda. Massa berkaitan dengan jumlah zat (materi) yang dikandung suatu benda

**Meter.** Satuan panjang, lambang m, Satu meter adalah jarak yang ditempuh cahaya (dalam vakum) dalam selang waktu  $1/299\,792\,458$  sekon.

**Miopi.** rabun jauh, tidak jelas melihat benda di kejauhan.

**Ohm.** Satuan hambatan.

**Optalmoskop.** Alat yang dipakai untuk memeriksa retina mata.

**Pembiasan cahaya.** Peristiwa pemantahan cahaya ketika cahaya mengenai bidang batas antara dua medium.

**Percepatan.** Lambang  $a$  perubahan kelajuan atau kecepatan.

**Percepatan rata-rata.** hasil bagi antara perubahan kecepatan benda dengan selang waktu berlangsungnya perubahan kecepatan tersebut.

**Percepatan sesaat.** Perubahan kecepatan yang berlangsung dalam waktu singkat.

**Periode.** Selang waktu yang diberikan oleh suatu titik materi pada benda yang berputar terhadap suatu poros tertentu, untuk menempuh satu putaran tertentu, untuk menempuh satu kali putaran (atau satu kali melingkar).

**Perpindahan.** Perubahan posisi (kedudukan) suatu partikel dalam suatu selang waktu tertentu.

**Presbiopi.** Rabun dekat hilangnya daya akomodasi pada mata usia lanjut yang umumnya mulai timbul pada usia 45-50 tahun.

**Radian.** Sudut pusat lingkaran yang panjang busurnya sama dengan jari-jari lingkaran.

**Radiasi.** Perpindahan panas (gelombang elektromagnet) tanpa zat perantara.

Radiasi inframerah. Sinar yang tidak dilihat tetapi dapat dideteksi di atas spektrum merah, yaitu daerah panjang gelombang  $10^{-4}$  cm sampai  $10^{-1}$  cm.

Rangkaian tertutup. Suatu rangkaian yang jalannya mulai dari suatu titik, berkeliling, dan akhirnya kembali lagi ke titik tersebut.

**Satuan Standar Internasional.** Satuan-satuan dari suatu besaran Fisika yang diakui secara internasional.

**Sekon.** Satuan SI dari waktu, lambang s.

**Sinar gamma.** Sinar dengan panjang gelombang antara  $10^{-15}$  cm sampai dengan  $10^{-10}$  cm.

**Sinar ultraviolet.** Sinar yang mempunyai frekuensi dalam daerah panjang gelombang  $10^{-8}$  cm sampai dengan  $10^{-7}$  cm.

**Sinar X.** Sinar dengan panjang gelombang sangat pendek, yaitu antara  $10^{-10}$  cm sampai  $10^{-6}$  cm.

**Skalar.** Besaran yang hanya memiliki besar (nilai) saja, misalnya panjang, massa, dan waktu.

**Teori kinetik.** Teori hasil karya Count Rumford (1753-1814), James Joule (1818-1889), dan James Clerk Maxwell (1831-1879), yang menjelaskan sifat-sifat fisis materi dalam bentuk gerakan partikel-partikel penyusunnya.

**Termometer.** Alat yang digunakan untuk mengukur suhu suatu badan.

**Titik dekat mata.** Titik paling dekat dari mata di mana suatu benda dapat diletakkan dan masih menghasilkan suatu bayangan tajam pada retina ketika mata berakomodasi maksimum.

**Titik jauh mata.** Titik paling jauh benda di mana mata yang tidak berakomodasi dapat memfokuskan benda.

**Titik triplice air.** Suatu kondisi di mana air, es, dan uap air berada dalam satu titik kesetimbangan (suhu dan tekanan sama).

**Transformator.** Alat untuk menaikkan dan menurunkan tegangan.

**Vektor.** Besaran yang baik besar dan arahnya harus dinyatakan.

**Voltmeter.** Alat untuk mengukur tegangan listrik.

## Daftar Pustaka

- Achelis, Elisabeth, et-all. 2000. Ilmu Pengetahuan Populer. Edisi Kedelapan, Jakarta: Grolier International. INC-PT Widyadara.
- Allonso, M and Finn, E.D. 1992. *Physics*. New York. Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Beiser, Arthur. 1962. *The Mainstream of Physics*. New York: Addison-Wesley Publishing Inc.
- Birsyam, M. 1992. *Hukum-Hukum Kekekalan dalam Mekanika*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Brigman, Roger. 2001. *Jendela Iptek Elektronika*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Buce, F.J. 1982. *Introductions to Physics for Scientist and Insights*. New York: Mc. Graw-Hill Book Company.
- Burnie, David, 2001. *Jendela Iptek Cahaya*. Jakarta: Balai Pustaka.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Jendela Iptek Jilid 3* Jakarta: Balai Pustaka.
- C.R. Nave. 2003. *Hyper Physics*. Atlanta: State George University, Atlanta.
- Depdikbud. 1996. *Fisika*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Gribbir, Marry John. 2001. *Jendela Iptek Ruang Waktu*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Dauglas, C.Giancolli. 1997. *Fisika Jilid 1*. Jakarta. PT Erlangga
- \_\_\_\_\_, 2001. *Fisika Jilid 2*. Jakarta: PT Erlangga.
- Kadiawarman. 1992. *Materi Pokok Fisika Dasar I*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Martona, Widiya Martana, Maryana. *Buku Materi Pokok I*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Mundiarto dkk. 1992. *Fisika Dasar I*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- \_\_\_\_\_. 1993. *Fisika I*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

- Suroso AY, Anna P, Kardiawarman. 2003. *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*. Jakarta: Tarity Samudra Berlian.
- Sears, F.W.et.all. 1983. *University Physics*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Serway. 1996. *Physics Philadelphia*. Saunder College Publishing, Philadelphia.
- Straley, J.W. 1984. *Basic Physics*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Sutrisno. 1983. *Seri Fisika Dasar*. Bandung: ITB.
- Syukur, Abdul,. dkk. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar* Jakarta: PT Ichtiar Baru Van Hoeve.
- Tanudidjoja, Moh. Ma'muk Tanudidjaja. 1993. *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Wahyana. 1985. *Buku Materi Pokok Fisika II*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Worall, Mary (ed). 2005. *Oxford Ensiklopedi Pelajar Edisi Indonesia*. Jakarta: CV Prima Printing.
- Zeilik, Gregory dan Smith. 1992. *Introductory Astronomy and Astrophysics*. New York: Saunders College Publishing.

# Indeks

## A

aksi reaksi 99  
ampere 195  
ampere (A) 195  
Amperemeter 19  
amperemeter 195  
angka eksak 10  
angka gesek 106  
angka pasti 9  
angka penting 9  
angka taksiran 9  
Anomali 172  
Anomali Air 173  
Arus Listrik 195  
Asas Black 185, 186  
Atwood 48  
Avogadro 175

## B

basicmeter 19, 195  
bayangan nyata 138  
Besaran 3  
Besaran Pokok 3  
Besaran Turunan 5  
bilangan Avogadro 175  
Boltzman 175

## C

cahaya tampak 241  
candela 5  
cermin cekung 125  
cermin cembung 126  
cermin datar 125

## D

daya akomodasi 134  
daya akomodasi 134  
Daya Listrik 222  
Diagram Fasor 220  
difraksi 243  
Dimensi 5  
dinamika gerak 89

## E

Emetrop 135  
Energi Listrik 222

## F

faktor daya 221  
far infrared 241  
Faraday 235  
Frekuensi 69  
freon 171  
friksi 106

## G

Galilei 149  
gambar negatif 139  
gambar positif 139  
Gas ideal 174  
gaya 90  
Gaya Berat 95  
Gaya Gesek 105  
Gaya normal 101  
gaya sentripetal 113  
gelombang elektromagnetik 235  
gelombang Hertzian 240  
Gelombang Mikro 240  
Gelombang Radio 238  
Gerak Lurus Beraturan 45 48  
Gerak Lurus Berubah Beraturan 52  
Gerak Melingkar Beraturan 69  
Giga 3  
Global Positioning System 240

## H

Hambatan jenis 203  
Hambatan listrik 201  
Hertz 236  
Hipermitropi 135  
Hukum boyle 174  
Hukum Boyle Gay Lussac 174  
Hukum Gay Lussac 174  
Hukum I Kirchoff 206  
Hukum I Newton 91  
Hukum II Kirchoff 209  
Hukum kekekalan energi 185  
Hukum ohm 200  
Hukum Stefan-boltzman 183  
Hukum Wideman-franz 178

## I

IBWM 4  
impedansi 221  
iris 132  
isolator 178



## J

Jajaran Genjang Vektor 31  
Jangka Sorong 16  
Jarak 29  
Jaringan Listrik 225  
Joule 161

## K

Kalor 161  
kalor beku 166  
kalor didih 166  
Kalor jenis 163  
kalor laten 166  
kalor lebur 166  
Kalorimeter 186  
Kamera 138  
kapasitas kalor 164  
Kecepatan 47  
Kecepatan Anguler 69  
Kecepatan linier 69  
Kecepatan Rata-rata 47  
Kecepatan Sesaat 47  
Kecepatan Tangensial 77  
Kelajuan 46  
kelvin 4  
Kesalahan Mutlak 14  
Kesalahan paralaks 13  
Kesalahan Relatif 14  
Kesalahan Sistematis 13  
kilogram 4  
Kirchoff 206  
koefisien gesek kinetik 107  
koefisien gesek statis 107  
koefisien konduksi termal 177  
koefisien muai 172  
Konduksi 176  
konduktivitas listrik 178  
konduktor termal 178  
Konveksi 180  
konveksi alamiah 181  
Konveksi Paksa 181  
Kornea mata 133  
kripton 4  
Kuat Arus 196  
Kuat lensa 131

## L

LASER 243  
Lemari Es 170  
Lensa mata 133  
lensa negatif 129  
lensa objektif 143  
lensa okuler 143

lensa positif 129  
Lorentz 178  
Lup 139

## M

Maxwell 235  
Mega 3  
Melebur 166  
Membeku 166  
mendidih 166  
Mengembun 166  
Menguap 166  
meter 4  
Mikro 4  
Mikrometer Sekrup 17  
Mikroskop 143  
Miopi 135  
mol 5  
Muai Luas 172  
Muai Panjang 172  
Muai Ruang 172  
muatan listrik 196  
Multimeter 19

## N

Nano 4  
near infrared 241  
neraca Ohaus 18  
Neraca sama lengan 18  
Newton 91  
Nilai efektif 218  
nonius 16  
nuklir 181

## O

Ohm 200  
Optalmoskop 151

## P

panas jeni 163  
panjang gelombang 244  
panjang tubus 144  
pelangi 243  
Pemuaian Gas 173  
Pengeringan Beku 171  
perbesaran anguler 141  
percepatan gravitasi 95  
percepatan radial 74  
percepatan rata-rata 53  
Percepatan Sentripetal 73  
Percepatan sesaat 54  
Percepatan Sudut 76  
Percepatan Tangensial 77

Periode 69  
perpindahan 29  
Piko 4  
Presbiopi 135  
punctum proximum 134  
punctum remotum 134  
Pupil 133Piko 3  
Presbiopi 104  
punctum proximum 103  
punctum remotum 103  
Pupil 102

## R

RADAR 240  
radian 70  
radiasi benda hitam 183  
radiasi bremsstrahlung 243  
radiator 181  
Reaktansi induktif 219  
Reaktansi kapasitas 220  
reaktor 181  
Resonansi 221  
Retina 134

## S

Satuan 3  
Segi Banyak Vektor 30  
Segitiga Vektor 30  
sekon 4  
shunt 195  
signal 240  
Sinar datang 125  
sinar foton 243  
Sinar gamma 243  
Sinar Inframerah 241  
Sinar Ultraviolet 242  
Sinar X 243  
skala tetap 17  
skala ulir 17

skalar 29  
stopping distance 107  
stopwatch 18  
Sudut datang 125  
Sudut Lihat 139  
sudut pantul 125  
Suhu 161  
Susunan Hambatan Paralel 212  
Susunan Hambatan Seri 211

## T

Tegangan AC 217  
Tegangan Bolak-balik 217  
Tegangan DC 217  
Tegangan tali 102  
tekanan 175  
temperatur 175  
Tera 3  
Teropong bias 146  
Teropong Bintang 146  
Teropong Bumi 148  
teropong Galilei 149  
Teropong Panggung 149  
Teropong Pantul 147  
titik dekat 134  
titik didih 166  
titik jauh 134  
Transformator 224  
transformator step-down 225  
transformator step-up 225

## V

Vektor 30  
vektor 29  
vernir 16  
Voltmeter 19

## W

Wideman-Franz 178

## Lampiran

Konstanta-konstanta Dasar			
Besaran	Simbol	Nilai Pendekatan	Nilai terbaik yang terakhir
Laju cahaya di ruang hampa	$c$	$3,00 \times 10^8$ m/s	$2,99792458 \times 10^8$ m/s
Konstanta Gravitasi	$G$	$6,67 \times 10^{-11}$ N·m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup>	$6,67259(85) \times 10^{-11}$ N·m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup>
Bilangan Avogadro	$N_A$	$6,02 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>	$6,0221367(36) \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>
Konstanta gas	$R$	$8,315$ J/mol·K = $1,99$ kal/mol·K = $0,082$ atm·liter/mol·K	$8,314510(70)$ J/mol·K
Konstanta Boltzmann	$k$	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	$1,380658(12) \times 10^{-23}$ J/K
Muatan elektron	$e$	$1,60 \times 10^{-19}$ C	$1,6021733(49) \times 10^{-19}$ C
Konstanta Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \times 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>	$5,67051(19) \times 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>
Permittivitas hampa udara	$\epsilon_0 = (1/c^2)\mu_0$	$8,85 \times 10^{-12}$ C <sup>2</sup> /N·m <sup>2</sup>	$8,854187817 \dots \times 10^{-12}$ C <sup>2</sup> /N·m <sup>2</sup>
Permeabilitas hampa udara	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A	$1,2566370614 \dots \times 10^{-6}$ T·m/A
Konstanta Planck	$h$	$6,63 \times 10^{-34}$ J·s	$6,6260755(40) \times 10^{-34}$ J·s
Massa diam elektron	$m_e$	$9,11 \times 10^{-31}$ kg = $0,000549$ u = $0,511$ MeV/c <sup>2</sup>	$9,1093897(54) \times 10^{-31}$ kg = $5,48579903(13) \times 10^{-4}$ sma
Massa diam proton	$m_p$	$1,6726 \times 10^{-27}$ kg = $1,00728$ u = $938,3$ MeV/c <sup>2</sup>	$1,6726231(10) \times 10^{-27}$ kg = $1,007276479(12)$ sma
Massa diam neutron	$m_n$	$1,6749 \times 10^{-27}$ kg = $1,008665$ u = $939,6$ MeV/c <sup>2</sup>	$1,6749286(10) \times 10^{-27}$ kg = $1,008664904(14)$ sma
Satuan massa atom (1 sma)		$1,6605 \times 10^{-27}$ kg = $931,5$ MeV/c <sup>2</sup>	$1,6605402(10) \times 10^{-27}$ kg = $931,49432(28)$ MeV/c <sup>2</sup>

Ditinjau oleh B.N. Taylor, National Institute of Standards and Technology.

Angka-angka dalam kurung menandakan simpangan baku ketepatan eksperimen pada digit-digit akhir. Nilai tanpa kurung adalah nilai eksak. (Yaitu, besaran yang terdefinisi)

### Konversi Satuan (Ekivalen)

#### Panjang

1 in. = 2,54 cm  
 1 cm = 0,394 in.  
 1 ft = 30,5 cm  
 1 m = 39,37 in. = 3,28 ft  
 1 mil = 5280 ft = 1,61 km  
 1 km = 0,621 mil  
 1 mil laut (U.S) = 1,15 mil = 6076 ft = 1,852 km  
 1 fermi = 1 femtometer (fm) =  $10^{-15}$  m  
 1 angstrom (Å) =  $10^{-10}$  m  
 1 tahun cahaya (ly) =  $9,46 \times 10^{15}$  m  
 1 parsec = 3,26 ly =  $3,09 \times 10^{16}$  m

#### Volume

1 liter (L) = 1000 mL = 1000 cm<sup>3</sup> =  $1,0 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> = 1,057 quart (U.S.) = 54,6 in.<sup>3</sup>  
 1 gallon (U.S.) = 4 qt (U.S.) = 231 in.<sup>3</sup> = 3,78 L = 0,83 gal (imperial)  
 1 m<sup>3</sup> = 35,31 ft<sup>3</sup>

#### Laju

1 mil/h = 1,47 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s  
 1 km/h = 0,278 m/s = 0,621 mil/h  
 1 ft/s = 0,305 m/s = 0,682 mil/h  
 1 m/s = 3,28 ft/s = 3,60 km/h  
 1 knot = 1,151 mi/h = 0,5144 m/s

#### Sudut

1 radian (rad) =  $57,30^\circ = 57^\circ 18'$   
 $1^\circ = 0,01745$  rad  
 1 rev/min (rpm) = 0,1047 rad/s

#### Waktu

1 hari =  $8,64 \times 10^4$  s  
 1 tahun =  $3,156 \times 10^7$  s

#### Massa

1 satuan massa atom (u) =  $1,6605 \times 10^{-27}$  kg  
 1 kg = 0,0685 slug  
 [1 kg mempunyai berat 2,20 lb di mana  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.]

#### Gaya

1 lb = 4,45 N  
 1 N =  $10^5$  dyne = 0,225 lb

#### Energi dan Kerja

1 J =  $10^7$  ergs = 0,738 ft·lb  
 1 ft·lb = 1,36 J =  $1,29 \times 10^3$  Btu =  $3,24 \times 10^4$  kkal  
 kkal =  $4,18 \times 10^3$  J = 3,97 Btu  
 1 eV =  $1,602 \times 10^{-19}$  J  
 1 kWh =  $3,60 \times 10^6$  J = 860 kkal

#### Daya

1 W = 1 J/s = 0,738 ft·lb/s = 3,42 Btu/h  
 1 hp = 550 ft·lb/s = 746 W

#### Tekanan

1 atm = 1,013 bar =  $1,013 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>  
 = 14,7 lb/in.<sup>2</sup> = 760 torr  
 1 lb/in.<sup>2</sup> =  $6,90 \times 10^3$  N/m<sup>2</sup>  
 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> =  $1,45 \times 10^{-4}$  lb/in.<sup>2</sup>

Sumber: Giancoli C. Douglas





**Panduan Pembelajaran**

# **Fisika**

**Untuk SMA & MA**

**Kelas**

**X**

ISBN 978-979-068-819-3 (no. jilid lengkap)

ISBN 978-979-068-820-9

**Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.**

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp14.800,--