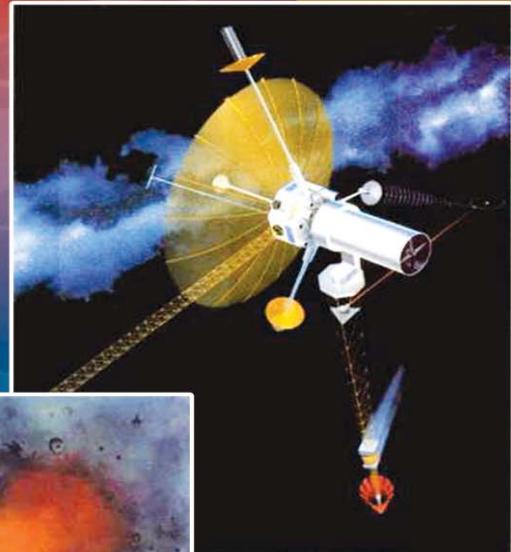
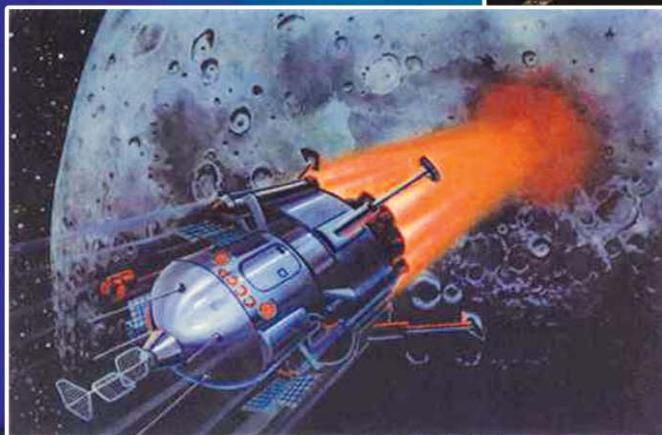


• Sri Handayani • Ari Damari

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas X



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Di unduh dari : Bukupaket.com

1

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas X

Penulis :

Sri Handayani
Ari Damari



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

1

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang
Hak cipta buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit CV. Adi Perkasa

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas X

Ukuran Buku	:	17,6 X 25 cm
Font	:	Times New Roman, Albertus Extra Bold
Penulis	:	Sri Handayani Ari Damari
Design Cover	:	Samsoel
Editor	:	Sri Handayani, Ari Damari
Ilustrasi	:	Joemady, Sekar
Setting	:	Dewi, Wahyu, Watik, Eni, Novi
Lay Out	:	Wardoyo, Anton

530.07

SRI SRI Handayani

f

Fisika 1 : Untuk SMA/MA Kelas X / penulis, Sri Handayani, Ari Damari ; editor, Sri Handayani, Ari Damari ; ilustrasi, Joemady, Sekar. -- Jakarta :

Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.

vi, 202 hlm. : ilus. : 25 cm.

Bibliografi : hlm. 200

Indeks

ISBN 978-979-068-166-8 (No. Jilid Lengkap)

ISBN 978-979-068-167-5

I.Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Ari Damari III. Sri Handayani.
IV. Joemady V. Sekar

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009
Diperbanyak oleh ...

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007.

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

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

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapan 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, Februari 2009
Kepala Pusat Perbukuan

KATA PENGANTAR

Buku Fisika SMA X ini merupakan buku yang dapat digunakan sebagai buku ajar mata pelajaran Fisika untuk siswa di Sekolah Menengah Atas (SMA) dan Madrasah Aliyah (MA). Buku ini memenuhi kebutuhan pembelajaran Fisika yang membangun siswa agar memiliki sikap ilmiah, objektif, jujur, berfikir kritis, bisa bekerjasama maupun bekerja mandiri.

Untuk memenuhi tujuan di atas maka setiap bab buku ini disajikan dalam beberapa poin yaitu : **penjelasan materi** yang disesuaikan dengan pola berfikir siswa yaitu mudah diterima, **contoh soal dan penyelesaian** untuk mendukung pemahaman materi dengan disertai soal yang dapat dicoba, **latihan** disetiap subbab untuk menguji kompetensi yang telah dikuasai, **aktiflah** sebagai wahana siswa untuk mencoba menyelesaikan suatu permasalahan yang bersifat konsep atau kontekstual, **penting** yang berisi konsep-konsep tambahan yang perlu diingat, **rangkuman** untuk kilas balik materi penting yang perlu dikuasai, dan **evaluasi bab** disajikan sebagai evaluasi akhir dalam satu bab dengan memuat beberapa kompetensi dasar.

Penyusun menyadari bahwa buku ini masih ada kekurangan dalam penyusunannya, namun penyusun berharap buku ini dapat bermanfaat bagi bapak/ibu guru dan siswa dalam proses belajar mengajar. Kritik dan saran dari semua pengguna buku ini sangat diharapkan. Semoga keberhasilan selalu berpihak pada kita semua.

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
BAB 1 PENGUKURAN DAN BESARAN	1
A. Pendahuluan	2
B. Pengukuran	3
C. Besaran, Satuan dan Dimensi	19
Rangkuman Bab 1	25
Evaluasi Bab 1	27
BAB 2 BESARAN VEKTOR	29
A. Pendahuluan	30
B. Penguraian Vektor	32
C. Resultan Vektor	34
D. Perkalian Vektor	42
Rangkuman Bab 2	44
Evaluasi Bab 2	45
BAB 3 KINEMATIKA GERAK LURUS	47
A. Besaran-besaran pada Gerak	48
B. Gerak Lurus Beraturan	58
C. Gerak Lurus Berubah Beraturan	62
Rangkuman Bab 3	72
Evaluasi Bab 3	74
BAB 4 HUKUM NEWTON	77
A. Pendahuluan	78
B. Hukum I Newton	79
C. Hukum II Newton	82
D. Hukum III Newton	94
Rangkuman Bab 4	95
Evaluasi Bab 4	96
BAB 5 GERAK MELINGKAR	99
A. Besaran-besaran pada Gerak Melingkar	100

B. Gerak Melingkar Beraturan	106
C. Gaya dan Percepatan Sentripetal	110
Rangkuman Bab 5	117
Evaluasi Bab 5	118
BAB 6 ALAT - ALAT OPTIK	121
A. Cermin Lengkung dan Lensa	122
B. Mata dan Kaca Mata	129
C. Lup dan Mikroskop	133
D. Teropong	139
Rangkuman Bab 6	142
Evaluasi Bab 6	143
BAB 7 KALOR SEBAGAI ENERGI	145
A. Pengaruh Kalor pada Zat	146
B. Azas Black dan Kekekalan Energi	152
C. Perpindahan Kalor	155
Rangkuman Bab 7	159
Evaluasi Bab 7.....	160
BAB 8 LISTRIK DINAMIS	163
A. Hukum Ohm dan Hambatan	164
B. Rangkaian Sederhana	173
C. Energi dan Daya Listrik	181
Rangkuman Bab 8	186
Evaluasi Bab 8	187
BAB 9 GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK	189
A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik	190
B. Aplikasi Gelombang Elektromagnetik	195
Rangkuman Bab 9	198
Evaluasi Bab 9	199
GLOSARIUM	200
KETETAPAN FISIKA	201
DAFTAR PUSTAKA	202
INDEKS	204

B A B

1

PENGUKURAN DAN BESARAN



Sumber : penerbit cv adi perkasa

Perhatikan gambar di atas. Beberapa orang sedang mengukur panjang meja dengan *mistar* atau sering disebut *meteran*. Aktivitas mengukur yang lain tentu sering kalian lihat misalnya mengukur massa beras, massa daging dan mengukur panjang sebidang tanah. Apakah kalian sudah mengerti apa sebenarnya mengukur itu? Apakah manfaat mengukur? Dan bagaimana caranya? Pertanyaan ini dapat kalian jawab dengan belajar bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. melakukan pengambilan data dan memahami angka penting,
2. mengolah data hasil pengukuran,
3. menggunakan alat ukur panjang, massa dan waktu dalam pengambilan data,
4. membedakan besaran pokok dan besaran turunan,
5. menentukan satuan dan dimensi suatu besaran,
6. menggunakan dimensi dalam analisa fisika.

A. Pendahuluan

Dalam belajar fisika kalian akan selalu berhubungan dengan pengukuran, besaran dan satuan. Sudah tahukah kalian dengan apa yang dinamakan pengukuran, besaran dan satuan itu? Pada bab pertama fisika inilah kalian dapat belajar banyak tentang pengertian-pengertian tersebut dan harus dapat memanfaatkannya pada setiap belajar fisika.

Pengukuran merupakan proses mengukur. Sedangkan *mengukur didefinisikan sebagai kegiatan untuk membandingkan suatu besaran dengan besaran standart yang sudah ditetapkan terlebih dahulu*. Dari pengertian ini dapat diturunkan pengertian berikutnya yaitu besaran dan satuan. *Besaran didefinisikan sebagai segala sesuatu yang didapat dari hasil pengukuran yang dinyatakan dalam bentuk angka dan satuannya*.

Dari penjelasan di atas dapat terlihat bahwa pengukuran, besaran dan satuan memiliki hubungan yang erat. Ketiganya selalu berkaitan. Pengukuran merupakan kegiatan atau aktivitasnya, besaran merupakan pokok permasalahan yang diukur sedangkan satuan merupakan pembanding (pengukurnya). Sebagai contoh Anita mengukur panjang celana. Besaran yang diukur adalah panjang dan satuan yang digunakan misalnya meter.

Contoh lain aktivitas pengukuran ini dapat kalian lihat pada *Gambar 1.1(a)*. Seorang petani jeruk sedang mengukur isi keranjang dengan jeruk. Misalkan keranjang tersebut memuat 100 jeruk. Berarti besarnya adalah isi keranjang sedangkan satuannya adalah jeruk. Contoh lain yang memperlihatkan adanya aktivitas mengukur dapat kalian lihat aktivitas penjual dan pembeli di pasar seperti pada *Gambar 1.1(b)*.



(a)



(b)

Gambar 1.1

- (a) Isi keranjang dapat dinyatakan dalam jumlah jeruk dan
- (b) Orang di pasar yang melakukan penguku-

Dalam bidang fisika dan terapannya dikenal banyak sekali besaran dan satuannya. Misalnya *panjang* satuannya *meter*, *massa* satuannya *kg*, *berat* satuannya *newton*, *kecepatan* satuannya *m/s* dan *kuat arus* satuannya *ampere*. Pelajarilah lebih jauh tentang pengukuran, besaran dan satuan ini pada sub bab berikut.

B. Pengukuran

Di depan kalian telah dijelaskan tentang apa yang dimaksud dengan pengukuran. Dalam belajar fisika tidak bisa lepas dari pengukuran. Ada tiga hal penting yang berkaitan dengan pengukuran, yaitu: pengambilan data, pengolahan data dan penggunaan alat ukur. Ketiga hal ini dapat kalian cermati pada penjelasan berikut.

1. Pengambilan Data dan Angka Penting

Pernahkah kalian melakukan kegiatan pengambilan data? Proses pengukuran hingga memperoleh data hasil pengukuran itulah yang dinamakan pengambilan data. Apakah hasil pengukuran dapat memperoleh nilai yang tepat? Proses pengukuran banyak terjadi kesalahan. Kesalahan bisa terjadi dari orang yang mengukur, alat ukur atau lingkungannya. Untuk memuat semua keadaan itu maka pada hasil pengukuran dikenal ada angka pasti dan angka taksiran. Gabungan kedua angka itu disebut *angka penting*.

Angka penting adalah angka yang didapat dari hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran. Nilai setiap hasil pengukuran merupakan angka penting. Seperti keterangan di atas angka penting terdiri dari dua bagian. Pertama *angka pasti* yaitu angka yang ditunjukkan pada skala alat ukur dengan nilai yang ada. Kedua *angka taksiran* yaitu angka hasil pengukuran yang diperoleh dengan memperkirakan nilainya. Nilai ini muncul karena yang terukur terletak diantara skala terkecil alat ukur. Dalam setiap pengukuran hanya diperbolehkan memberikan satu angka taksiran. Untuk memahami angka penting ini dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 1.1

Sekelompok siswa yang melakukan pengukuran massa benda menggunakan alat neraca pegas. Dalam pengukuran itu terlihat penunjukkan skala seperti pada Gambar 1.2. Aghnia menuliskan hasil 8,85 gr sedangkan John menuliskan hasil 8,9 gr. Manakah hasil yang benar?

Penyelesaian:

Coba kalian perhatikan Gambar 1.2. Dari gambar itu dapat diperoleh:

$$\text{Angka pasti} = 8 \text{ gr}$$

$\text{Angka taksiran} = 0,9 \text{ gr}$ (hanya boleh satu angka taksiran, tidak boleh 0,85 karena 2 angka taksiran)

Hasil pengukuran adalah

$$\begin{aligned} m &= \text{angka pasti} + \text{angka taksiran} \\ &= 8 + 0,8 = 8,8 \text{ gr} \end{aligned}$$

Jadi yang lebih tetap adalah hasilnya John.

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah pensil diukur panjangnya dengan mistar centimeter. Keadaannya dapat dilihat seperti pada Gambar 1.3. Tentukan hasil pengukuran tersebut.

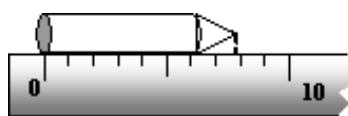


Gambar 1.2

Penunjukkan neraca pegas

Penting

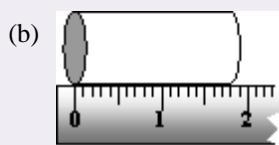
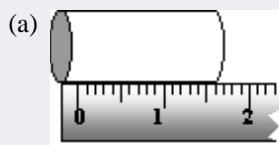
Angka taksiran pada pengukuran massa benda Gambar 1.2 juga boleh sebesar 0,9 atau 0,7 yang penting adalah 1 angka taksiran. Tidak boleh 0,85 atau 0,95 karena ada 2 angka penting.



Gambar 1.3

Aktiflah

Sekelompok siswa sedang mengukur panjang penghapus. Beberapa posisi pengukurannya terlihat seperti gambar di bawah.



Coba kalian jelaskan pengukur (a) dan (b)!

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tepat dapat dilakukan langkah-langkah penghindaran kesalahan. Langkah-langkah itu diantaranya seperti berikut.

a. Memilih alat yang lebih peka

Langkah pertama untuk melakukan pengukuran adalah memilih alat. Alat ukur suatu besaran bisa bermacam-macam. Contohnya alat ukur massa. Tentu kalian telah mengenalnya ada timbangan (untuk beras atau sejenisnya), neraca pegas, neraca O'hauss (di laboratorium) dan ada lagi neraca analitis (bisa digunakan menimbang emas). Semua alat ini memiliki kepekaan atau skala terkecil yang berbeda-beda. Untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat maka: *pertama*, pilihlah alat yang lebih peka (lebih teliti). Misalnya neraca analitis memiliki ketelitian yang tinggi hingga 1 mg. *Kedua*, pilihlah alat yang sesuai penggunaannya (misalnya neraca analisis untuk mengukur benda-benda kecil seperti massa emas).

b. Lakukan kalibrasi sebelum digunakan

Kalibrasi biasa digunakan pada badan meteorologi dan geofisika. Misalnya untuk timbangan yang sudah cukup lama digunakan, perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi adalah peneraan kembali nilai-nilai pada alat ukur.

Proses kalibrasi dapat juga dilakukan dalam lingkup yang kecil yaitu pada pengambilan data eksperimen di laboratorium. Sering sekali alat ukur yang digunakan memiliki keadaan awal yang tidak nol. Misalnya neraca pegas saat belum diberi beban, jarumnya sudah menunjukkan nilai tertentu (bukan nol). Keadaan alat seperti inilah yang perlu kalibrasi. Biasanya pada alat tersebut sudah ada bagian yang dapat membuat nol (normal).

c. Lakukan pengamatan dengan posisi yang tepat

Lingkungan tempat pengukuran dapat mempengaruhi hasil pembacaan. Misalnya banyaknya cahaya yang masuk. Gunakan cahaya yang cukup untuk pengukuran. Setelah lingkungannya mendukung maka untuk membaca skala pengukuran perlu posisi yang tepat. Posisi pembacaan yang tepat adalah pada arah yang lurus.

d. Tentukan angka taksiran yang tepat

Semua hasil pengukuran merupakan angka penting. Seperti penjelasan di depan, bahwa angka penting memuat angka pasti dan satu angka taksiran. Angka taksiran inilah yang harus ditentukan dengan tepat. Lakukan pemilihan angka taksiran dengan pendekatan yang tepat. Angka taksiran ditentukan dari setengah skala terkecil. Dengan demikian angka penting juga dipengaruhi spesifikasi alat yang digunakan.

2. Pengolahan Data

Pengukuran dalam fisika bertujuan untuk mendapatkan data. Apakah manfaat data yang diperoleh? Tentu kalian sudah mengetahui bahwa dari data tersebut dapat dipelajari sifat-sifat alam dari besaran yang sedang diukur. Dari data itu pula dapat dilakukan prediksi kejadian berikutnya.

Dari penjelasan di atas dapat dilihat betapa pentingnya arti data hasil pengukuran. Namun perlu kalian ketahui bahwa untuk memenuhi pemanfaatannya data yang ada perlu dianalisa atau diolah. Metode pengolahan data sangat tergantung pada tujuan pengukuran (eksperimen) yang dilakukan. Sebagai contoh untuk kelas X SMA ini dapat dikenalkan tiga metode analisa data seperti berikut.

a. Metode generalisasi

Pengukuran atau yang lebih luas bereksperimen fisika di tingkat SMA ada yang bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang ada. Misalnya mempelajari sifat-sifat massa jenis air. Untuk mengetahui sifat itu maka dapat dilakukan pengukuran kemudian datanya diolah. Pengolahan data untuk tujuan ini tidak perlu rumit, cukup dari data yang ada dibuat simpulan yang berlaku umum. Salah satu metode untuk membuat simpulan masalah seperti ini adalah *metode generalisasi*.

Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 1.2

Made dan Ahmad sedang melakukan pengukuran massa jenis zat cair dengan gelas ukur dan neraca seperti pada *Gambar 1.4*. Tujuannya untuk mengetahui sifat massa jenis zat cair jika volumenya diperbesar. Jika volumenya ditambah dan massanya ditimbang maka dapat diperoleh data seperti pada tabel 1.1. Simpulkan apakah yang dapat kalian peroleh?

Tabel 1.1

V (m ³)	m (gr)	ρ (gr/cm ³)
50	60	1,2
100	120	1,2
150	180	1,2
200	240	1,2

Penyelesaian

Karena bertujuan untuk mengetahui sifat massa jenis, maka dapat dibuat simpulan dengan menggunakan *metode generalisasi*.

Dari data pada tabel 1.1 dapat dilihat bahwa pada setiap keadaan diperoleh hasil perhitungan $\rho = \frac{m}{V}$ yang selalu tetap yaitu 1,2 gr/cm³. Jadi ρ tetap terhadap tambahan volume.

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

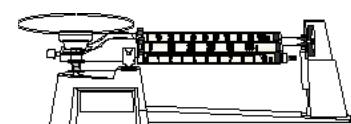
Dalam suatu pengukuran dan pengamatan sifat-sifat bayangan oleh lensa cembung diperoleh data seperti pada tabel 1.2. Coba kalian tentukan sifat-sifat yang ada dari data tersebut!

Tabel 1.2

Benda di ruang	Bayangan di ruang	Sifat
RI	RIV	maya, tegak, diperbesar
RII	RIII	nyata, terbalik, diperbesar
RIII	RII	nyata, terbalik, diperkecil

Penting

Metode analisa data cukup banyak, tetapi untuk kelas X SMA dan untuk mempelajari fisika ini di kenalkan tiga metode. Pelajarilah metode-metode lain sehingga kalian dapat melakukan kerja ilmiah dengan baik.



Gambar 1.4

Mengukur massa dan volume zat cair

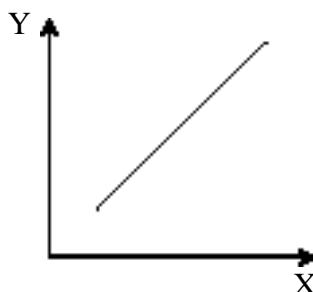
b. Metode kesebandingan

Tujuan pengukuran (eksperimen) yang utama adalah mencari hubungan antara besaran yang satu dengan besaran yang lain. Dari hubungan antar besaran ini dapat diketahui pengaruh antar besaran dan kemudian dapat digunakan sebagai dasar dalam memprediksi kejadian berikutnya. Misalnya semakin besar massa balok besi maka semakin besar pula volume balok besi tersebut.

Untuk memenuhi tujuan pengukuran di atas maka data yang diperoleh dapat dianalisa dengan cara membandingkan atau disebut *metode kesebandingan*. Dalam metode kesebandingan ini sebaiknya data diolah dengan menggunakan grafik. Untuk tingkat SMA ini dapat dipelajari dua bentuk kesebandingan yaitu *berbanding lurus* dan *berbanding terbalik*.

Berbanding lurus

Dua besaran yang berbanding lurus (sebanding) akan mengalami kenaikan atau penurunan dengan perbandingan yang sama. Misalnya X berbanding lurus dengan Y, maka hubungan ini dapat dituliskan seperti berikut.



Gambar 1.5

Grafik X berbanding lurus dengan Y.

$$X \sim Y$$

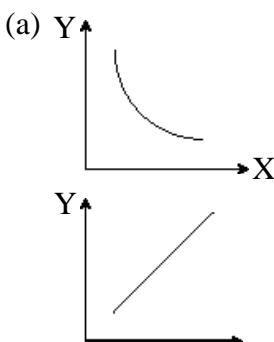
$$\frac{X_1}{Y_1} = \frac{X_2}{Y_2}$$

..... (1.1)

Hubungan berbanding lurus ini dapat digambarkan pada grafik dengan kurva yang linier seperti pada *Gambar 1.5*.

Berbanding terbalik

Dua besaran akan memiliki hubungan berbanding terbalik jika besaran yang satu membesar maka besaran lain akan mengecil tetapi perkaliannya tetap. Misalnya X berbanding terbalik dengan Y, maka hubungan ini dapat ditulis sebagai



Gambar 1.6

Grafik Y berbanding terbalik dengan X

$$X \sim \frac{1}{Y} \longrightarrow X \cdot Y = C \quad \dots \dots \dots \quad (1.2)$$

Hubungan berbanding terbalik ini dapat digambarkan pada grafik dengan kurva yang berbentuk *hiperbola pada satu kuadran (untuk X dan Y positif)* seperti pada *Gambar 1.6(a)* atau *linier* seperti yang terlihat pada *Gambar 1.6.(b)*

CONTOH 1.3

Sekelompok siswa sedang sedang melakukan pengukuran untuk mengetahui hubungan beda potensial ujung-ujung hambatan dengan kuat arus yang mengalir. Mereka membuat rangkaian seperti pada *Gambar 1.7* dan mengukur beda potensial \tilde{V} dengan volt meter dan kuat arus I dengan ampermeter. Data yang

Tabel 1.3

No	V (volt)	I (mA)
1	1,5	30
2	2,0	38
3	3,0	62
4	4,2	80
5	4,8	98

Penyelesaian

Untuk mengetahui hubungan V dengan I dapat digunakan grafik V - I . Dari tabel 1.3 dapat digambarkan grafik seperti *Gambar 1.8*. Kurva yang terjadi cenderung *linier naik* berarti V berbanding lurus dengan I . Secara matematis dituliskan:

$$V \sim I$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Dalam suatu ruang tertutup terdapat gas yang diatur suhunya tetap. Volume tersebut diubah-ubah seiring dengan perubahan tekanan sehingga suhu tetap. Pada pengukuran volume dan tekanan gas diperoleh data seperti pada tabel 1.4. Tentukan hubungan tekanan dan volume gas tersebut!

Tabel 1.4

No	P (atm)	V (lt)
1	1,0	1,8
2	1,2	1,5
3	1,5	1,3
4	1,8	1,0
5	2,4	0,8

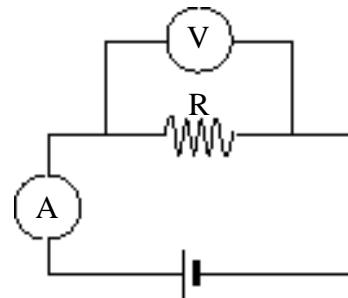
c. Metode perhitungan statistik

Dalam belajar fisika banyak ditemukan persamaan-persamaan, bahkan ada siswa yang mengatakan, fisika itu rumus. Apakah kalian termasuk siswa tersebut? Tentunya tidak karena kalian sudah tahu bahwa fisika tidak hanya belajar rumus tetapi bisa konsep-konsep lain tentang sifat alam. Rumus-rumus fisika merupakan bentuk singkat dari suatu konsep, hukum atau teori fisika. Salah satu pemanfaatan rumus fisika adalah untuk perhitungan dan pengukuran suatu besaran.

Besaran-besaran fisika ada yang dapat diukur langsung dengan alat ukur tetapi ada pula yang tidak dapat diukur langsung. Besaran yang belum memiliki alat ukur inilah yang dapat diukur dengan besaran-besaran lain yang punya hubungan dalam suatu perumusan fisika. Contohnya mengukur massa jenis benda. Besaran ini dapat diukur dengan mengukur massa dan volume bendanya, kemudian massa jenisnya dihitung dengan

$$\text{rumus : } \rho = \frac{m}{V}.$$

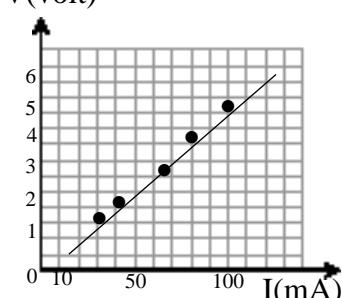
Apakah pengukuran yang hanya dilakukan satu kali dapat memperoleh data yang akurat? Jawabnya tentu tidak. Kalian sudah mengetahui bahwa pada pengukuran banyak terjadi kesalahan. Untuk memperkecil kesalahan dapat dilakukan pengukuran berulang. Nilai besaran yang diukur dapat ditentukan dari nilai rata-ratanya. Perhitungan ini dinamakan *perhitungan statistik*. Metode ini dapat dibantu dengan tabel seperti pada tabel 1.5. Bahkan pada analisa ini dapat dihitung kesalahan mutlak (standar deviasi) dari pengukuran.



Gambar 1.7

Rangkaian sederhana

V (volt)



Gambar 1.8

Grafik hubungan antara V dan I

Tabel 1.5

No	x	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
1		x_1
2		x_2
..	
n		Σx		$\Sigma x - \bar{x} ^2$

Dari tabel 1.5 dapat dihitung nilai rata-rata \bar{x} dan kesalahan mutlak dengan persamaan statistik seperti di bawah.

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$$

$$\text{dan } \Delta x = \sqrt{\frac{\Sigma |x - \bar{x}|^2}{n(n-1)}} \quad \dots \dots \dots \quad (1.3)$$

dengan : \bar{x} = nilai x rata-rata

Δx = nilai kesalahan mutlak pengukuran

CONTOH 1.4

Sekelompok siswa yang melakukan eksperimen seperti pada contoh 1.3 memperoleh data dalam tabel 1.3. Coba kalian perhatikan kembali. Dari data itu dapat dihitung nilai hambatan yang digunakan. Tentukan nilai hambatan R tersebut!

Penyelesaian

Di SMP kalian telah belajar hukum Ohm. Masih ingat persamaannya? Dari hukum Ohm itu dapat ditentukan nilai

$$R \text{ dengan rumus: } R = \frac{V}{I}$$

Untuk menentukan R dari data pada tabel 1.3 dapat dibuat tabel baru seperti pada tabel 1.6.

Tabel 1.6 Menentukan R

No	V (volt)	I (A)	R (Ω)	$ R - \bar{R} $	$ R - \bar{R} ^2$
1	1,5	0,030	50	0,6	0,36
2	2,0	0,038	53	2,4	5,76
3	3,0	0,062	48	2,6	6,76
4	4,2	0,080	53	2,4	5,76
5	4,8	0,098	49	1,6	2,56
5			253		21,20

Nilai hambatan rata-rata:

$$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{n} = \frac{253}{5} = 50,6 \Omega$$

dan nilai kesalahan mutlaknya sebesar:

$$\Delta R = \sqrt{\frac{\sum |R - \bar{R}|^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{21,20}{5(4)}} = 1,03$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Nilai hambatan itu sebesar $R = (50,6 \pm 1,03) \Omega$

Siswa yang ditugaskan untuk mengukur massa jenis zat cair melakukan kegiatan pengukuran massa dan volume zat tersebut.

Volumenya diukur dengan gelas ukur dan massanya dengan neraca. Pengukuran dilakukan beberapa kali dengan menambah volume zat tersebut sehingga diperoleh data seperti pada tabel 1.7. Tentukan massa jenis zat cair

Tabel 1.7

No	m (gr)	V (ml)
1	230	200
2	310	300
3	480	400
4	550	500
5	600	550

Penting

Ralat mutlak dapat menggambarkan taraf kesalahan yang dilakukan dalam pengukuran dan juga dapat menggambarkan rentang nilai dari besaran yang diukur.

Contohnya suatu pengukuran diperoleh:

$$x = (250 \pm 5)$$

Dari hasil ini dapat diketahui:

a. Taraf kesalahan pengu-

$$\frac{5}{250}$$

kuran : $= 0,02$ atau 2%

b. Rentang nilai x adalah:

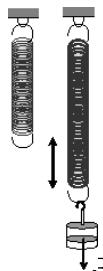
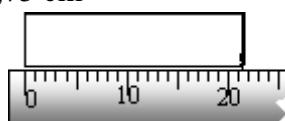
$$= (250 - 5) \text{ s.d } (250 + 5)$$

$$= 245 \text{ s.d } 255$$



ATIHAN 1.1

- Seorang siswa melakukan pengukuran seperti di bawah. Coba kalian tentukan apakah besaran dan satuananya?
 - Lantai ruangannya membutuhkan 120 ubin
 - Lebar kursi sama dengan lima panjang pensil
 - Keranjangnya memuat 50 mangga
 - Pada pengukuran panjang sebuah bidang persegi panjang digunakan mistar dan hasilnya terlihat seperti gambar. Dari beberapa siswa yang mengukur diperoleh data seperti di bawah. Benar atau salahkah hasil itu? Jelaskan!
 - 21,5 cm
 - 21,3 cm
 - 21,75 cm
 - d. 21,8 cm
 - e. 21,65 cm
 - Neraca O'hauss memiliki ketelitian hingga 0,1 gr. Ada empat siswa yang mengukur massa benda dan hasilnya dapat dilihat seperti berikut. Benarkah data tersebut? Berilah alasannya!
 - $302,6 \pm 0,05$ gr
 - $21,15 \pm 0,05$ gr
 - Cobalah kalian jelaskan langkah-langkah apa yang harus kalian lakukan saat melakukan pengukuran agar data yang dihasilkan tepat dan akurat!
 - Sekelompok siswa melakukan pengukuran perpanjangan pegas Δx yang diberikan gaya F seperti pada gambar. Data yang diperoleh tertulis
- | No | F (N) | Δx (cm) |
|----|-------|-----------------|
| 1 | 1,0 | 5,0 |
| 2 | 1,2 | 5,8 |
| 3 | 1,5 | 7,1 |
| 4 | 2,2 | 12,0 |
| 5 | 3,2 | 16,0 |



Lakukan pengolahan data pada tabel tersebut untuk:

- menentukan hubungan antara gaya tarik pegas F dengan perpanjangan pegasnya Δx ,
- menentukan konstanta pegas yaitu konstanta perbandingan antara gaya tarik F dengan perpanjangan pegas Δx .

3. Alat Ukur Panjang, Massa dan Waktu

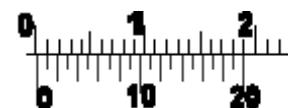
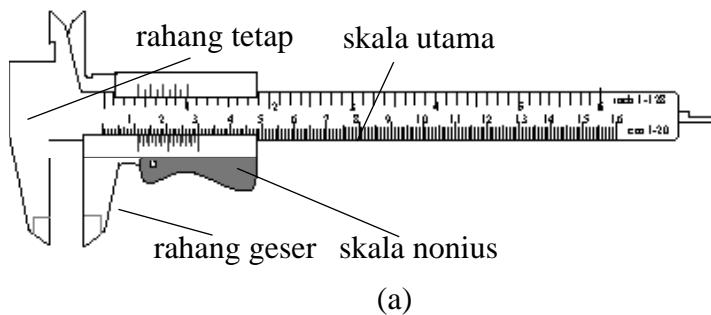
Alat ukur besaran-besaran fisika sangat banyak tetapi di kelas X SMA ini dikenalkan tiga alat ukur besaran pokok yaitu panjang, massa dan waktu. Beberapa alat ukur besaran tersebut dapat dicermati seperti berikut.

a. Alat ukur panjang

Panjang, lebar atau tebal benda dapat diukur dengan mistar. Tetapi jika ukurannya kecil dan butuh ketelitian maka dapat digunakan alat lain yaitu *jangka sorong* dan *mikrometer skrup*.

(1) Jangka sorong

Sudah tahukah kalian dengan jangka sorong? Jangka sorong banyak digunakan dalam dunia mesin. Jika kalian menanyakan pada teknisi sepeda motor atau mobil maka dia akan langsung menunjukkannya. Perhatikan Gambar 1.9(a). Alat pada gambar itulah yang dinamakan *jangka sorong*. Jika kalian cermati maka jangka sorong tersebut memiliki dua bagian. Pertama, *rahang tetap* yang memuat *skala utama*. Kedua, *rahang geser* (*geser*) yang memuat *skala nonius*.



(b)

Gambar 1.9

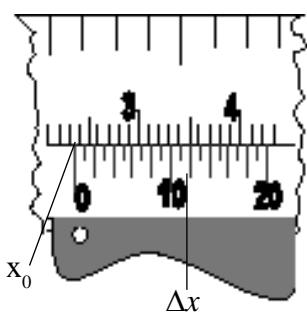
Gambar jangka sorong (a) dan ukuran skala noniusnya (b).

Skala nonius merupakan skala yang menentukan ketelitian pengukuran. Skala ini dirancang dengan panjang 19 mm tetapi tetap 20 skala. Sehingga setiap skala nonius akan mengalami pengecilan sebesar $(20-19) : 20 = 0,05 \text{ mm}$. Perhatikan perbandingan skala tersebut pada Gambar 1.9(b).

Hasil pengukuran dengan jangka sorong akan memuat angka pasti dari skala utama dan angka taksiran dari skala nonius yang segaris dengan skala utama. Penjumlahan dari keduanya merupakan angka penting. Hasil pengukuran itu dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$x = (x_0 + \Delta x \cdot 0,05) \text{ mm} \quad \dots \dots \dots \quad (1.4)$$

dengan : x = hasil pengukuran

**Gambar 1.10**

Penunjukkan skala utama dan nonius jangka sorong.

CONTOH 1.5

Diana mengukur diameter dalam tabung dapat menunjukkan keadaan pengukuran seperti pada *Gambar 1.10*. Berapakah diameter dalam tabung tersebut?

Penyelesaian

Dari *Gambar 1.10* diperoleh:

$$x_0 = 23 \text{ mm}$$

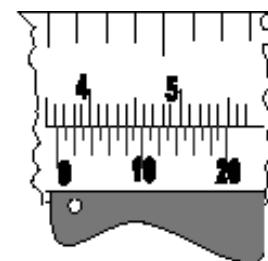
$$\Delta x = 12$$

Berarti diameter dalam tabung sebesar:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \Delta x \cdot 0,05 \\ &= 23 + 12 \cdot 0,05 = 23,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan hasil pembacaan jangka sorong yang digunakan untuk mengukur diameter kelereng seperti pada gambar.

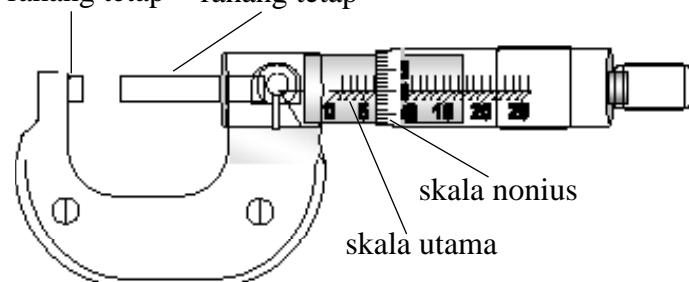


(2) Mikrometer sekrup

Coba kalian perhatikan *Gambar 1.11*! Alat yang terlihat pada gambar itulah yang dinamakan mikrometer sekrup. Mirip dengan jangka sorong, mikrometer juga memiliki dua bagian. Pertama, rahang tetap memuat skala utama. Kedua, rahang putar, memuat skala nonius.

Mikrometer ini dapat digunakan untuk mengukur ketebalan benda-benda yang tipis seperti kertas dan rambut. Hal ini sesuai dengan sifat mikrometer yang memiliki ketelitian lebih besar dari jangka sorong. Mikrometer memiliki ketelitian hingga 0,01 mm. Ketelitian ini dirancang dari rahang putar yang memuat 50 skala

rahang tetap rahang tetap

**Gambar 1.11**

Mikrometer

Hasil pengukurannya juga memiliki angka pasti dan angka taksiran seperti jangka sorong. Rumusnya sebagai berikut.

$$x = (x_0 + \Delta x \cdot 0,01) \text{ mm} \quad \dots \dots \dots \quad (1.5)$$

dengan : x = hasil pengukuran

x_0 = skala utama sebelum batas rahang putar

Δx = skala nonius yang segaris dengan garis tengah skala utama

CONTOH 1.6

Penunjukkan skala pada mikrometer sekrup yang digunakan untuk mengukur tebal kertas dapat dilihat seperti pada Gambar 1.12. Berapakah hasil pengukuran tersebut?

Penyelesaian

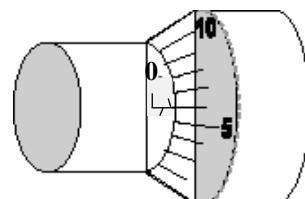
Dari Gambar 1.11 dapat diperoleh:

$$x_0 = 1 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 6$$

Berarti hasil pengukurannya sebesar:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \Delta x \cdot 0,01 \\ &= 1 + 6 \cdot 0,01 = 1,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

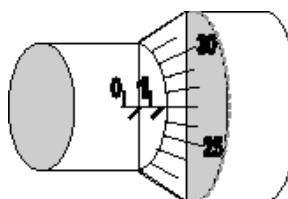


Gambar 1.12

Penunjukkan skala mikrometer sekrup

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

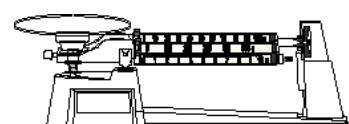
Tentukan hasil pengukuran dengan mikrometer sekrup yang tampak skalanya seperti pada gambar.



(a)



(b)

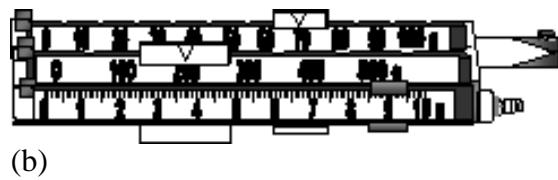
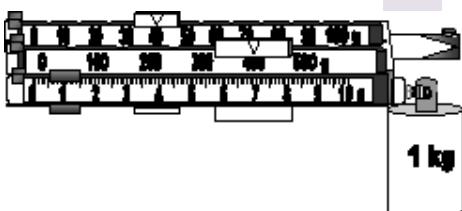


Gambar 1.13

(a) neraca pegas dan (b) neraca O'hauss

CONTOH 1.7

Andi dan Johan sedang mengukur massa balok. Pembanding-pembanding yang digunakan dapat terlihat seperti pada *Gambar 1.14(a)*. Berapakah massa balok tersebut?



(b)

Gambar 1.14

Penunjukkan skala neraca O'hauss.

Penyelesaian

Hasil pengukuran dengan neraca O'hauss adalah jumlah dari pembanding-pembanding yang digunakan, sehingga dari *Gambar 1.14(a)* dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} M &= 1\text{kg} + 400\text{ kg} + 40\text{ gr} + 1\text{gr} \\ &= 1441\text{ gr} = 1,441\text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Bacalah massa benda yang ditunjukkan pada penimbangan massa dengan neraca O'hauss pada *Gambar 1.14(b)*.

c. Alat ukur waktu

Dalam setiap aktivitas, kita selalu menggunakan batasan waktu. Contohnya proses belajar mengajar fisika, waktunya 90 menit. Istirahat sekolah 30 menit. Batasan-batasan waktu ini biasanya digunakan jam biasa. Bagaimana jika batasan waktunya singkat (dalam detik) seperti mengukur periode ayunan? Untuk kejadian ini dapat digunakan pengukur waktu yang dapat dikendalikan yaitu *stop watch*. Perhatikan *Gambar 1.15!* Ada beberapa jenis stopwatch, ada yang manual dan ada yang digital.

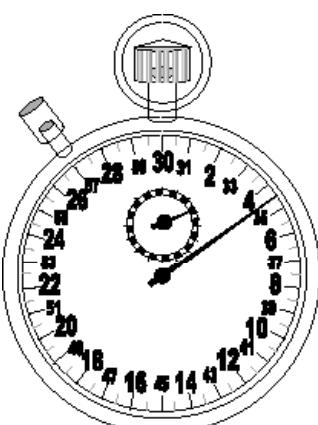
Hasil pembacaan stop watch digital dapat langsung terbaca nilainya. Untuk stop watch yang menggunakan jarum, maka pembacanya sesuai dengan penunjukkan jarum. Untuk contoh 1.8 diperlihatkan stop watch yang memiliki dua jarum penunjuk. Jarum pendek untuk menit dan jarum panjang untuk detik.

CONTOH 1.8

Tampilan stopwatch yang digunakan untuk mengukur waktu gerak benda dapat dilihat seperti *Gambar 1.16*. Berapakah waktu yang dibutuhkan?

Gambar 1.15

Stop watch

**Gambar 1.16**

Penunjukan stop watch

Penyelesaian

Jarum pendek: 2 menit

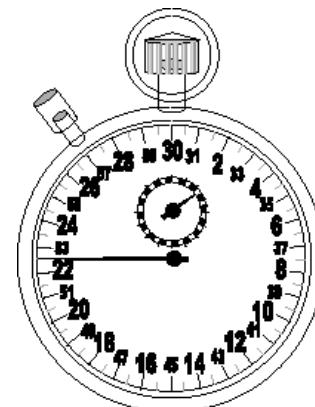
Jarum panjang: 34,5 detik (jarum pendek pada tanda hitam/merah berarti di atas 30 detik)

Jadi waktu yang dibutuhkan memenuhi:

$$\begin{aligned}t &= 2 \text{ menit} + 34,5 \text{ detik} \\&= 120 \text{ detik} + 34,5 \text{ detik} = 154,5 \text{ detik}\end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan besar selang waktu yang ditunjukkan stopwatch pada Gambar 1.17.



Gambar 1.17

Penunjukan stop watch

4. Analisa Angka Penting

Seperti penjelasan di depan, angka penting merupakan semua angka yang diperoleh dalam pengukuran. Namun setelah dituliskan kadang-kadang jumlah angka pentingnya jadi rancu. Contohnya panjang suatu benda terukur 3,2 cm. Nilai panjang ini dapat ditulis 0,032 m atau 320 mm. Dari penulisan ini timbul pertanyaan; berapakah jumlah angka penting panjang benda tersebut?

Untuk mengatasi kerancuan tersebut maka kalian perlu memperhatikan hal-hal penting berikut.

1. Penulisan angka penting bertujuan untuk mengetahui ketelitian suatu pengukuran.

Contohnya pengukuran panjang benda di atas. $\ell = 3,2 \text{ cm}$. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran ini teliti hingga 1 desimal untuk centimeter (0,1 cm) dan angka pentingnya berjumlah 2. Misalnya lagi suatu pengukuran yang memperoleh $t = 2,50 \text{ s}$. Hasil ini menunjukkan bahwa ketelitian alatnya sampai dua desimal (0,01 s) sehingga perlu menuliskan nilai 0 di belakang angka 5. Berarti memiliki 3 angka penting.

2. Penulisan hasil pengukuran sebaiknya menggunakan notasi ilmiah.

Bentuk notasi ilmiah seperti berikut.

$$a \times 10^n \dots \quad (1.6)$$

dengan : $1 < a < 10$

$n = \text{bilangan bulat}$

Penulisan notasi ilmiah ini akan lebih bermanfaat lagi jika dilakukan perubahan satuan. Misalnya pengukuran panjang benda di atas $\ell = 3,2 \text{ cm} = 0,032 \text{ m}$. Perubahan satuan ini sebaiknya dalam bentuk $\ell = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. Penulisan ini tetap memiliki dua angka penting. Begitu pula dalam mm, $\ell = 3,2 \cdot 10^3 \text{ mm}$ (2 angka penting). Dengan metode ini perubahan satuan tidak mengubah jumlah angka penting hasil pengukuran.

3. Semua angka bukan nol merupakan angka penting. Contohnya suatu pengukuran tebal benda memperoleh nilai $d = 35,28$ cm berarti nilai tersebut memiliki 4 angka penting.
 4. Untuk angka nol memiliki kriteria tersendiri yaitu:
 - a). Angka nol diantara bukan nol termasuk angka penting
 - b). Angka nol di sebelah kanan angka bukan nol termasuk angka penting kecuali ada keterangan tertentu.
 - c). Angka nol di sebelah kiri angka bukan nol tidak termasuk angka penting.
- Contohnya:
- $3,023 \text{ gr} = 4 \text{ angka penting}$
 $4,500 \text{ s} = 3 \text{ angka penting}$
 $0,025 \text{ cm} = 2 \text{ angka penting}$

Mengapa kalian perlu mengetahui jumlah angka penting? Jumlah angka penting ini ternyata berkaitan erat dengan operasi angka penting. Operasi angka penting yang perlu dipelajari diantaranya penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian. Dalam setiap operasi ini perlu mengetahui beberapa aturan berikut.

- (1) Operasi dua angka pasti hasilnya angka pasti.
- (2) Operasi yang melibatkan angka taksiran hasilnya merupakan angka taksiran.
- (3) Hasil operasi angka penting hanya diperbolehkan mengandung satu angka taksiran. Jika diperoleh lebih dari dua angka taksiran maka harus dilakukan pembulatan. Angka 4 ke bawah dihilangkan dan angka 5 ke atas dibulatkan ke atas.

a. Penjumlahan dan pengurangan

Operasi penjumlahan dan pengurangan angka penting memiliki cara yang sama dengan operasi aljabar biasa. Hasilnya saja yang harus memenuhi aturan angka penting diantaranya hanya memiliki satu angka taksiran. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 1.9

- a. $X = 25,10\cancel{2} + 1,\underline{5}$
- b. $Y = 6,27\cancel{8} - 1,2\cancel{1}$

Tentukan nilai X dan Y!

Penyelesaian

- a. Penjumlahan :

$$\begin{array}{r}
 25,10\cancel{2} \\
 + 1,\underline{5} \\
 \hline
 26,602
 \end{array}$$

Dengan pembulatan diperoleh $X = 26,6$ (hanya 1 angka taksiran).

b. Pengurangan:

$$\begin{array}{r} 6,2\,\underline{7}\,8 \\ 1,2\,\underline{1} \\ \hline 5,0\,\underline{6}\,8 \end{array}$$

Dengan pembulatan diperoleh $Y = 5,07$ (hanya 1 angka taksiran).

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan nilai operasi berikut.

- a. $p = 32,5 + 2,786$
- b. $q = 725 + 3,78$
- c. $r = 257,2 - 4,56$
- d. $s = 34 - 8,2$

b. Perkalian dan pembagian

Bagaimana dengan operasi perkalian dan pembagian angka penting? Sudahkah kalian memahami? Ternyata aturannya juga sesuai dengan operasi penjumlahan dan pengurangan. Namun ada sifat yang menarik pada operasi ini. Coba kalian cermati jumlah angka penting pada perkalian berikut.

$$\begin{array}{r} 3\,5,\,\underline{1} & (3 \text{ angka penting}) \\ 2,\,\underline{6} & (2 \text{ angka penting}) \\ \hline 2\,\underline{1},\,\underline{0}\,6 & \times \\ 7\,0,\,\underline{2} & \\ 9\,\underline{1},\,\underline{2}\,6 & + \\ \hline \end{array}$$

Pembulatan : $9\,\underline{1}$ (2 angka penting)

Apakah yang dapat kalian cermati dari hasil operasi perkalian itu? Ternyata hasil akhir operasi perkalian itu memiliki jumlah angka penting yang sama dengan jumlah angka penting paling sedikit. Sifat perkalian ini akan berlaku pada operasi pembagian. Cobalah buktikan dengan membuat contoh sendiri.

CONTOH 1.10

Sebuah hambatan terukur $120,5 \Omega$. Jika ujung-ujung hambatan itu diberi beda potensial $1,5$ volt maka berapakah kuat arus yang lewat?

Penyelesaian

$$R = 120,5 \Omega \quad (4 \text{ angka penting})$$

Aktiflah

Sifat pembagian angka penting sama dengan perkaliannya. Perhatikan pembagian bilangan berikut.

$$x = 43,56 : 5,2$$

- a. Berapakah jumlah angka penting bilangan hasil pembagian tersebut? Jelaskan bagaimana kalian dapat menentukannya?
- b. Buktiakan jawaban kalian dengan membagi bilangan tersebut!

$$V = 1,5 \text{ volt} \quad (\text{2 angka penting})$$

Sesuai hukum Ohm (masih ingat di SMP?) dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{1,5}{120,5} = 0,01245 \text{ A} = 12,45 \text{ mA} \end{aligned}$$

Pembulatan $I = 12 \text{ mA}$ (2 angka penting)

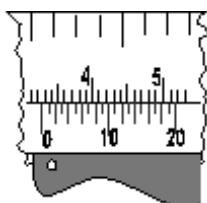
Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah buku diukur lebarnya 21,8 cm dan panjangnya 29 cm. Tentukan luas buku tersebut!



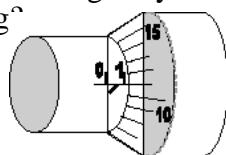
ATIHAN 1.2

1. Dinda dan Endah melakukan pengukuran di ammeter tabung dengan jangka sorong. Hasilnya terlihat seperti gambar. Tentukan:



- a. angka pastinya
- b. angka taksirannya
- c. hasil pengukurannya

2. Seorang siswa yang mengukur tebal benda dengan mikrometer sekrup memperoleh keadaan seperti gambar. Tentukan hasil pengukuran tersebut! Bagaimana hubungannya dengan angka penting?



3. Pengukuran massa balok dengan neraca O'hauss tidak membutuhkan beban penggantung. Setelah dalam keadaan seimbang keadaan beban pembanding-nya ditunjukkan seperti pada gambar. Berapakah massa balok tersebut? Tentukan jumlah angka pentingnya!



4. Sebuah celah berukuran panjang 13,21 cm dan lebar 0,45 cm. Berapakah luas celah tersebut?
5. Benda yang tak beraturan ingin diukur massa jenisnya oleh siswa kelas X. Massa benda diukur dengan neraca dan dieproleh nilai 350 gr. Sedangkan volumenya diukur dengan gelas ukur sebesar 25 ml. Berapakah massa jenis benda tersebut?
6. Selesaikan operasi-operasi angka penting berikut.
- a. $x = 342,5 + 3,25$
 - b. $y = 63,26 - 5,7$
 - c. $z = 72,5 \times 1,2$
 - d. $u = 275,6 : 3,52$
7. Coba kalian temukan cara menyederhanakan suatu hasil perkalian dan pembagian angka penting. Rumuskan cara tersebut!

C. Besaran, Satuan Dan Dimensi

1. Besaran Pokok dan Besaran Turunan

Kalian telah belajar beberapa hal tentang pengukuran besaran, pengolahannya dan alat ukurannya, maka selanjutnya kalian perlu tahu tentang besaran dan hubungannya dengan satuan dan dimensinya. Dalam ilmu fisika setiap besaran akan memiliki satuan-satuan tertentu. Berdasarkan satuannya tersebut, besaran dibagi menjadi dua yaitu *besaran pokok* dan *besaran turunan*.

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditentukan terlebih dahulu. Satuan besaran-besaran itu telah ditentukan sebagai acuan dari satuan besaran-besaran lain. Sedangkan *besaran turunan* adalah besaran yang satuannya ditentukan dari penurunan satuan besaran-besaran pokok penyusunnya.

Dalam ilmu fisika dikenal ada tujuh besaran pokok. Ketujuh besaran pokok, lambang dan satuan dalam sistem Internasional (SI) dapat kalian lihat pada tabel 1.8. Sistem Internasional adalah metode pemberian satuan yang berlaku secara internasional. Di Indonesia, sistem SI ini sesuai dengan sistem MKS (meter, kilogram, sekon).

Dalam sistem SI, satuan-satuan besaran pokok telah dibuat suatu definisi standartnya sehingga secara universal memiliki besar yang sama.

Tabel 1.8. Besaran pokok dan satuan

No	Besaran	Lambang	Satuan
1	panjang	ℓ	meter (m)
2	massa	m	kilogram (kg)
3	waktu	t	secon (s)
4	suhu	T	kelvin (K)
5	kuat arus	I	ampere (A)
6	intensitas	In	candela (cd)
7	jumlah zat	n	mol

Satuan standart dipilih yang dapat memenuhi persamaan umum dari sifat alam, misalnya satuan suhu K (kelvin), ternyata satuan ini dapat memenuhi perumusan sifat umum gas. Sedangkan satuan suhu lain seperti derajat celcius, reamur dan fahrenheit harus diubah ke kelvin terlebih dahulu.

Sudah tahukah kalian, ada berapa banyak besaran turunan? Jika kalian hitung maka jumlah besaran turunan akan terus berkembang sehingga jumlahnya cukup banyak. Semua besaran selain tujuh besaran pokok tersebut termasuk besaran turunan. Contohnya kecepatan, gaya, daya dan tekanan. Satuan besaran turunan dapat diturunkan dari satuan besaran pokok penyusunnya, tetapi banyak juga yang memiliki nama lain dari satuan-satuan tersebut. Contohnya dapat kalian cermati pada contoh berikut.

Penting

Setiap besaran pokok memiliki nilai standart yang telah ditentukan berlaku secara internasional. Satuan-satuan standart itu telah mengalami perkembangan.

Contohnya:

1 meter standart adalah panjang jalur yang dilalui oleh cahaya pada ruang hampa udara selama selang waktu $\frac{1}{299.792.458}$ sekron.

1 kg standart adalah massa yang sama dengan massa kilogram standart yang terbuat dari bahan *platinum-iridium* yang sekarang disimpan di Sevres, dekat Paris Prancis.

1 sekon standart adalah sebagai waktu yang diperlukan untuk 9.192.631.770 periode radiasi yang dihasilkan oleh atom Cesium 133.

CONTOH 1.11

Tentukan satuan besaran-besaran turunan berikut dalam satuan besaran pokok atau nama lainnya berdasarkan definisi besaran yang diketahui!

- Kecepatan adalah perpindahan tiap satu satuan waktu
- Percepatan adalah perubahan kecepatan tiap satu satuan waktu
- Gaya adalah perkalian massa dengan percepatan benda tersebut
- Tekanan sama dengan gaya persatuan luas

Penyelesaian

Satuan besaran turunan dapat diturunkan dari persamaan yang ada. Dari pengertian di atas diperoleh:

- Kecepatan:

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

satuan $\vec{\Delta s} = m$
satuan $\vec{\Delta t} = s$

satuan $v = \frac{m}{s}$

- Percepatan:

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Delta v}}{\vec{\Delta t}} = \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s^2}$$

- Gaya:

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

$$= m \frac{m}{s^2} = kg \cdot m \cdot s^{-2}$$

atau
sama dengan newton (N)

- Tekanan:

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

$$= \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$$

sama dengan $\frac{N}{m^2}$
atau Pascal (Pa)

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan satuan besaran-besaran berikut:

- usaha sama dengan gaya kali perpindahannya,
- massa jenis sama dengan massa persatuan volume,
- momentum sama dengan perkalian massa dengan kecepatannya!

Penting

Satuan-satuan besaran turunan dapat ditentukan dari satuan-satuan besaran pokok penyusunnya tetapi banyak besaran turunan yang memiliki satuan yang setara.

Contoh:

Satuan gaya : $1N = 1 \text{ kg m/s}^2$

Satuan tekanan: $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

Satuan energi :

$1\text{Joule} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$

Satuan daya :

$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/s}$

2. Dimensi

a. Definisi

Apakah kalian sudah mengetahui apa yang dinamakan dimensi? Untuk memahaminya kalian dapat mencermati pertanyaan berikut. Digolongkan dalam besaran apakah besaran gaya itu? Tentu kalian menjawab besaran turunan. Diturunkan dari besaran pokok apa saja gaya itu? Jika kalian cermati kembali contoh 1.11, maka kalian akan mengetahui satuan gaya yaitu kg m s^{-2} . Dari satuan ini dapat ditentukan besaran-besaran pokoknya yaitu massa, panjang dan dua besaran waktu. Penggambaran suatu besaran turunan tentang besaran-besaran pokok penyusunnya seperti di atas dinamakan *dimensi*.

Dimensi dari tujuh besaran pokok telah disusun dan digunakan sebagai dasar dimensi besaran turunan. Dimensi itu dapat kalian lihat pada tabel 1.9.

Menentukan dimensi suatu besaran turunan dapat ditentukan dari satuannya, tentunya dapat dilakukan dengan mengetahui persamaan yang ada. Coba kalian cermati contoh berikut.

Tabel 1.9.

Dimensi Besaran pokok

Besaran	Dimensi
Panjang	[L]
Massa	[M]
Waktu	[T]
Suhu	[θ]
Kuat arus	[I]
Intensitas	[J]
Jumlah zat	[N]

CONTOH 1.12

Tentukan dimensi dari besaran-besaran berikut!

- Percepatan
- Gaya
- Usaha

Penyelesaian

Menentukan dimensi suatu besaran dapat ditentukan dari satuannya. Coba kalian perhatikan kembali contoh 1.11 dan tabel 1.9.

- Percepatan \vec{a}

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

$$\rightarrow \frac{[\text{L}]}{[\text{T}]^2}$$

$$\text{Dimensi } \vec{a} = [\text{L}] [\text{T}]^{-2}$$

- Gaya F

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

$$\text{Satuan } \vec{F} = \text{kg m/s}^2$$

$$\text{Dimensi } \vec{F} = [\text{M}] [\text{L}] [\text{T}]^{-2}$$

- Usaha W

Usaha adalah gaya F kali perpindahan S

$$\text{Persamaan } W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

$$\text{Satuan } W = [\text{kg m/s}^2] \text{ m}$$

$$\text{Dimensi } W = [\text{M}] [\text{L}]^2 [\text{T}]^{-2}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan dimensi besaran-besaran berikut.

- | | |
|----------------|------------|
| a. volume | c. tekanan |
| b. massa jenis | d. energi |

Tabel 1.10.

Dimensi beberapa Besaran turunan

Besaran	Dimensi
1. Kecepatan	$[L][T]^{-1}$
2. Percepatan	$[L][T]^{-2}$
3. Luas	$[L]^2$
4. Berat	$[M][L][T]^{-2}$
5. Momentum	$[M][L][T]^{-1}$

b. Manfaat dimensi

Jika kalian memahami dimensi dengan seksama maka kalian akan menemukan suatu manfaat dari dimensi. Manfaat itu diantaranya adalah seperti berikut.

(1) Dimensi dapat digunakan untuk membuktikan kebenaran suatu persamaan.

Dalam ilmu fisika banyak dibantu dengan bentuk-bentuk penjelasan sederhana berupa persamaan fisika. Bagaimanakah cara kalian membuktikan kebenarannya? Salah satu caranya adalah dengan *analisa dimensional*. Cermati contoh soal berikut.

CONTOH 1.13

Sebuah benda yang bergerak diperlambat dengan perlambatan a yang tetap dari kecepatan v_0 dan menempuh jarak S maka akan berlaku hubungan $v_0^2 = 2 a S$. Buktikan kebenaran persamaan itu dengan analisa dimensional!

Penyelesaian

Kalian pasti masih ingat satuan besaran-besaran tersebut.

$$\begin{aligned} \text{kecepatan awal } v_0 &= \text{m/s} & \rightarrow [v_0] &= [L] [T]^{-1} \\ \text{percepatan } a &= \text{m/s}^2 & \rightarrow [a] &= [L] [T]^{-2} \\ \text{jarak tempuh } S &= \text{m} & \rightarrow [S] &= [L] \end{aligned}$$

Persamaan:

$$v_0^2 = 2 a S$$

Dimensinya:

$$\begin{aligned} [v_0^2] &= [a] [S] \\ [[L][T]^{-1}]^2 &= [L] [T^2] [M] \\ [L]^2 [T]^{-2} &= [L]^2 [T]^{-2} \end{aligned}$$

Dimensi kedua ruas sama berarti persamaannya benar.

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Buktikan kebenaran persamaan-persamaan fisika berikut.

- Gaya kali selang waktu sama dengan perubahan momentum.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \Delta \vec{v}$$

- Waktu jatuh suatu benda memenuhi:

$$t = \sqrt{2gh}$$

(2) Dimensi dapat digunakan untuk menurunkan persamaan suatu besaran dari besaran-besaran yang mempengaruhinya.

Untuk membuktikan suatu hukum-hukum fisika dapat dilakukan prediksi-prediksi dari besaran yang mempengaruhi. Dari besaran-besaran yang berpengaruh ini dapat ditentukan persamaannya dengan analisa dimensional. Bahkan hubungan antar besaran dari sebuah eksperimen dapat ditindak lanjuti dengan analisa ini. Perhatikan contoh soal berikut.

CONTOH 1.14

Setiap benda yang dimasukkan dalam fluida (zat cair) akan merasakan gaya tekan ke atas (gaya Archimedes). Gaya tekan ke atas ini dipengaruhi oleh massa jenis fluida ρ , percepatan gravitasi g dan volume benda yang tercelup V . Tentukan persamaan gaya tekan ke atas tersebut!

Penyelesaian

Diketahui besaran-besaran yang ada adalah:

$$\text{Gaya } F_A = [M] [L] [T]^{-2}$$

$$\text{Massa jenis } \rho = [M] [L]^{-3}$$

$$\text{Percepatan gravitasi } g = [L] [T]^{-2}$$

$$\text{Volume } V = [L]^3$$

Dari soal, persamaan besar gaya tekan ke atas itu dapat dituliskan:

$$F_A = \rho^x g^y V^z$$

Nilai x, y dan z dapat ditentukan dengan analisa kesamaan dimensi bagian kiri dan kanan seperti berikut.

$$\text{Dimensi } F_A = \text{Dimensi } \rho^x g^y V^z$$

$$\begin{aligned} [M] [L] [T]^{-2} &= \{[M] [L]^{-3}\}^x \{[L] [T]^{-2}\}^y \{[L]^3\}^z \\ &= [M]^x \cdot [L]^{-3x+y+3z} \cdot [T]^{-2y} \end{aligned}$$

Penting

Konstanta-konstanta tertentu dalam persamaan fisika akan memiliki suatu dimensi tertentu untuk memenuhi kesamaan dimensi pada kedua ruas persamaan. Tetapi untuk konstanta yang berupa angka pembanding tidak memiliki dimensi. Misalnya:

- angka 2 pada $v_0^2 = 2 a S$
- angka $\frac{1}{2}$ pada $E_k = \frac{1}{2} mv^2$
- angka 2π pada $t = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

Karena kedua ruas dimensinya harus sama maka dapat diperoleh:

$$\text{Pangkat [M]} : x = 1$$

$$\text{Pangkat [T]} : -2y = -2 \text{ berarti } y = 1$$

$$\text{Pangkat [L]} : -3x + y + 3z = 1$$

$$-3.1 + 1 + 3z = 1 \text{ berarti } z = 1$$

Dari nilai x , y dan z dapat diperoleh persamaan :

$$\mathbf{F}_A = \rho \mathbf{g} \mathbf{V}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Setiap benda yang bergerak melingkar akan dipengaruhi oleh gaya ke pusat yang dinamakan gaya sentripetal. Gaya ini dipengaruhi oleh massa benda m , jari-jari lintasan R dan kecepatannya v . Tentukan persamaan gaya sentripetal tersebut secara dimensional!



ATIHAN 1.3

1. Coba jelaskan kembali perbedaan dan hubungan besaran pokok dan besaran turunan!
2. Apakah yang kalian ketahui tentang dimensi? Coba jelaskan secara singkat dan tepat.
3. Tentukan satuan dan dimensi dari besaran-besaran berikut.
 - a. berat yaitu massa kali percepatan gravitasi,
 - b. tekanan hidrostatis,
 - c. gaya Archimedes,
 - d. energi potensial,
 - e. impuls yaitu gaya kali selang waktu!
4. Setiap pegas yang ditarik dengan gaya F tertentu maka pegas itu akan bertambah panjang misalnya sebesar Δx . Hubungan F dan Δx telah dijelaskan dalam hukum Hooks yaitu $F = k \Delta x$. k dinamakan konstanta pegas. Tentukan dimensi dan satuan konstanta k !
5. Dalam hukumnya, Newton juga menjelaskan bahwa antara dua benda bermassa yang berdekatan akan saling tarik menarik dengan gaya sebesar :

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \cdot G$$
 dinamakan konstanta gravitasi universal. Apakah G memiliki dimensi? Coba kalian tentukan dimensinya!
6. Analisalah secara dimensional apakah persamaan berikut benar ataukah salah!
 - a. Setiap benda yang dipercepat secara konstan akan berlaku:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$
 - b. Tekanan suatu fluida memenuhi:

$$P = \rho g h$$
 - c. Suatu benda yang ditarik gaya F sejauh S dengan arah yang sama (sejajar) dari keadaan diam akan berlaku:

$$F \cdot S = \frac{1}{2} m v^2$$
7. Sebuah benda yang jatuh bebas dapat diketahui bahwa kecepatan benda sesaat sampai di tanah akan dipengaruhi oleh ketinggian dan percepatan gravitasinya. Buktikan persamaan kecepatan jatuh tersebut secara dimensional!
8. Periode sebuah ayunan T diketahui hanya dipengaruhi oleh panjang tali dan percepatan gravitasi di tempat itu. Dari eksperimen dapat diketahui bahwa periode itu memiliki konstanta perbandingan 2π . Tentukan persamaan periode ayunan tersebut!

Rangkuman Bab 1

1. Definisi

Pengukuran adalah aktivitas membandingkan suatu besaran dengan besaran standart yang sudah ditetapkan terlebih dahulu.

Besaran adalah segala sesuatu yang didapat dari hasil pengukuran yang dinyatakan dalam bentuk angka.

2. Metode Pengolahan Data

a. *Metode generalisasi* yaitu metode penarikan simpulan yang bersifat umum dari suatu konsep fisika.

b. *Metode kesebandingan* yaitu analisa data dengan membandingkan dua besaran. Analisanya dapat menggunakan grafik.

Hubungan **sebanding**:

$X \sim Y$, grafiknya linier seperti di samping.

Hubungan **berbanding terbalik**:

$\frac{1}{Y} \sim X$, grafiknya hiperbola atau linier seperti di samping.

c. Metode statistik yaitu metode pengukuran suatu besaran. Nilainya memenuhi nilai rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

dan ralat kesalahan mutlak:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n(n-1)}}$$

3. Berdasarkan satuannya, besaran di bagi menjadi dua.

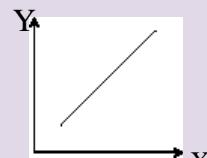
Besaran

Besaran pokok:

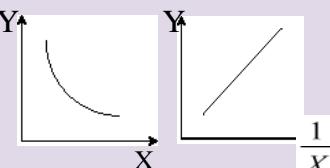
Satuannya telah ditentukan

Besaran turunan:

Satuannya diturunkan dari satuan besaran pokok penyusunnya



Y sebanding X



Y berbanding terbalik X

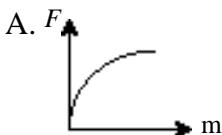
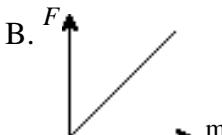
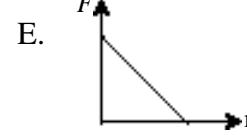
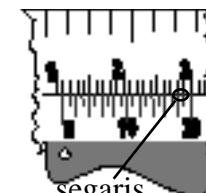
Tujuh besaran pokok, satuan dan dimensinya dapat dilihat pada tabel di bawah

No	Besaran	Satuan Dimensi
1	panjang	meter (m) [L]
2	massa	kilogram (kg) [M]
3	waktu	secon (s) [T]
4	suhu	kelvin (K) [θ]
5	kuat arus	ampere (A) [I]
6	intensitas	candela (cd) [J]
7	Jumlah zat	mol [N]

4. Dimensi besaran diantaranya memiliki manfaat:
- Dimensi dapat digunakan untuk membuktikan kebenaran suatu persamaan.
 - Dimensi dapat digunakan untuk menurunkan persamaan suatu besaran dari besaran-besaran yang mempengaruhinya.

Evaluasi Bab 1

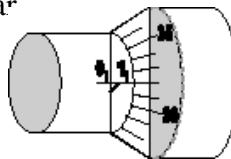
Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

- Gaya F yang diberikan pada benda sebanding dengan massa benda m. Grafik kesebandingan yang benar adalah
 - 
 - 
 - 
 - 
 - 
- Dua besaran memiliki hubungan : jika besaran yang satu diperbesar 2 kali maka besaran yang lain juga diperbesar 2 kali. Hubungan besaran ini adalah
 - sebanding
 - berbanding terbalik
 - berbanding lurus 4 kali
 - berbanding terbalik 4 kali
 - perkaliannya tetap
- Sebuah penghapus pensil diukur ketebalannya dengan jangka sorong. Penunjukkan skala utama dan noniusnya terlihat seperti gambar. Tebal penghapus itu sebesar
 - 18 mm
 - 10,8 mm
 - 1,8 mm
 - 1,88 mm

4. Sebuah jangka sorong memiliki skala nonius sejumlah 20 skala. Pengukuran ketebalan benda dengan jangka sorong tersebut tidak mungkin bernilai

- A. 20,5 mm D. 4,05 mm
 B. 2,60 mm E. 12,15 mm
 C. 3,18 mm

5. Aghnia mengukur tebal penghapus pensilnya dengan mikrometer. Posisi pengukurannya dapat terlihat seperti pada gambar



Tebal penghapus yang terukur sebesar

- A. 13,2 mm D. 1,32 mm
 B. 10,32 mm E. 1,032 mm
 C. 10,3 mm

6. Neraca O'Hauss dapat menunjukkan skala seperti gambar di bawah saat digunakan untuk mengukur benda. Hasil pengukuran itu menunjukkan massa benda sebesar



- A. 609 gr D. 105,9 gr
 B. 519 gr E. 15,9 gr
 C. 159 gr

7. Pada pengukuran panjang benda diperoleh hasil pengukuran 0,7060 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran tersebut adalah
 A. dua D. lima
 B. tiga E. enam
 C. empat

8. Hasil pengukuran panjang dan lebar suatu lantai adalah 12,61 m dan 5,2 m. Menurut aturan angka penting luas lantai tersebut adalah

- A. 65 m^2 D. $65,6 \text{ m}^2$
 B. $65,5 \text{ m}^2$ E. 66 m^2
 C. $65,572 \text{ m}^2$

9. Sebuah zat cair ditimbang massanya sebesar 457 gr. Sedangkan volumenya sebesar 25 ml. Massa jenis zat cair tersebut adalah

- A. 18,28 gr/ml D. 18 gr/ml
 B. 18,3 gr/ml E. 19 gr/ml
 C. 18,0 gr/ml

10. Dua buah satuan berikut yang merupakan satuan besaran turunan menurut Sistem Internasional (SI) adalah

- A. km jam^{-1} dan kg cm^{-1}
 B. joule.sekon⁻¹ dan dyne meter⁻¹
 C. newton.sekon dan g cm^{-3}
 D. liter dan newton cm
 E. kg meter^3 dan newton.meter

11. Diantara kelompok besaran di bawah ini yang hanya terdiri dari besaran turunan saja adalah

- A. kuat arus, massa, gaya
 B. suhu, massa, volume
 C. waktu, momentum, percepatan
 D. usaha, momentum, percepatan
 E. kecepatan, suhu, jumlah zat

12. Persamaan $P = \frac{F}{A}$ dimana P = tekanan, F = gaya bersatuhan newton (N) dan A = luas penampang bersatuhan meter persegi (m^2), maka dimensi tekanan P adalah

- A. MLT^{-1} D. ML^3T^{-2}
 B. $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$ E. ML^2T^{-1}
 C. ML^2T^{-2}

13. Daya dapat ditentukan dari perkalian gaya dengan kecepatannya $P = F.v$. Dimensi daya adalah

- A. MLT^{-3} D. ML^2T^{-2}
 B. MLT^2 E. ML^2T^{-3}
 C. ML^2T^{-1}

14. Besaran yang memiliki dimensi ML^2T^{-2} adalah

- A. gaya D. momentum
 B. daya E. usaha
 C. tekanan

15. Besaran berikut ini yang dimensinya sama dengan dimensi usaha ($W = F.S$) adalah

- A. momentum ($p = mv$)
 B. impuls ($I = F \cdot \Delta t$)
 C. daya ($P = \frac{W}{t}$)
 D. energi potensial ($E_p = mgh$)
 E. gaya ($F = m.a$)

B A B

2

BESARAN VEKTOR



Sumber : penerbit cv adi perkasa

Perhatikan dua anak yang mendorong meja pada gambar di atas. Apakah dua anak tersebut dapat mempermudah dalam mendorong meja? Tentu kalian sudah mengerti bahwa arah gaya dorong sangat menentukan, keduanya memiliki arah berlawanan sehingga akan mempersulit. Contoh lain seperti perahu yang menyeberangi sungai yang deras arusnya. Penyelesaian masalah-masalah ini perlu keterlibatan suatu besaran yaitu besaran vektor. Besaran inilah yang dapat kalian pelajari pada bab ini, sehingga setelah belajar kalian diharapkan dapat:

1. memahami definisi besaran vektor,
2. menguraikan sebuah vektor menjadi dua komponen saling tegak lurus dan sebidang,
3. menjumlahkan dua vektor sejajar dan vektor tegak lurus,
4. menjumlahkan dua vektor atau lebih dengan metode jajaran genjang,
5. menjumlahkan dua vektor atau lebih dengan metode poligon,
6. menjumlahkan dua vektor atau lebih dengan metode analitis,
7. menghitung hasil perkalian dua buah vektor (pengayaan).

A. Pendahuluan



Gambar 2.1

Mendorong meja berarti memberi gaya yang memiliki besar dan arah tertentu.

Pernahkah kalian berpikir bahwa aktivitas kita sehari-hari banyak melibatkan vektor? Contohnya pada saat parkir mobil. Seorang tukang parkir memberi aba-aba, “kiri...kiri”, artinya bergeraklah (perpindahan) dengan jarak tertentu ke arah kiri. Atau pada saat mundur. Tukang parkir berkata “terus...terus”. Aba-aba ini dapat berarti berilah kecepatan yang tetap dengan arah ke belakang.

Contoh yang lain adalah mendorong benda dengan gaya tertentu. Misalnya ada meja yang berada di tengah aula. Kemudian Andi diminta bapak guru untuk mendorong meja dengan gaya tertentu. Dapatkah Andi melakukannya dengan benar? Bisa jadi ada kesalahan. Supaya Andi dapat mendorong dengan benar maka sebaiknya harus ditunjukkan arahnya, misalnya dorong ke kanan dan meja dapat berpindah sesuai keinginan bapak guru.

Beberapa contoh besaran di atas selalu melibatkan nilai besaran itu dan butuh arah yang tepat. Besaran yang memiliki sifat seperti inilah yang disebut *besaran vektor*.

1. Besaran Skalar dan Vektor

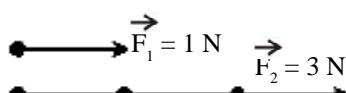
Di dalam ilmu Fisika dikenal banyak sekali besaran. Masih ingat ada berapakah jenis besaran menurut satunya? Tentu masih karena baru saja kalian pelajari bab pertama buku ini, yaitu ada dua : besaran pokok dan besaran turunan. Besaran juga dapat kalian bagi berdasarkan nilai dan arahnya. Berdasarkan nilai dan arahnya seperti contoh anak mendorong meja di atas, besaran dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu *besaran vektor* dan *besaran skalar*.

Besaran vektor adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. Besaran ini selain dipengaruhi nilainya juga akan dipengaruhi oleh arahnya. Contoh besaran ini adalah perpindahan. Ali berpindah 2 meter. Pernyataan ini kurang lengkap, yang lebih lengkap adalah Ali berpindah 2 meter ke kanan. Nilai perpindahannya 2 meter dan arahnya ke kanan. Contoh besaran vektor yang lain adalah kecepatan, gaya dan momentum.

Besaran skalar adalah besaran yang memiliki nilai saja. Contoh besaran skalar adalah massa. Perlukah kalian menimbang massa benda untuk mencari arah massa itu? Tentu tidak. Menimbang massa hanya dihasilkan nilai saja misalnya massa kalian 60 kg, berarti nilai massa itu 60 kg dan tidak memiliki arah. Contoh besaran skalar yang lain adalah jarak, waktu, volume dan energi.

2. Penggambaran Vektor

Untuk menulis suatu besaran vektor dapat langsung menyebutkan nilai dan arahnya, misalnya gaya $\vec{F} = 20 \text{ N}$ ke kanan, kecepatannya $v = 100 \text{ km/jam}$ ke utara dan berpindah sejauh 5 m ke barat. Tetapi untuk mempermudah pemahaman dan analisa, besaran vektor dapat diwakili dengan gambar yang berlaku secara universal yaitu gambar anak panah.



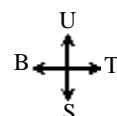
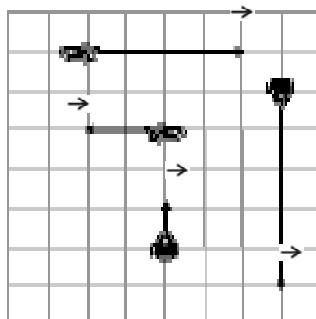
Gambar 2.2

Vektor gaya $\vec{F}_2 = 3 \vec{F}_1$

Anak panah dapat memberikan dua sifat yang dimiliki oleh vektor. Panjang anak panah menggambarkan nilai vektor sedangkan arah anak panah menggambarkan arah vektornya. Perhatikan contohnya pada *Gambar 2.2!* Gaya \vec{F}_1 besarnya 1 N arahnya ke kanan. Dengan acuan \vec{F}_1 dapat ditentukan \vec{F}_2 , yaitu besarnya 3 N arahnya ke kanan, karena panjang $\vec{F}_2 = 3$ kali \vec{F}_1 dan arahnya sama. Untuk lebih memahami pengertian vektor dapat kalian cermati contoh 2.1 berikut.

CONTOH 2.1

Pada *Gambar 2.3* terdapat empat perahu dengan kecepatan sesuai anak panahnya. Jika tiap kotak dapat mewakili 1 m/s, maka tentukan kecepatan tiap-tiap perahu!



Gambar 2.3

Empat perahu dengan berbagai kecepatan.

Penyelesaian

Arah kecepatan perahu dapat disesuaikan dengan arah mata angin.

Perahu A : $\vec{v}_A = 4 \text{ m/s}$ ke timur (4 kotak)

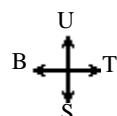
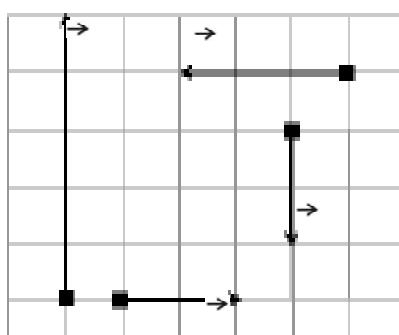
Perahu B : $\vec{v}_B = 5 \text{ m/s}$ ke selatan (5 kotak)

Perahu C : $\vec{v}_C = 2 \text{ m/s}$ ke barat (2 kotak)

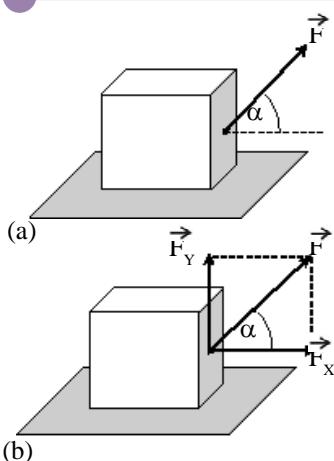
Perahu D : $\vec{v}_D = 1 \text{ m/s}$ ke utara (1 kotak)

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Beberapa balok kecil ditarik oleh gaya-gaya seperti pada gambar di bawah. Jika satu kotak mewakili 2 newton maka tentukan gaya-gaya tersebut.



B. Penguraian Vektor



Gambar 2.4

Gambar 2.1 →
Sebuah balok ditarik gaya F dengan arah α terhadap horizontal.

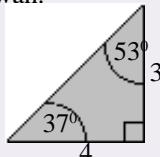
Coba kalian perhatikan sebuah balok bermassa m yang ditarik gaya \vec{F} yang membentuk sudut α terhadap horisontal seperti pada *Gambar 2.4(a)*. Jika lantainya licin maka kemanakah balok akan bergerak? Tentu kalian langsung dapat memprediksikannya, yaitu ke kanan. Tetapi dapat ditanya kembali, mengapa dapat bergerak seperti itu? Gaya \vec{F} merupakan besaran vektor. Vektor \vec{F} ini dapat diproyeksikan ke arah horisontal \vec{F}_x dan ke arah vertikal \vec{F}_y seperti pada *Gambar 2.4(b)*. Jika \vec{F}_y lebih kecil dibanding berat benda dan lantai licin maka balok akan bergerak searah \vec{F}_x yaitu arah horisontal ke kanan.

Contoh kejadian di atas ternyata berlaku umum untuk vektor. Setiap vektor dapat diuraikan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus. Komponen-komponen penguraian vektor ini disebut juga *proyeksi vektor*. Besar komponen atau proyeksi vektor ini memenuhi perbandingan trigonometri seperti persamaan berikut. Perhatikan Gambar 2.4(b).

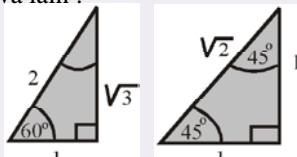
$$\begin{aligned}\vec{F}_x &= F \cos \alpha \\ \vec{F}_y &= F \sin \alpha \dots\end{aligned} \quad \dots \quad (2.1)$$

Penting

Pada segitiga siku-siku ada ukuran sisi dengan perbandingan yang sederhana $3 : 4 : 5$. Sudutnya memenuhi gambar di bawah.



Dua segitiga siku-siku istimewa lain :



Gambar 2.5

- (a) Perahu bergerak dengan kecepatan v , (b) proyeksi v .

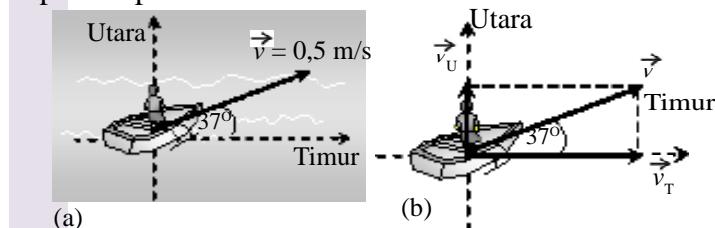
Jika diketahui dua komponen vektornya maka vektor yang diproyeksikan itu juga dapat ditentukan yaitu memenuhi dalil Pythagoras. Persamaannya sebagai berikut.

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

Apakah kalian bisa memahami penjelasan di atas, persamaan 2.1 dan persamaan 2.2? Untuk memahami penggunaan persamaan 2.1 dapat kalian cermati contoh 2.2 berikut.

CONTOH 2.2

→ Sebuah perahu bergerak dengan kecepatan $v = 0,5 \text{ m/s}$ dengan arah seperti Gambar 2.5(a). Jika airnya relatif tidak bergerak maka tentukan proyeksi kecepatan perahu pada arah utara dan timur!



Penyelesaian

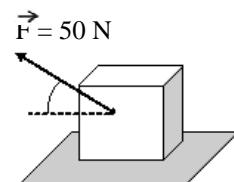
Proyeksi kecepatan perahu dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5(b). Sesuai persamaan 2.1, maka besarnya proyeksi kecepatan itu dapat memenuhi perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}\vec{v}_T &= \vec{v} \cos 37^\circ \\ &= 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{v}_U &= \vec{v} \sin 37^\circ \\ &= 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ m/s}\end{aligned}$$

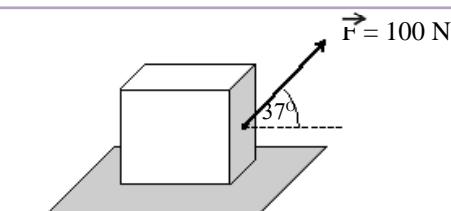
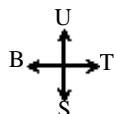
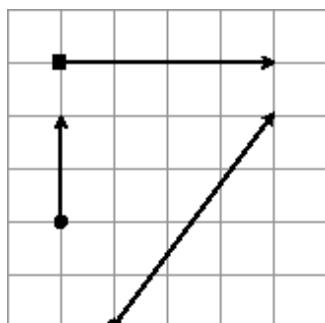
Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Coba kalian perhatikan sebuah balok yang ditarik gaya dengan besar dan arah seperti gambar. Tentukan proyeksi gaya pada arah vertikal dan horisontal.



ATIHAN 2.1

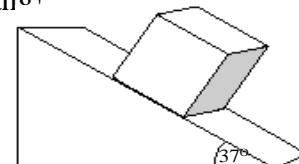
- Beberapa partikel ditarik gaya seperti diperlihatkan pada gambar di bawah. Setiap satu kotak mewakili gaya 1 newton. Tentukan besar dan arah gaya-gaya tersebut!



searah gerak balok tersebut!

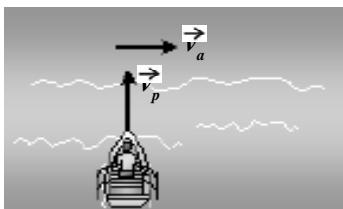
- Sebuah benda mengalami perpindahan sejauh 50 m dengan arah 60° dari timur ke utara. Tentukan proyeksi perpindahan tersebut pada arah timur dan utara!
- Balok yang cukup berat berada di atas lantai mendatar licin ditarik gaya $F = 400 \text{ N}$ seperti pada gambar berikut. Tentukan proyeksi gaya yang

- Sebuah balok yang berada di atas bidang miring licin dapat terlihat seperti gambar. Berat balok tersebut adalah 20 N ke bawah. Tentukan proyeksi berat balok tersebut pada arah sejajar bidang dan arah tegak lurus bidang!



- Perahu yang sedang bergerak memiliki dua komponen kecepatan. Ke arah utara dengan kecepatan $2,0 \text{ m/s}$ dan ke arah timur dengan kecepatan $1,5 \text{ m/s}$. Tentukan besar dan arah kecepatan perahu tersebut!

C. Resultan Vektor



Gambar 2.6

Perahu menyeberangi sungai menyilang tegak lurus.

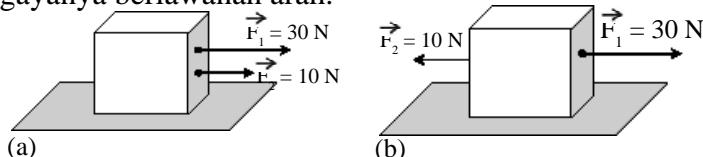
Pernahkah kalian naik atau melihat perahu penyeberangan di sungai? Contohnya seperti pada *Gambar 2.6*. Sebuah perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan \vec{v}_p diarahkan menyilang tegak lurus sungai yang arinya mengalir dengan arus \vec{v}_a . Dapatkah perahu bergerak lurus searah \vec{v}_p ? Jika tidak kemanakah arah perahu tersebut?

Jika kalian pernah naik atau melihatnya maka kalian pasti bisa menjawabnya bahwa perahu itu akan bergerak serong ke kanan. Penyebabnya adalah gerak perahu ini dipengaruhi oleh dua kecepatan v_p dan v_a dan hasil gerak yang ada disebut *resultan kecepatannya*. Dengan bahasa sederhana *resultan vektor dapat didefinisikan sebagai penjumlahan besaran-besaran vektor*.

Dua vektor atau lebih yang bekerja pada suatu benda dapat memiliki arah yang bervariasi. Untuk memudahkan dalam mempelajarinya dapat dibagi menjadi vektor sejajar, vektor tegak lurus dan vektor dengan sudut tertentu. Untuk langkah selanjutnya pahamilah penjelasan berikut.

1. Vektor-vektor segaris

Perhatikan sebuah balok pada bidang datar licin yang dipengaruhi dua gaya seperti pada *Gambar 2.7*. Berapakah gaya yang dirasakan balok? Tentu kalian sudah bisa menjawabnya. Pada bagian (a) : gaya yang dirasakan sebesar $(30 + 10) = 40 \text{ N}$. Sedangkan pada bagian (b) : gaya yang dirasakan sebesar $(30 - 10) = 20 \text{ N}$. Perbedaan ini terjadi karena arah gaya yang tidak sama, bagian (a) gayanya searah sedangkan bagian (b) gayanya berlawanan arah.



Dari contoh di atas dapat dibuat simpulan umum bahwa *resultan vektor-vektor searah dapat dijumlahkan dan resultan vektor-vektor berlawanan arah dapat dikurangkan*. Simpulan ini dapat diperkuat pula dengan menggunakan grafis. Perhatikan resultan vektor secara grafis pada *Gambar 2.8*.

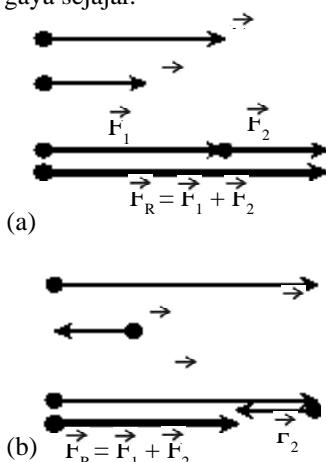
Secara grafis, resultan vektor dapat dilakukan dengan menyambungkan ujung vektor satu dengan pangkal vektor kedua dan seterusnya. Resultannya adalah vektor dari pangkal vektor pertama hingga ujung vektor terakhir.

2. Vektor Saling Tegak Lurus

Resultan dua vektor yang saling tegak lurus dapat kalian perhatikan lagi gerak perahu dalam sungai yang mengalir seperti pada *Gambar 2.6*. Kalian pasti sudah mengerti bahwa arah perahu hasil resultan kecepatan itu

Gambar 2.7

Balok yang dipengaruhi dua gaya sejajar.



Gambar 2.8

Resultan vektor secara grafis.

adalah miring. Resultan ini dapat digambarkan secara grafis seperti pada *Gambar 2.9*. Ternyata dua vektor yang saling tegak lurus maka resultannya dapat membentuk segitiga siku-siku. Sehingga besar vektor-vektor itu dapat memenuhi *dalil Pythagoras* seperti berikut.

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{b}{a} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

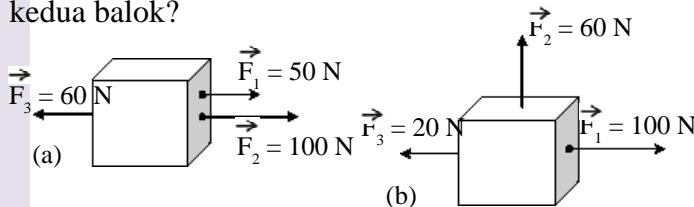
dengan : a, b = besar dua vektor yang saling tegak lurus

c = besar resultan vektor

α = sudut resultan vektor terhadap vektor a .

CONTOH 2.3

Dua buah balok dipengaruhi gaya-gaya seperti terlihat pada *Gambar 2.10*. Berapakah resultan gaya yang dirasakan kedua balok?



Penyelesaian

- Pada *Gambar 2.10(a)* terlihat gaya-gayanya segaris, berarti resultan gayanya memenuhi:

$$\begin{aligned} \vec{F}_R &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + (-\vec{F}_3) \\ &= 50 + 100 - 60 = 90 \text{ N ke kanan} \end{aligned}$$

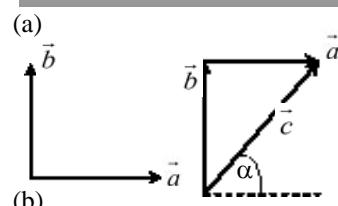
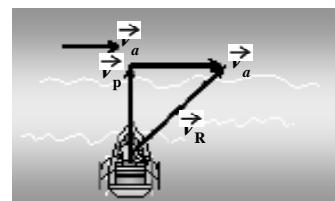
- Gaya-gaya pada balok *Gambar 2.10(b)*.

\vec{F}_1 dan \vec{F}_2 segaris berlawanan arah dan tegak lurus dengan \vec{F}_3 sehingga berlaku *dalil Pythagoras*:

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{(F_1 - F_3)^2 + F_2^2} \\ &= \sqrt{(100 - 20)^2 + 60^2} = \sqrt{6400 + 3600} = 100 \text{ N} \end{aligned}$$

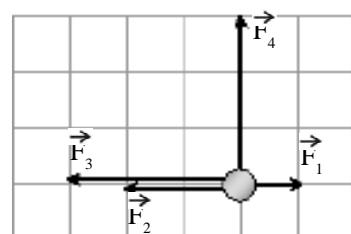
Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah bola ditarik empat gaya seperti pada *Gambar 2.11*. Jika satu kotak mewakili 1 newton maka tentukan resultan gaya yang bekerja pada bola itu!

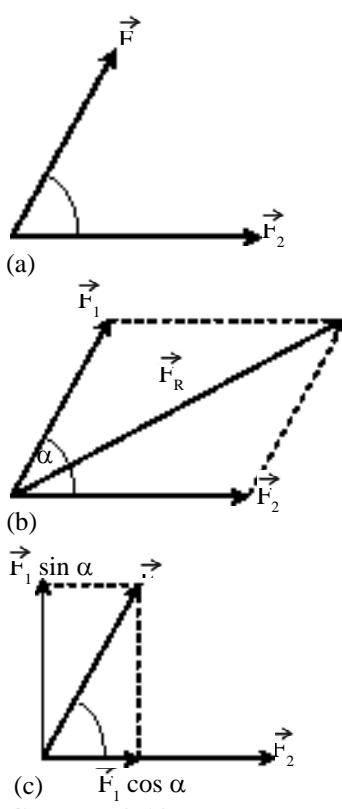


Gambar 2.9
(a) Resultan kecepatan perahu dan (b) resultan dua vektor \vec{a} dan \vec{b} yang tegak lurus.

Gambar 2.10
Balok ditarik beberapa gaya (a) sejajar dan (b) ada yang tegak lurus.



Gambar 2.11
Bola ditarik empat gaya



Gambar 2.12

3. Vektor dengan Sudut Tertentu

Untuk meresultankan vektor ada berbagai metode, diantaranya yang perlu kalian pelajari adalah metode *jajaran genjang*, metode *poligon* dan metode *analitis*. Pahamilah penjelasan berikut.

a. Metode Jajaran Genjang

Sudah tahukah kalian dengan metode *jajaran genjang*? Tentu kalian sudah bisa membayangkan dari namanya. *Metode jajaran genjang* adalah metode penjumlahan dua vektor dengan menggambarkan garis-garis sejajar vektornya melalui ujung vektor yang lain sehingga terbentuk *jajaran genjang*. Contohnya seperti pada *Gambar 2.12(b)*. Resultan vektornya dinyatakan oleh diagonalnya.

Besar resultan vektornya dapat diukur dari panjang diagonalnya jika penggambarannya benar. Secara matematis dapat dilakukan penurunan rumus dengan bantuan *Gambar 2.12(c)*. Dengan menggunakan sifat proyeksi vektor maka vektor F_1 dapat diproyeksikan ke arah sejajar dan tegak lurus F_2 , sehingga ada dua vektor yang saling tegak lurus yaitu:

$$F_1 \sin \alpha \text{ dan } (F_1 \cos \alpha + F_2)$$

Resultan kedua vektor ini memenuhi *dalil Pythagoras* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_R^2 &= (F_1 \sin \alpha)^2 + (F_1 \cos \alpha + F_2)^2 \\ &= F_1^2 \sin^2 \alpha + F_1^2 \cos^2 \alpha + F_2^2 + 2 F_2 F_1 \cos \alpha \\ &= F_1^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha \end{aligned}$$

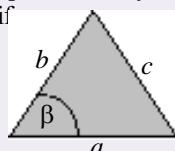
Pada pelajaran matematika kalian pasti mengenal rumus identitas $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, sehingga resultan vektor di atas memenuhi:

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

Persamaan 2.4 inilah yang kemudian dikenal sebagai *rumus cosinus*.

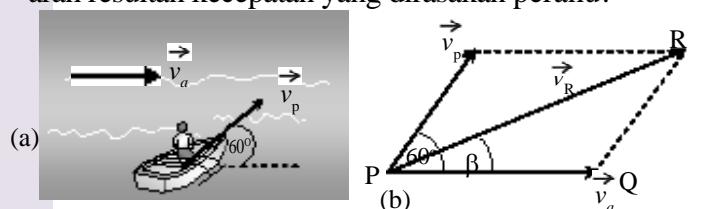
Ingat

Rumus cosinus ini juga berlaku seperti pada segitiga, tetapi persamaannya menjadi negatif



CONTOH 2.4

Sebuah perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan 3 m/s diarahkan membentuk sudut 60° terhadap arus sungai. Kecepatan air sungai 2 m/s. Tentukan besar dan arah resultan kecepatan yang dirasakan perahu!



Gambar 2.13

Perahu bergerak serong terhadap arah arus sungai

Penyelesaian

Resultan kecepatan perahu dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.13(b). Besar kecepatan resultan memenuhi rumus cosinus:

$$\begin{aligned} v_p^2 &= v_a^2 + v_p^2 + 2 v_a v_p \cos 60^\circ \\ &= 2^2 + 3^2 + 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} = 19 \\ v_R &= \sqrt{19} = 4,4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

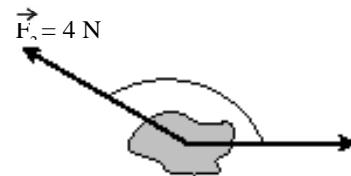
Arah resultan kecepatannya dapat digunakan rumus cosinus pada segitiga PQR.

$$\begin{aligned} v_p^2 &= v_a^2 + v_R^2 - 2 v_a v_R \cos \beta \\ 3^2 &= 2^2 + (\sqrt{19})^2 - 2 \cdot 2 \cdot 4,4 \cos \beta \\ -14 &= -17,6 \quad \cos \beta = -0,8 \end{aligned}$$

berarti $\beta = \arccos(-0,8) = 127^\circ$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda ditarik dua gaya seperti pada Gambar 2.14. Tentukan besar dan arah resultan gaya terhadap \vec{F}_1 !



Gambar 2.14

b. Metode Poligon

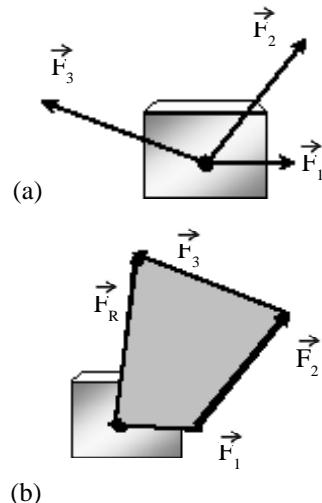
Merelatkannya vektor juga bisa menggunakan metode poligon. Sudah tahukah kalian dengan metode poligon? *Metode poligon* adalah cara merelatkan vektor dengan cara menggambar. Salah satu vektor sebagai acuan dan vektor lain disambungkan dengan pangkal tepat pada ujung vektor sebelumnya. Resultan vektornya dapat dibentuk dengan menggambar anak panah dari pangkal awal hingga ujung akhir.

Coba kalian perhatikan Gambar 2.15. Sebuah balok dipengaruhi tiga gaya. Resultan gaya yang bekerja pada balok memenuhi $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. Dengan metode poligon dapat digambarkan dengan acuan \vec{F}_1 dilanjutkan \vec{F}_2 dan \vec{F}_3 seperti pada Gambar 2.15(b).

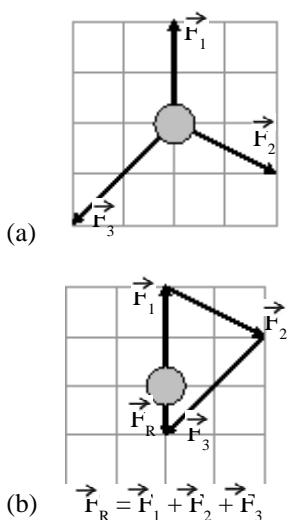
Pada suatu keadaan tertentu metode poligon dapat mempermudah penyelesaian perhitungan resultan vektor. Coba kalian pahami contoh soal berikut.

CONTOH 2.5

Perhatikan Gambar 2.16(a). Sebuah bola ditarik oleh tiga gaya dengan arah berbeda-beda. Jika satu petak mewakili 2 newton maka tentukan resultan gaya yang bekerja pada balok!



Gambar 2.15



Gambar 2.16

Resultan vektor dengan metode poligon.

Penyelesaian

Tiga gaya pada bola digambarkan pada kertas berpetak maka dapat ditentukan resultannya dengan metode poligon.

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Dengan persamaan ini dapat digambarkan resultan gayanya seperti pada *Gambar 2.16(b)*. Dari gambar terlihat bahwa panjang F_R satu petak ke bawah, berarti:

$$F_R = 1 \times 2 \text{ N} = 2 \text{ N ke bawah}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Seekor semut berpindah dari suatu titik acuan. Dari titik acuan tersebut semut bergerak sejauh 50 cm dengan sudut 37° terhadap arah utara. Kemudian berpindah lagi sejauh 40 cm ke barat dan diteruskan sejauh 3 m ke selatan. Tentukan perpindahan total semut tersebut.

c. Metode Analitis

Di depan kalian telah belajar tentang proyeksi vektor. Masih ingatkah sifat vektor tersebut? Ternyata sifat ini dapat digunakan untuk menentukan resultan vektor yang sudutnya bervariasi dan jumlahnya dua atau lebih.

Jika beberapa vektor bekerja pada satu titik maka vektor-vektor itu dapat diproyeksikan pada dua arah yang saling tegak lurus. Vektor-vektor yang sejajar dapat ditentukan resultannya dengan cara menjumlahkan atau mengurangkan. Masih ingat cara ini? Kedua resultan pada arah sejajar ini pasti saling tegak lurus sehingga resultan akhirnya dapat menggunakan *dalil Pythagoras*. Metode dengan langkah-langkah seperti inilah yang dinamakan *metode analitis*.

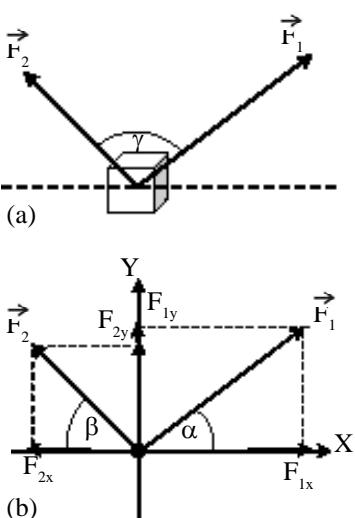
Contoh metode analitis ini dapat dilihat pada *Gambar 2.17(a)*. Dua gaya \vec{F}_1 dan \vec{F}_2 bekerja pada benda dengan sudut γ . Pada benda itu dapat dibuat sumbu X dan sumbu Y seperti pada *Gambar 2.17(b)*, sehingga besar \vec{F}_1 dan \vec{F}_2 dapat diproyeksikan ke arah sumbu X dan sumbu Y. Resultan proyeksi-proyeksi gaya yang searah memenuhi persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= F_{1x} - F_{2x} \\ \Sigma F_y &= \Sigma F_{1y} + F_{2y}\end{aligned}$$

Resultan gaya-gaya tersebut dapat memenuhi persamaan berikut.

$$F_R^2 = \Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$$



Gambar 2.17

dengan F_R = besar resultan gaya

θ = sudut F_R terhadap sumbu X

Pahamilah metode analitis ini dengan mencermati contoh soal berikut.

CONTOH 2.6

Tiga buah gaya bekerja pada benda seperti pada Gambar 2.18(a). Gunakan $\sqrt{3} = 1,7$ dan $\sin 37^\circ = 0,6$. Tentukan besar dan arah resultan gaya-gaya tersebut!

Penyelesaian

Karena gaya lebih dari dua dan arah-arahnya lebih mudah dibentuk sumbu tegak lurus maka penyelesaian soal ini dapat digunakan metode analitis. Pembuatan sumbu tegak lurus (XY) dan proyeksi-proyeksinya dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.18(b), sehingga dapat diperoleh:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= F_{1x} + F_{2x} - F_3 \\&= 40 \cos 60^\circ + 25 \sin 37^\circ - 21 \\&= 40 \cdot \frac{1}{2} + 25 \cdot 0,6 - 21 = 14 \text{ N} \\ \Sigma F_y &= F_{1y} - F_{2y} \\&= 40 \sin 60^\circ - 25 \cos 37^\circ \\&= 40 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} - 25 \cdot 0,8 = 14 \text{ N}\end{aligned}$$

Jadi resultan gayanya memenuhi:

$$\begin{aligned}F_R^2 &= \Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2 \\&= 14^2 + 14^2 = 392\end{aligned}$$

$$F_R = \sqrt{392} = 14\sqrt{2} \text{ N}$$

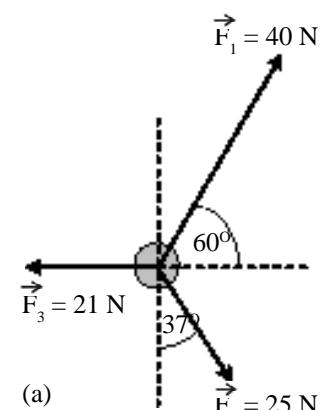
Dan arah F_R terhadap sumbu X memenuhi:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} = \frac{14}{14} = 1$$

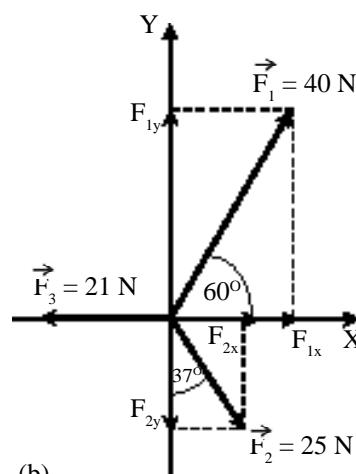
Berarti $\theta = 45^\circ$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Tiga buah gaya yang bekerja pada satu titik dapat dilihat seperti pada Gambar 2.19. Berapakah besar resultan gaya pada titik tersebut? Berapakah sudut yang dibentuk resultan gaya dan gaya F_1 ?

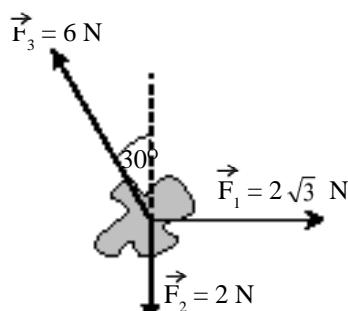


(a)



(b)

Gambar 2.18



Gambar 2.19

Tiga gaya bekerja pada satu titik materi.

4. Selisih Vektor

Kalian telah memahami tentang resultant vektor. Resultan sama dengan jumlah. Selain operasi jumlah, di matematika juga dikenal dengan operasi selisih. Jika diterapkan pada besaran vektor dinamakan selisih vektor. Sesuai definisi operasi selisih, selisih vektor dapat dianggap sebagai jumlah dari negatif vektornya. Perhatikan persamaan berikut. Vektor c adalah selisih vektor a dan vektor b , berarti berlaku:

Vektor negatif adalah vektor yang memiliki besar yang sama dengan vektor tersebut tetapi arahnya berlawanan. Dalam ilmu fisika selisih vektor ini disebut juga dengan *relatif vektor*. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 2.7

Sebuah perahu bergerak dengan kecepatan 4 m/s pada arah menyilang tegak lurus pada arus sungai. Kecepatan arus sungai sebesar 3 m/s seperti pada Gambar 2.20(a). Tentukan kecepatan perahu relatif terhadap arus sungai!

Penyelesaian

Secara vektor, kecepatan relatif perahu terhadap arus sungai memenuhi:

$$\vec{v}_{rel} = \vec{v}_p - \vec{v}_a$$

Selisih vektor kecepatan ini dapat dianggap resultant dari vektor \vec{v}_p dan vektor $(-\vec{v}_a)$. Resultan ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.20(b). Dari gambar itu maka besar kecepatan relatifnya memenuhi:

$$\begin{aligned}v_{\text{rel}}^2 &= v_p^2 + v_a^2 \\&= 42 + 32 = 25 \\v_{\text{rel}} &= \sqrt{25} = 5 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Arah kecepatan relatif itu dapat ditentukan dengan perbandingan trigonometri berikut.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_a}{v_s} = \frac{3}{4} \text{ berarti } \alpha = 37^\circ$$

Berarti arah kecepatan relatifnya sebesar $\beta = 90^\circ + \alpha$
 $\equiv 127^\circ$ terhadap arah arusnya.

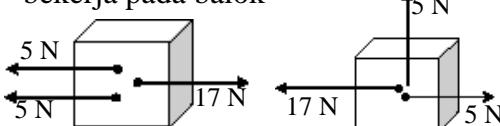
Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Di perempatan jalan Dhania berjalan dengan kecepatan 2 m/s ke utara. Kemudian ada sepeda melintas dengan kecepatan $2\sqrt{3} \text{ m/s}$ ke timur. Tentukan kecepatan sepeda relatif terhadap Dhania!

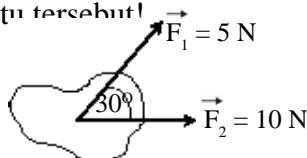


ATIHAN 2.2

- Dua buah perahu P dan Q masing-masing mesinnya mampu menggerakkan perahu dengan kecepatan 8 m/s . Perahu P digerakkan searah arus sungai sedangkan perahu Q digerakkan berlawanan arah arus sungai. Pada saat itu arus sungainya memiliki kecepatan 5 m/s . Tentukan kecepatan resultan yang dirasakan perahu tersebut!
- Tiga orang siswa menarik balok dengan gaya dan posisi seperti pada gambar di bawah. Berapakah resultan gaya yang bekerja pada balok?



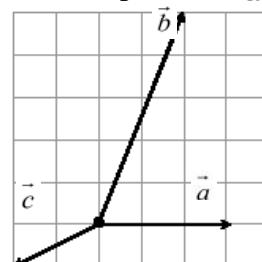
- Sebuah perahu akan menyeberangi sungai yang airnya mengalir ke utara dengan kecepatan arus $2,4 \text{ m/s}$. Kemudian perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan $3,2 \text{ m/s}$ dijalankan dengan arah tepat tegak lurus arus menuju seberang sungai. Tentukan besar dan arah kecepatan resultan perahu tersebut!
- Sebuah batu ditarik oleh dua gaya seperti pada gambar di bawah. Tentukan resultan gaya yang bekerja pada batu tersebut!



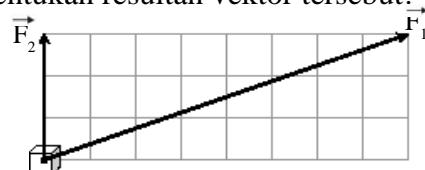
- Seseorang mengemudikan perahu dengan besar kecepatan 4 m/s menyeberangi sungai yang arusnya juga 4 m/s . Kemanakah perahu harus

diarahkan terhadap arus sungai agar kecepatan resultannya juga sebesar 4 m/s ?

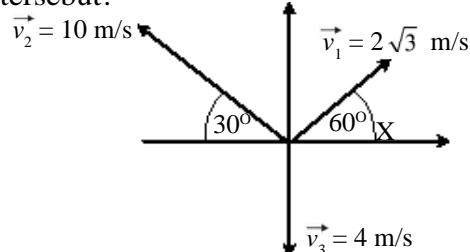
- Vektor-vektor yang bekerja dari suatu titik dapat dilihat seperti gambar. Jika satu petak mewakili 1 satuan maka tentukan besar dan arah resultan vektor terhadap vektor \vec{a} !



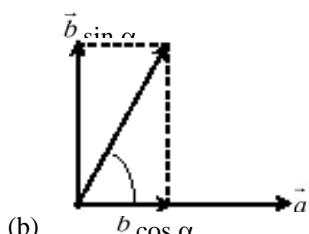
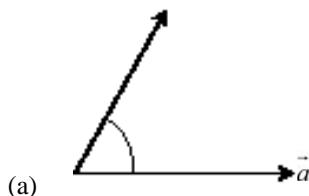
- Pada balok bekerja dua gaya yang dapat dipasang pada kertas berpetak seperti gambar di bawah. Jika satu petak mewakili 3 newton maka tentukan resultan vektor tersebut!



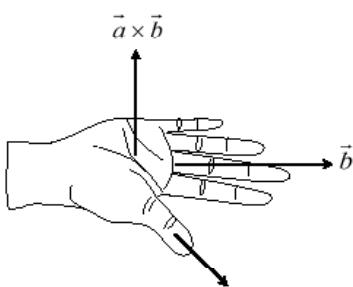
- Tiga buah vektor kecepatan bekerja dari satu titik seperti pada gambar di bawah. Tentukan resultan kecepatan tersebut!



D. Perkalian Vektor



Gambar 2.21



Gambar 2.22
Kaedah tangan kanan

Selain operasi penjumlahan (resultan) dan operasi pengurangan (relatif), besaran vektor juga memiliki operasi perkalian. Seperti yang diketahui bahwa konsep-konsep, hukum-hukum atau teori-teori fisika dapat dinyatakan dalam bentuk perumusan yang banyak berupa perkalian. Misalnya gaya : $\vec{F} = m \vec{a}$; usaha : $W = \vec{F} \cdot \vec{S}$ dan momen gaya: $\tau = \vec{r} \times \vec{F}$. Sudah tahukah kalian tentang sifat-sifat perkalian vektor ini? Jika belum dapat kalian cermati penjelasan berikut.

Sifat perkalian vektor ini sangat berkaitan dengan penguraian vektor. Coba kalian perhatikan *Gambar 2.21*. Dua vektor \vec{a} dan \vec{b} membentuk sudut α . Vektor \vec{b} dapat diproyeksikan pada arah sejajar dan tegak lurus \vec{a} . Berdasarkan proyeksi vektor ini, dapat dikenal dua jenis perkalian vektor. Pertama, perkalian vektor \vec{a} dengan proyeksi \vec{b} sejajar \vec{a} dinamakan perkalian titik (dot product). Hasil perkalian vektor ini merupakan besaran skalar. Kedua, perkalian vektor \vec{a} dengan proyeksi \vec{b} yang tegak lurus \vec{a} dinamakan perkalian silang (cross product). Hasil perkalian vektor ini merupakan besaran vektor. Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\vec{a} \cdot \vec{b} &= a \cdot b \cos \alpha \\ |\vec{a} \times \vec{b}| &= a \cdot b \sin \alpha\end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

dengan : $a =$ besar vektor \vec{a}
 $b =$ besar vektor \vec{b}
 $|\vec{a} \times \vec{b}| =$ besar perkalian silang vektor

Untuk menentukan arah vektor hasil perkalian silang dapat digunakan kaedah tangan kanan seperti pada *Gambar 2.22*.

CONTOH 2.8

1. Balok yang berada pada bidang datar licin ditarik oleh gaya 200 N dengan arah membentuk sudut 60° terhadap arah horizontal seperti pada *Gambar 2.23*. Pada saat balok berpindah 8 m maka tentukan usaha yang dilakukan oleh gaya F.

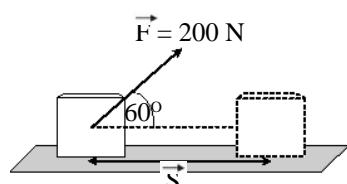
Penyelesaian

Usaha dapat didefinisikan sebagai perkalian titik gaya yang bekerja selama perpindahannya dengan perpindahannya. Berarti dapat diperoleh:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

$$= F \cdot S \cos 60^\circ = 200 \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} = 800 \text{ joule}$$

Usaha merupakan besaran skalar



Gambar 2.23

2. Perhatikan Gambar 2.24(a). Sebuah batang OA sepanjang 3 m dengan titik O sebagai poros yang dapat menjadi sumbu putar. Pada titik A ditarik gaya $F = 50 \text{ N}$ dengan sudut 30° . Batang tersebut dapat berputar karena memiliki momen gaya. Momen gaya didefinisikan sebagai hasil perkalian silang antara lengan r dengan gaya yang bekerja. Tentukan besar momen gaya tersebut.

Penyelesaian

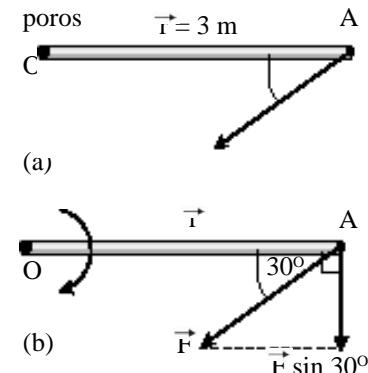
Dari definisi momen gaya yang ada dapat diperoleh:

$$\begin{aligned}\tau &= |\vec{r} \times \vec{F}| \\ &= r \cdot F \sin 30^\circ \\ &= 3 \cdot 50 \cdot \frac{1}{2} = 75 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Sesuai kaedah tangan kanan, momen ini dapat memutar batang searah jarum jam dan arah τ adalah masuk bidang gambar.

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Benda jatuh dari ketinggian 2 m dipengaruhi oleh gaya berat yang arahnya ke bawah. Jika berat benda 100 N ($m = 10 \text{ kg}$) maka tentukan usaha yang dilakukan oleh gaya berat tersebut hingga sampai tanah.



Gambar 2.24

Ingat

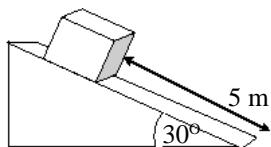
Perkalian vektor memiliki sifat seperti berikut :

- Perkalian titik bersifat komutatif
 $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$
- Perkalian silang tidak berlaku komutatif
 $\vec{a} \times \vec{b} = \vec{b} \times \vec{a}$

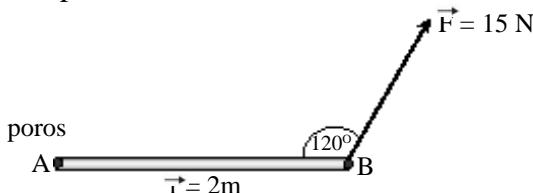


ATIHAN 2.3

1. Balok bermassa 5 kg (berat 50 N) yang berada di atas bidang miring yang licin dapat menggeser ke bawah sejauh 5 m seperti pada gambar. Berapakah usaha gaya berat tersebut?

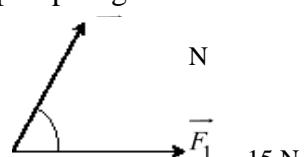


2. Perhatikan gaya yang bekerja pada batang berikut. Tentukan besar momen gaya yang bekerja pada batang dengan poros titik A. Diketahui $\tau = \vec{r} \times \vec{F} l$.



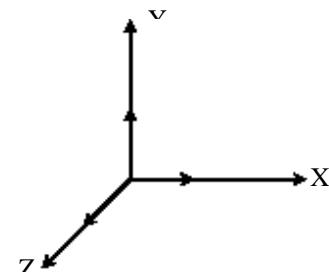
3. Dua vektor membentuk sudut 53° ($\sin 53^\circ = 0,8$) seperti pada gambar. Tentukan nilai dari :

- $\vec{F}_1 \times \vec{F}_2$
- $\vec{F}_1 \bullet \vec{F}_2$

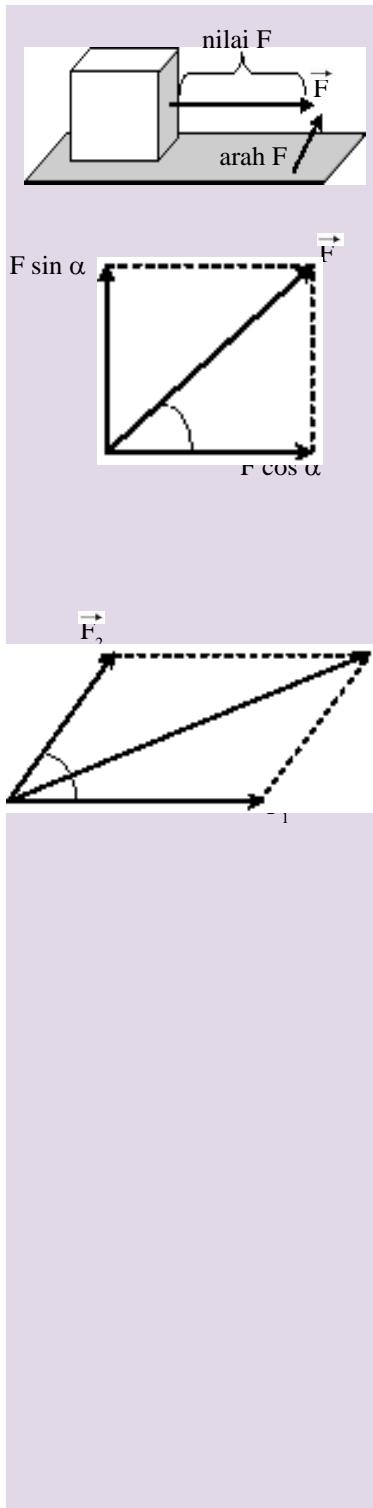


4. Vektor satuan pada arah sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z dinotasikan dengan i , j , dan k seperti pada gambar. Dengan menggunakan persamaan 2.6, tentukan:

- $\vec{i} \bullet \vec{i}$
- $\vec{i} \bullet \vec{j}$
- $\vec{k} \bullet \vec{k}$
- $\vec{i} \times \vec{j}$
- $\vec{j} \times \vec{k}$
- $\vec{j} \times \vec{i}$



Rangkuman Bab 2



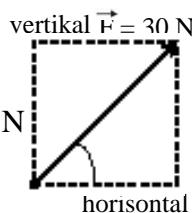
- Besaran vektor* adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. Untuk menjelaskannya dapat digambarkan dengan anak panah. Contohnya balok ditarik gaya F seperti pada gambar di samping. Besarnya gaya itu dinyatakan dari panjangnya anak panah. Sedangkan arah gaya itu ditentukan dari arah anak panah.
- Sebuah vektor dapat diuraikan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus dan sebidang dengan tujuan tertentu. Contohnya seperti pada gambar di samping. Proyeksinya memenuhi rumus-rumus perbandingan trigonometri.
- Resultan vektor sejajar atau segaris dapat langsung dijumlahkan jika searah dan dikurangkan jika berlawanan arah.
- Dua vektor yang saling tegak lurus maka resultannya dapat digunakan metode grafis (poligon) sehingga membentuk segitiga siku-siku. Besar resultannya memenuhi *dalil Pythagoras*.
- Jika dua vektor membentuk sudut α maka resultannya dapat digunakan metode *jajaran genjang*. Gambarnya dapat dilihat di samping dan berlaku rumus aturan cossinus.
- $$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$
- Metode poligon* (metode grafis) merupakan cara meresultankan vektor dengan menyambungkan gambar-gambar vektor tersebut.
- Metode analitis* dapat dilakukan dengan langkah:
 - memproyeksikan vektor-vektor pada dua sumbu tegak lurus,
 - menentukan resultant setiap proyeksi : ΣF_x dan ΣF_y ,
 - resultan vektor memenuhi *dalil Pythagoras*.
- Perkalian vektor ada dua jenis yaitu:
 - Perkalian titik (dot product)*
 $a \bullet b = a \cdot b \cos \alpha \rightarrow$ hasil skalar
 - Perkalian silang (*cross product*)
 $| \vec{a} \times \vec{b} | = a b \sin \alpha \rightarrow$ hasil vektor
arahnya sesuai kaedah tangan kanan
ibu jari \rightarrow arah \vec{a}
4 jari \rightarrow arah \vec{b}
telapak \rightarrow arah $\vec{a} \times \vec{b}$

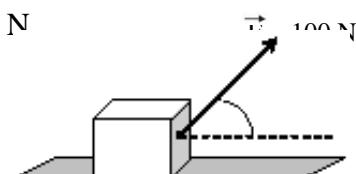
Evaluasi Bab 2

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Besaran-besaran berikut yang dipengaruhi arahnya adalah

A. massa	D. jarak
B. waktu	E. kecepatan
C. usaha	
 2. Perhatikan gambar. Proyeksi vektor pada arah vertikal dan horisontal sebesar

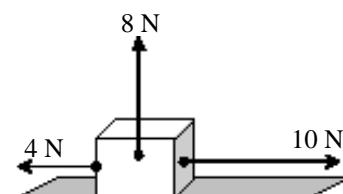
A. 15 N dan $15\sqrt{3}\text{ N}$	
B. $15\sqrt{3}\text{ N}$ dan 15 N	
C. $15\sqrt{2}\text{ N}$ dan $15\sqrt{2}\text{ N}$	
D. 30 N dan $30\sqrt{3}\text{ N}$	
E. $30\sqrt{3}\text{ N}$ dan 30 N	
 3. Sebuah balok cukup berat berada di atas lantai mendatar licin ditarik gaya seperti pada gambar. $\tan 37^\circ = 0,75$. Komponen gaya yang searah gerak benda tersebut adalah

A. $50\sqrt{3}\text{ N}$	
B. 80 N	
C. 75 N	
D. 60 N	
E. 50 N	
 4. Perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan $1,2\text{ m/s}$ bergerak menelusuri sungai searah arusnya. Jika kecepatan arus air saat itu sebesar $0,5\text{ m/s}$ maka resultan vektor tersebut sebesar

A. $0,6\text{ m/s}$	
B. $0,7\text{ m/s}$	
C. $1,3\text{ m/s}$	
D. $1,7\text{ m/s}$	
E. $2,4\text{ m/s}$	
 5. Seseorang ingin menyeberangi sungai deras dengan perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan 2 m/s . Kecepatan arus sungai $1,2\text{ m/s}$. Supaya orang tersebut dapat menyeberang sungai secara tegak lurus arus sungai maka perahunya harus diarahkan dengan sudut α terhadap arus sungai. Besar α adalah

A. 37°	D. 127°
B. 53°	E. 143°
C. 90°	
 6. Vektor $\vec{a} = 3$ satuan, vektor $\vec{b} = 4$ satuan dan $\vec{a} + \vec{b} = 5$ satuan, besar sudut yang diapit oleh vektor a dan b adalah

A. 90°	D. 120°
B. 45°	E. 180°
C. 60°	
- (EBTANAS, 1986)
7. Sebuah balok ditarik tiga gaya seperti pada gambar. Resultan gaya yang bekerja pada balok sebesar

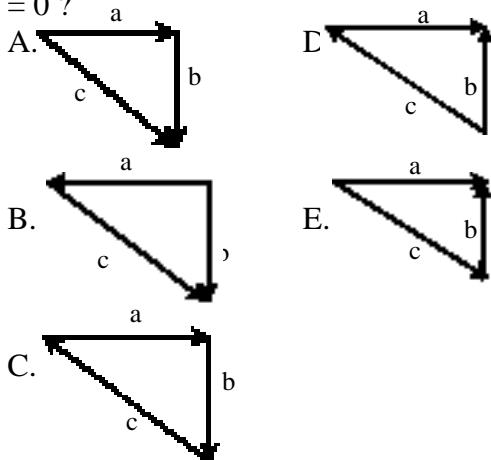
A. 2 N	
B. 6 N	
C. 10 N	
D. 14 N	
E. 22 N	
 8. Dua buah gaya sama besar yaitu 10 N membentuk sudut 120° satu sama lain. Selisih kedua vektor tersebut adalah

A. 0 N	
B. $10\sqrt{2}\text{ N}$	
C. $10\sqrt{3}\text{ N}$	
D. $10\sqrt{2}\text{ N}$	
E. 20 N	

9. Ditentukan 2 buah vektor yang sama besarnya yaitu F . Bila perbandingan antara besar jumlah dan besar selisih kedua vektor sama dengan $\sqrt{3}$, maka sudut yang dibentuk kedua vektor itu adalah
- A. 30° D. 60°
 B. 37° E. 120°
 C. 45°

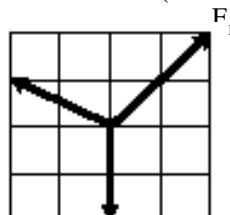
(SPMB, 2002)

10. Gambar manakah dari vektor berikut yang memenuhi persamaan $a + b + c = 0$?



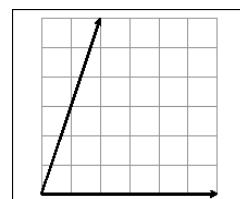
11. Tiga buah vektor gaya terlihat seperti gambar. Besar resultan ke tiga vektor tersebut adalah (1 skala = 1 newton)

- A. 5 N
 B. 4 N
 C. 3 N
 D. 2 N
 E. 1 N



12. Perhatikan vektor-vektor yang besar dan arahnya terlukis pada kertas berpetak seperti gambar di samping. Jika panjang satu petak adalah dua newton (N), maka besar resultant kedua vektor adalah

- A. 16 N
 B. 18 N
 C. 20 N
 D. 22 N
 E. 24 N

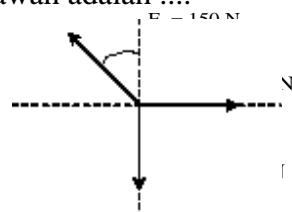


13. Tiga buah vektor diresultankan dengan metode poligon ternyata dapat membentuk segitiga. Berarti resultanya adalah

- A. nol D. luas segitiga
 B. positif E. keliling segitiga
 C. negatif

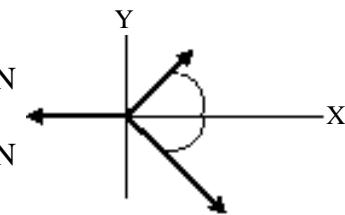
14. Besar resultant ketiga gaya pada gambar di bawah adalah

- A. 125 N
 B. 100 N
 C. 75 N
 D. 50 N
 E. 25 N



15. Perhatikan gambar gaya-gaya di bawah ini! Besar resultant ketiga gaya tersebut adalah...

- A. 4,0 N
 B. $4\sqrt{3}$ N
 C. 6,0 N
 D. $6\sqrt{3}$ N
 E. 8 N



B A B

3

KINEMATIKA GERA LURUS



Sumber : penerbit cv adi perkasa

Materi fisika sangat kental sekali dengan gerak benda. Pada pokok bahasan tentang gerak dapat timbul dua pertanyaan : Bagaimana sifat-sifat gerak tersebut (besaran-besaran yang terkait)? Kedua : Mengapa benda itu bisa bergerak? Pertanyaan pertama inilah yang dapat dijelaskan dengan pokok bahasan Kinematika Gerak. Sedangkan pertanyaan kedua dapat dijawab pada pokok bahasan Dinamika Gerak (bab berikutnya).

Sebagai contoh gerak sepeda motor pada gambar di atas. Untuk materi kinematika cukup ditanya berapa panjang lintasannya, bagaimana kecepatan dan percepatannya? Materi-materi seperti inilah yang dapat kalian pelajari pada bab ini. Dan setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. membedakan perpindahan dan jarak tempuh,
2. membedakan kecepatan dan kelajuan baik nilai rata-rata maupun sesaatnya,
3. membedakan percepatan dan perlajuhan baik nilai rata-rata maupun sesaatnya,
4. menyimpulkan karakteristik gerak lurus beraturan (GLB),
5. menyimpulkan karakteristik gerak lurus berubah beraturan (GLBB),
6. menerapkan besaran-besaran GLBB pada gerak jatuh bebas.

A. Besaran-besaran pada Gerak

Di SMP kalian telah belajar tentang gerak. Beberapa besaran yang telah kalian pelajari adalah jarak, kecepatan dan percepatan. Di kelas X SMA ini kalian diharapkan dapat memperdalam kembali. Cobalah kalian pelajari dan perdalam materi ini dengan mencermati penjelasan-penjelasan berikut.

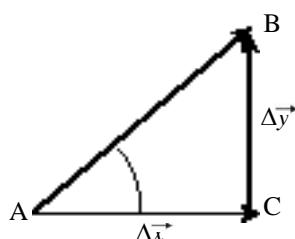
1. Perpindahan dan Jarak

Pernahkah kalian mendengar kata posisi? Semua tentu akan menjawab : pernah. Sering kalian menerima telepon dari teman. Kemudian kalian bertanya : "Dimana posisimu sekarang?" Teman kalian menjawab : "Di kota A". Maka kalian langsung berfikir bahwa posisi itu berjarak tertentu dan arah tertentu. Jika ingin kesana haruslah melakukan perpindahan. Kejadian sehari-hari ini sangat berkaitan dengan materi tentang gerak ini.

Setiap belajar materi ini selalu timbul pertanyaan. Apakah gerak itu? Bagaimana benda dapat dikatakan bergerak? Untuk memahami jawabannya dapat kalian amati *Gambar 3.1*. Sebuah ruang kelas dapat dibuat menjadi *bidang Cartesius*. Seorang siswa berjalan dari meja A menuju meja B. Apakah siswa tersebut melakukan gerak? Jawabannya tergantung pada acuannya. Jika acuannya ruang kelas maka siswa tersebut tidak bergerak. Tetapi jika acuannya teman atau pusat koordinat XY maka siswa itu telah melakukan gerak, karena siswa tersebut posisinya berubah dari meja A ke meja B.

Dari penjelasan contoh di atas, dapat dibuat suatu definisi tentang gerak. *Suatu benda dikatakan bergerak jika benda tersebut mengalami perubahan posisi.* Posisi adalah letak atau kedudukan suatu titik terhadap acuan tertentu. Contohnya seperti pada *Gambar 3.1*, acuan posisi titiknya adalah pusat koordinat.

Gerak siswa dari meja A ke meja B pada *Gambar 3.1* ada dua lintasan yaitu I dan II. Dari definisi di atas maka perpindahan siswa tersebut tidak dipengaruhi lintasan tetapi hanya posisi awal dan akhir saja. Coba kalian amati pada gerak lintasan I, siswa berpindah sebesar Δx ke arah sumbu X dan sebesar Δy ke arah sumbu Y. Perpindahan ini memenuhi:



Gambar 3.2

Resultan perpindahan pada arah sumbu X dan sumbu Y.

$$\begin{aligned}\vec{\Delta x} &= \vec{x}_B - \vec{x}_A \\ \vec{\Delta y} &= \vec{y}_B - \vec{y}_A\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Perpindahan merupakan besaran vektor. Persamaan 3.1 di atas berlaku pada perpindahan satu dimensi atau garis lurus. Tetapi banyak perpindahan benda pada bidang atau dua dimensi. Untuk gerak dua dimensi dapat dilakukan perhitungan resultan dari Δx dan Δy persamaan 3.1.

Besar resultan dari perpindahan kedua arah itu memenuhi *dalil Pythagoras* seperti berikut.

$$\Delta S^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

$$\text{dan } \tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Bagaimana dengan jarak tempuh? *Jarak tempuh didefinisikan sebagai panjang lintasan gerak benda*. Berarti kalian sudah bisa memahami bahwa jarak tempuh itu dipengaruhi oleh lintasan. Jalur I dan jalur II gerak siswa pada *Gambar 3.1* akan memiliki jarak tempuh yang berbeda. Pada lintasan I, jarak tempuhnya $S = \Delta x + \Delta y$. Sedangkan lintasan II, jarak tempuhnya sesuai dengan panjang lintasannya. Berarti dapat dibuat suatu simpulan kesamaan jarak tempuh sebagai berikut.

$$S = \text{panjang lintasan} \quad \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

Dari penjelasan di atas maka harus kalian ketahui perbedaan dua jenis besaran di atas. Perpindahan merupakan besaran vektor sedangkan jarak tempuh merupakan besaran skalar. Dari perbedaan ini maka kalian harus hati-hati menggunakannya.

CONTOH 3.1

Sebuah partikel bergerak dari titik A menuju titik B kemudian menuju titik C pada sumbu koordinat seperti gambar di bawah. Tentukan perpindahan dan jarak tempuh partikel dari A hingga C!



Gambar 3.3
Sumbu koordinat

Penyelesaian

- Perpindahan partikel pada sumbu x memenuhi:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \vec{x}_C - \vec{x}_A \\ &= -3 - 1 = -4 \text{ m}\end{aligned}$$
 Perpindahannya adalah 4 m ke kiri (sumbu X negatif).
- Jarak tempuh partikel memenuhi:

$$\begin{aligned}S_{AC} &= S_{AB} + S_{BC} \\ &= 5 \text{ m} + 9 \text{ m} = 14 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Pada sumbu koordinat yang sama tentukan perpindahan dan jarak tempuh partikel yang bergerak dari A ke C kemudian menuju B!

Aktiflah

Perpindahan dipengaruhi oleh nilai (besar) dan arahnya.

Diskusikan:

- Kapan suatu gerak benda memiliki besar perpindahan yang sama dengan jarak tempuhnya?
- Carilah perbedaan besar perpindahan dan jarak tempuh!

2. Kecepatan dan Laju

a. Definisi kecepatan dan laju

Kecepatan berasal dari kata cepat. Seberapa seringkah kalian mendengar kata cepat? Jawabannya tentu sangat sering. Tetapi perlu diingat bahwa kecepatan pada bab ini memiliki pengertian lebih khusus. Pada bab gerak kecepatan berkaitan erat dengan perpindahan. Sebagai contoh seorang siswa berpindah 30 m ke kanan dalam selang waktu 15 detik, maka siswa itu dapat dikatakan bergerak dengan kecepatan 30 m tiap 15 detik ke kanan atau 2 m tiap satu detik ke kanan.

Dari contoh di atas dapat diambil definisi tentang kecepatan. *Kecepatan adalah perpindahan yang terjadi tiap satu satuan waktu*. Namun perlu diperhatikan bahwa kecepatan benda dapat berubah setiap saat, sehingga dikenal dua jenis kecepatan yaitu *kecepatan rata-rata* dan *kecepatan sesaat*. Jika perpindahan yang terjadi diambil dalam waktu yang cukup besar maka kecepatannya termasuk kecepatan rata-rata. Dari definisi tersebut, kecepatan rata-rata dapat dirumuskan seperti di bawah.

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

dengan : \vec{v} = kecepatan rata-rata (m/s)

$\vec{\Delta S}$ = perpindahan benda (m)

Δt = selang waktu (s)

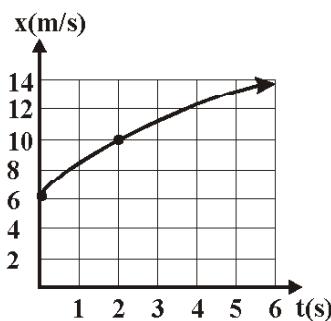
Bagaimana dengan kecepatan sesaat? Sudahkah kalian mengerti? Dari namanya tentu kalian sudah bisa memahami bahwa *kecepatan sesaat merupakan kecepatan yang terjadi hanya pada saat itu saja*. Secara matematis dapat digunakan persamaan 3.4 tetapi dengan pendekatan Δt mendekati 0 ($\Delta t \rightarrow 0$).

$$\vec{v}_{\text{sesaat}} = v \text{ pada saat } t \text{ itu saja} \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

dengan : v = kecepatan sesaat (m/s)

Contoh kecepatan sesaat ini dapat dilihat pada Gambar 3.4. v pada $t = 2$ s sebesar 10 m/s. Kecepatan ini hanya boleh sesaat yaitu $t = 2$ s saja.

Selain kecepatan, dalam gerak dikenal juga besaran kelajuan. Perbedaan pokok yang perlu diperhatikan dari kedua besaran ini adalah tentang nilai dan arahnya. Kecepatan merupakan besaran vektor sedangkan kelajuan merupakan besaran skalar. Karena merupakan besaran skalar, maka kelajuan sangat berkaitan dengan jarak tempuh. Dengan mengacu pada definisi kecepatan dapat diperoleh definisi kelajuan. *Kelajuan rata-rata adalah jarak yang ditempuh tiap satu satuan waktu*. Perumusannya sebagai berikut.



Gambar 3.4

Kecepatan tiap t (s)

Aktiflah

Banyak alat transportasi. Seperti sepeda motor, mobil, pesawat dan kapal laut dilengkapi dengan alat yang disebut spedometer.

Diskusikan:

- Mengapa disebut spedometer?
- Dapatkah gerak alat transportasi ditentukan kecepatan sesaatnya?

$$\bar{v} = \frac{S}{\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.6)$$

dengan : \bar{v} = kelajuan rata-rata (m/s)

S = jarak tempuh (m)

Δt = selang waktu (s)

Kelajuan juga memiliki nilai sesaat. Setiap gerak benda akan memiliki kelajuan sesaat yang sama dengan nilai kecepatan sesaatnya. Dalam bahasa Inggris, kelajuan diartikan sama dengan *speed*, sehingga alat pengukur kelajuan sesaat disebut *speedometer*. Berarti speedometer juga dapat mengukur besar kecepatan sesaat.

CONTOH 3.2

Seorang siswa diminta berlari di lapangan sepak bola. Dari titik pojok lapangan dia berlari ke Timur hingga sejauh 80 m dalam waktu 25 sekon. Kemudian melanjutkan ke arah utara hingga sejauh 60 m dalam waktu 15 sekon. Tentukan:

- Jarak yang ditempuh siswa,
- Perpindahan siswa,
- Kecepatan rata-rata siswa,
- Kelajuan rata-rata siswa!

Penyelesaian

Gerak siswa dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.5(a). Dari gambar tersebut diketahui :

$$\Delta x = 80 \text{ m}, \Delta t_1 = 25 \text{ s}$$

$$\Delta y = 60 \text{ m}, \Delta t_2 = 15 \text{ s}$$

Dengan besaran-besaran ini dapat diperoleh:

- Jarak tempuh siswa:
jarak tempuh = panjang lintasan
 $S = \Delta x + \Delta y$
 $= 80 + 60 = 140 \text{ m}$
- Perpindahan siswa merupakan besaran vektor yaitu ΔS dan besarnya memenuhi *dalil Pythagoras*:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

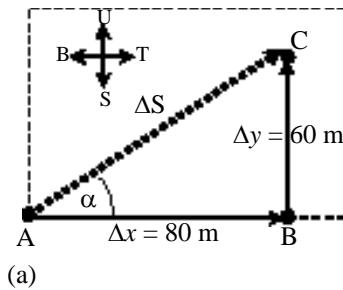
$$= \sqrt{80^2 + 60^2} = \sqrt{10.000} = 100 \text{ m}$$

dan arahnya:

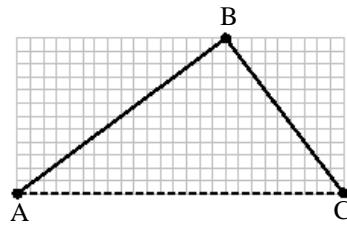
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{60}{80} = 0,75$$

$\alpha = 37^\circ$ dari arah timur ke utara

- Kecepatan rata-rata siswa memenuhi:



(a)



(b)

Gambar 3.5

- Gerak siswa di lapangan sepak bola.
- Perpindahan benda dari A ke B ke C.

$$\bar{v} = \frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t} = \frac{100}{(25+15)} = 2,5 \text{ m/s} \text{ searah perpindahannya}$$

- d. Kelajuan rata-rata siswa memenuhi:

$$\bar{v} = \frac{S}{\Delta t} = \frac{140}{(25+15)} = 3,5 \text{ m/s}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda ingin dipindahkan dari titik A ke titik C tetapi melalui lintasan AB kemudian BC seperti pada gambar 3.5 (b). Pada gerak AB membutuhkan waktu 20 sekon dan BC membutuhkan waktu 30 sekon. Jika satu petak mewakili 1 m maka tentukan:

- perpindahan benda,
- jarak yang ditempuh benda,
- kecepatan rata-rata benda,
- kelajuan rata-rata benda!

b. Grafik gerak benda

Gerak suatu benda dapat digambarkan melalui suatu grafik. Misalnya grafik $S - t$ seperti pada Gambar 3.6. Dari grafik $S - t$ (S = jarak dan t = waktu) dapat diketahui perubahan jarak tempuh benda terhadap waktu.

Perhatikan grafik $S-t$ pada bagian (a) Gambar 3.6. S bertambah secara beraturan terhadap perubahan t . Besar

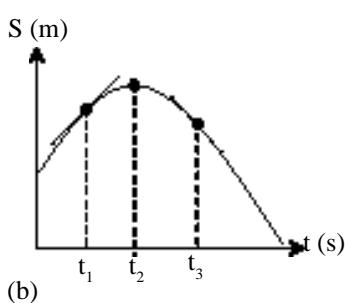
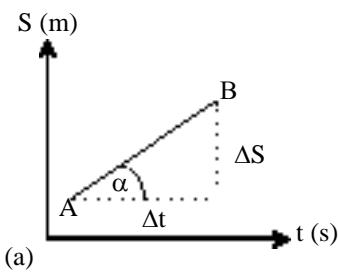
kecepatan rata-ratanya dapat memenuhi $\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ dan ada hubungan terhadap sudut kemiringan kurva, $\tan \alpha = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

Berarti kecepatan rata-rata dari grafik $S-t$ menentukan kemiringan kurva sehingga:

$$\bar{v} = \tan \alpha \quad \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

Pada grafik $S-t$ Gambar 3.6(a) kemiringan kurva dari titik A hingga B tetap berarti kecepatan sesaatnya akan selalu sama dengan kecepatan rata-rata. Bagaimana dengan gerak benda yang memiliki grafik $S-t$ seperti pada Gambar 3.6(b)? Jika perubahan S terhadap t tidak tetap maka kecepatan pada saat t dapat dinyatakan sebagai kemiringan (gradien) garis singgung kurvanya. Perhatikan grafik tersebut! Pada t_1 ($t < t_2$), garis singgung naik berarti kemiringan garis positif dan v positif. Sebaliknya pada t_3 ($t > t_2$) kecepatannya akan negatif karena kemiringan negatif (turun).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa ; kecepatan sesaat dapat ditentukan dari gradien garis singgung kurva pada grafik $S-t$. Untuk lebih memahami konsep ini dapat kalian cermati contoh berikut.



Gambar 3.6
Grafik $S-t$ gerak benda

CONTOH 3.3

Gerak sebuah mobil pada lintasan lurus memiliki perubahan jarak dari acuan terhadap waktu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Dari grafik tersebut tentukan:

- kecepatan rata-rata benda dari $t = 0$ sampai dengan $t = 5$ s,
- kecepatan rata-rata dari $t = 5$ s sampai dengan $t = 10$ s,
- kecepatan pada saat $t = 3$ s,
- kecepatan pada saat $t = 9$ s!

Penyelesaian

- Untuk interval $0 < t < 5$ s:

$$t_1 = 0 \rightarrow S_1 = 100 \text{ m}$$

$$t_2 = 5 \text{ s} \rightarrow S_2 = 150 \text{ m}$$

kecepatan rata-ratanya memenuhi:

$$\overline{v_1} = \frac{(S_2 - S_1)}{t_2 - t_1} = \frac{150 - 100}{5 - 0} = 10 \text{ m/s}$$

- Untuk interval $5 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$:

$$t_2 = 5 \text{ s} \rightarrow S_2 = 150 \text{ m}$$

$$t_3 = 10 \text{ s} \rightarrow S_3 = 0$$

kecepatan rata-ratanya memenuhi:

$$v_1 = \tan \beta$$

$$= \frac{(S_3 - S_2)}{t_3 - t_2} = \frac{0 - 150}{10 - 5} = -30 \text{ m/s}$$

- Untuk interval waktu $0 < t < 5$ s, kurva $S-t$ nya linier berarti kecepatannya tetap sehingga kecepatan pada saat $t = 3$ s memenuhi:

$$v(3) = v_1 = 10 \text{ m/s}$$

- Untuk interval waktu $5 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$, kurvanya juga linier berarti dapat diperoleh:

$$v(9) = v_2 = -30 \text{ m/s}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Grafik $S-t$ sebuah benda yang bergerak memenuhi perubahan seperti pada Gambar 3.8. Tentukan:

- kecepatan rata-rata dari $t = 0$ s.d $t = 30$ s,
- kecepatan pada $t = 10$ s,
- kecepatan saat $t = 25$ s!

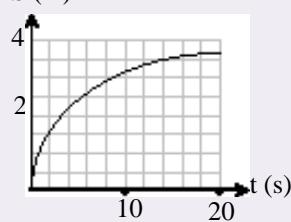
Aktiflah

Grafik di bawah menggambarkan perubahan jarak tempuh benda dalam t detik.

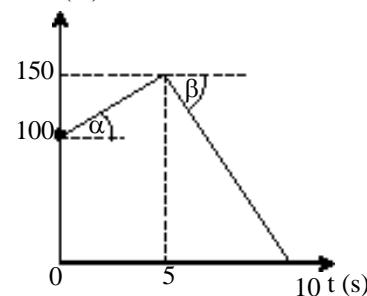
Diskusikan:

- Tentukan cara untuk menentukan kecepatan benda saat t detik.
- Hitung kecepatan benda pada saat $t = 10$ s.

S (m)



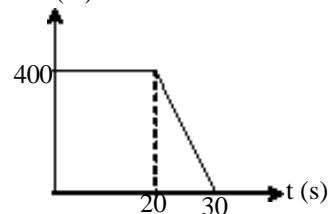
S (m)



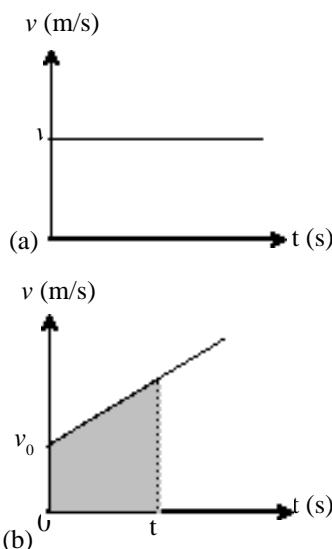
Gambar 3.7

Grafik hubungan S dan t gerak mobil.

S (m)



Gambar 3.8



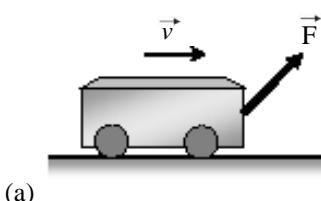
Gambar 3.9
Grafik v - t gerak benda

Setelah belajar grafik S-t, mungkin kalian timbul pertanyaan juga untuk grafik v - t . Grafik v - t dapat menggambarkan perubahan kecepatan gerak benda terhadap waktu t . Coba kalian perhatikan contoh grafik tersebut pada Gambar 3.9. Informasi apakah yang dapat diperoleh dari grafik tersebut? Secara langsung kalian dapat mengetahui perubahan nilai kecepatan melalui grafik v - t tersebut. Pada Gambar 3.9 bagian (a) kurvanya mendatar berarti kecepatan benda tersebut tetap. Sedangkan pada bagian (b) kurvanya linier naik berarti besar kecepatannya berubah beraturan.

Informasi lebih jauh yang dapat diperoleh dari grafik v - t adalah luas di bawah kurva hingga sumbu t . Luas inilah yang menyatakan besar perpindahan benda yang bergerak. Misalnya sebuah benda bergerak dengan grafik v - t seperti pada Gambar 3.9(b). Jika jarak benda dari titik acuan mula-mula S_0 maka setelah t detik jarak benda tersebut dapat memenuhi persamaan berikut.

$$S = S_0 + \Delta S$$

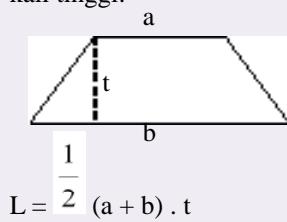
$$S = S_0 + \text{luas (daerah terarsir)} \quad \dots \dots \dots \quad (3.8)$$



Gambar 3.10
Gerak troli dan grafiknya

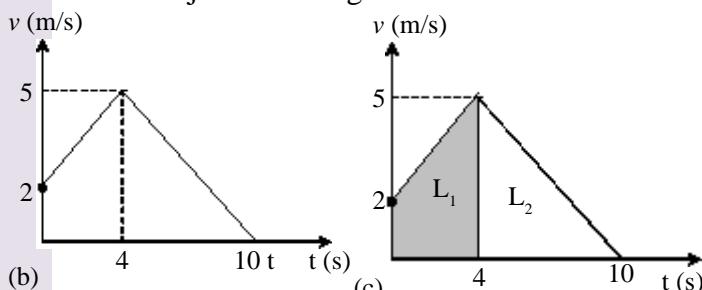
Penting

Luas trapesium sama dengan setengah jumlah sisi sejajar kali tinggi.



CONTOH 3.4

Sebuah troli yang ditarik pada lantai mendatar dapat bergerak lurus dan perubahan kecepatannya dapat terdeteksi seperti grafik v - t pada Gambar 3.10(b). Tentukan jarak yang ditempuh troli pada saat $t = 4$ s dan $t = 10$ s jika troli bergerak dari titik acuan!



Penyelesaian

Troli bergerak dari titik acuan berarti $S_0 = 0$
Berarti jarak tempuh troli memenuhi:

$$S = \text{luas (kurva)}$$

Luas kurva ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.10(c).

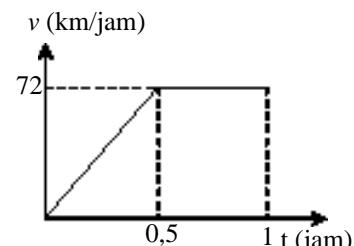
■ Untuk $t = 4$ s

$$\begin{aligned} S_4 &= \text{luas (trapesium terarsir)} \\ &= L_1 \\ &= \frac{1}{2} (2 + 5) \cdot 4 = 14 \text{ m} \end{aligned}$$

■ Untuk $t = 10$ s
 $S_4 = \text{luas (daerah terarsir)}$
 $= L_1 + L_2$
 $= 14 + \frac{1}{2} (10 - 4) . 5 = 29$ m

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Pada gerak sebuah mobil yang lintasannya lurus dapat terukur besar kecepatan sesaatnya dengan perubahan memenuhi grafik pada Gambar 3.11. Berapakah besar perpindahan yang dialami mobil pada saat mobil telah bergerak : (a) 0,5 jam, (b) 1 jam dan (c) 2,5 jam.



Gambar 3.11

3. Percepatan

Kalian telah belajar tentang perubahan besaran-besaran pada gerak. Perubahan posisi dinamakan perpindahan, sedang perpindahan tiap detik disebut kecepatan. Apakah kecepatan dapat berubah? Tentu kalian sudah dapat menjawabnya bahwa kecepatan gerak benda dapat berubah tiap saat. Perubahan kecepatan tiap saat inilah yang dinamakan *percepatan*.

Sesuai dengan kecepatan, percepatan juga memiliki dua nilai yaitu nilai rata-rata dan sesaat. Dari penjelasan di atas maka *percepatan rata-rata* dapat *didefinisikan sebagai perubahan kecepatan tiap selang waktu tertentu*. Dengan mengacu definisi ini dapat dibuat perumusan sebagai berikut.

$$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.9)$$

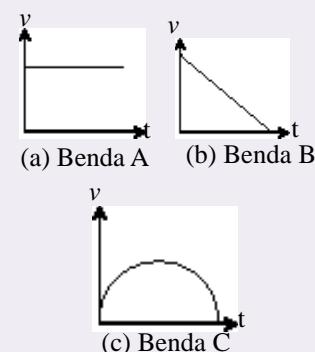
dengan : \bar{a} = percepatan rata-rata (m/s^2)
 $\Delta \vec{v}$ = perubahan kecepatan (m/s)
 Δt = selang waktu (s)

Percepatan sesaat adalah *percepatan yang terjadi hanya pada saat itu saja*. Masih ingat perumusan kecepatan sesaat? Perumusan tersebut dapat digunakan untuk percepatan sesaat. Percepatan sesaat dapat ditentukan dari nilai limit percepatan rata-rata dengan Δt mendekati nol. Jika diketahui grafik $v-t$ gerak maka percepatan sesaat menyatakan gradien garis singgung kurva. Coba kalian perhatikan kembali persamaan 3.5 dan 3.7.

Misalkan besar kecepatan gerak benda berubah tiap saat sesuai grafik $v-t$ pada Gambar 3.12. Dengan mengacu pengertian percepatan sesaat di atas maka dapat dituliskan perumusannya:

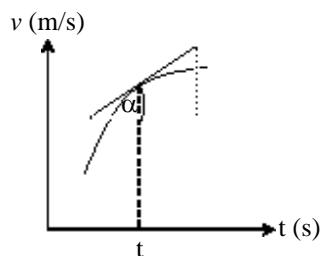
Aktiflah

Tiga buah benda yang bergerak memiliki kecepatan yang dapat diukur tiap saat. Kecepatan tersebut dapat digambarkan grafiknya seperti pada gambar di bawah.



Diskusikan :

- Bagaimana sifat kecepatan benda tersebut?
- Bagaimana percepatan benda tersebut?

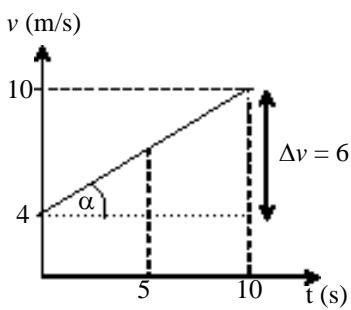


Gambar 3.12

$$\rightarrow a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.10)$$

Dan untuk grafik v - t pada Gambar 3.13, besar percepatan benda pada saat t dapat memenuhi:

$$a = \operatorname{tg} \alpha \quad \dots \dots \dots \quad (3.11)$$



Gambar 3.13

CONTOH 3.5

Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 4 m/s. Kemudian kecepatannya berubah secara beraturan menjadi 10 m/s selama 10 sekon seperti grafik v - t pada Gambar 3.13. Tentukan:

- percepatan rata-rata dari $t = 0$ s.d $t = 10$ s,
- percepatan pada saat $t = 5$ s!

Penyelesaian

$$\begin{aligned} t = 0 &\rightarrow v_0 = 4 \text{ m/s} \\ t = 10 \text{ s} &\rightarrow v = 10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Besar percepatan rata-ratanya dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{10 - 4}{10 - 0} = 0,6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

- Besar percepatan sesaat.

Percepatan sesaat ini dapat dihitung dengan menggambarkan grafik v - t . Karena v berubah secara beraturan maka kurvanya linier naik seperti pada Gambar 3.13. Kurvanya linier berarti percepatannya tetap dan percepatan pada saat $t = 5$ s dapat ditentukan dari gradien kurva yaitu:

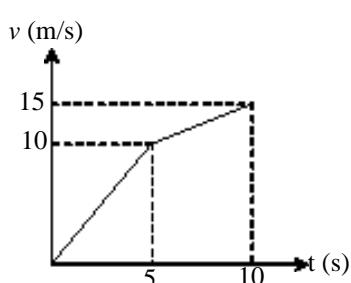
$$\begin{aligned} a &= \operatorname{tg} \alpha \\ &= \frac{6}{10} = 0,6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Perhatikan hasil poin (a) dan (b) mengapa sama?

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Kecepatan sebuah benda yang bergerak dapat diukur tiap saat sehingga diperoleh grafik seperti pada Gambar 3.14. Tentukan:

- percepatan rata-rata dari $t = 0$ s.d $t = 10$ s,
- percepatan pada saat $t = 3$ s,
- percepatan pada saat $t = 9$ s!

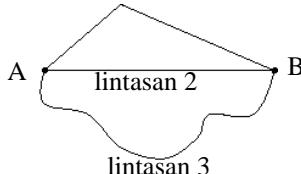


Gambar 3.14



ATIHAN 3.1

1. Sebuah benda bergerak dari titik A ke titik B dengan tiga alternatif lintasan seperti gambar.

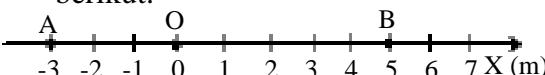


- a. Bagaimana perpindahan benda dari ketiga alternatif lintasan?
 b. Bagaimana jarak tempuh benda dari ketiga alternatif lintasan?
2. Seekor semut bergerak dari titik P ke titik Q dengan lintasan setengah lingkaran seperti pada gambar.

Semut tersebut sampai di titik Q setelah 10 detik. Berapakah:

- a. jarak tempuh semut,
 b. perpindahan semut?

3. Sebuah partikel dipindahkan dari titik pusat koordinat (sumbu X) ke titik A tetapi harus melalui titik B terlebih dahulu seperti pada sumbu X berikut.



Dari titik O ke titik B membutuhkan waktu 10 s dan dari B ke A memerlukan waktu 20 s. Tentukan :

- a. perpindahan partikel,
 b. kecepatan rata-rata partikel,
 c. jarak tempuh partikel,
 d. laju rata-rata partikel!

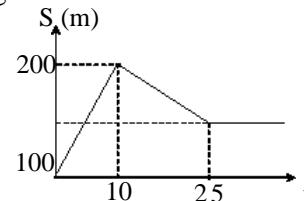
4. Sebuah perahu bergerak ke selatan hingga jarak tempuh 120 m dalam waktu 1 menit kemudian belok tepat ke timur hingga menempuh jarak 160 m dalam waktu 0,5 menit. Tentukan:

- a. kecepatan rata-rata perahu,
 b. kelajuan rata-rata perahu!

5. Mula-mula ada sebuah mobil yang diam dan berjalan 20 m dari perempatan jalan

(acuan). Kemudian mobil tersebut bergerak pada jalan yang lurus dan mencapai jarak 100 m setelah 10 detik. Berapakah kecepatan rata-rata mobil tersebut? Dapatkah kecepatan pada saat $t = 5$ s dihitung?

6. Jarak mobil yang bergerak lurus selalu berubah terhadap titik acuannya. Perubahan jarak tersebut dapat digambarkan di bawah.

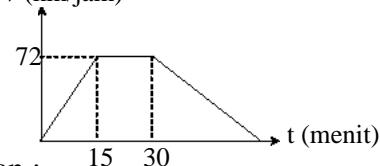


Dari grafik tersebut tentukan:

- a. kecepatan rata-rata dari $t = 0$ s s.d $t = 10$ s,
 b. kecepatan rata-rata dari $t = 0$ s s.d $t = 30$ s,
 c. kecepatan pada saat $t = 5$ s,
 d. kecepatan pada saat $t = 30$ s!

7. Kecepatan gerak benda berubah dari 30 m/s ke utara menjadi 20 m/s ke selatan karena percepatan. Tentukan percepatan tersebut!

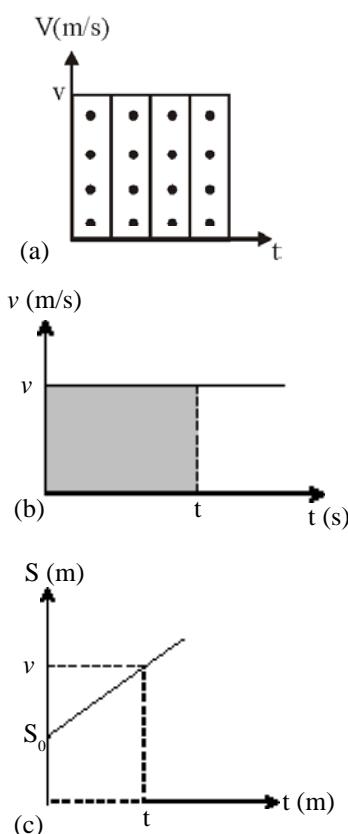
8. Sebuah mobil bergerak dari titik acuan dalam keadaan diam. Kemudian dipercepat hingga mencapai kecepatan 72 km/jam dalam waktu 15 menit. Kecepatan mobil berikutnya dapat digambarkan seperti pada grafik berikut.



Tentukan :

- a. percepatan rata-rata mobil dari $t = 15$ menit s.d $t = 60$ menit,
 b. Percepatan mobil pada $t = 10$ menit,
 c. Percepatan mobil pada $t = 20$ menit,
 d. Percepatan mobil pada $t = 45$ menit,
 e. Jarak tempuh mobil setelah $t = 30$ menit!

B. Gerak Lurus Beraturan



Gambar 3.15

(a) Grafik v - t dan (b) grafik S - t gerak GLB

1. Pengertian

Sudah tahukah kalian dengan apa yang dinamakan *gerak lurus beraturan*? Gerak lurus beraturan yang disingkat dengan GLB merupakan nama dari suatu gerak benda yang memiliki kecepatan beraturan. Bagaimanakah kecepatan beraturan itu? Tentu kalian sudah bisa mengerti bahwa kecepatan beraturan adalah kecepatan yang besar dan arahnya tetap sehingga lintasannya pasti berupa garis lurus.

Kalian mungkin pernah naik mobil dan melihat spedometernya yang menunjukkan nilai tetap dan arahnya tetap pula (misal 72 km/jam ke utara) maka pada saat itulah mobilnya bergerak GLB. Pesawat terbang yang sedang terbang pada ketinggian stabil dan kereta api pada jalan yang jauh dari stasiun akan bergerak relatif GLB. Disebut relatif GLB karena kecepatannya ada perubahan yang sangat kecil. Contoh lain benda yang bergerak GLB adalah mobil mainan otomatis.

Sifat gerak benda GLB dapat dijelaskan melalui grafik. Grafiknya dapat ditentukan dari eksperimen gerak mobil mainan dengan menggunakan kertas ketik. Grafik besar kecepatan v terhadap waktunya dapat dilihat seperti pada Gambar 3.15(a). Grafik v - t ini dapat dilukis kembali dengan kurva lurus mendatar karena kecepatannya tetap seperti pada Gambar 3.15(b). Jarak benda yang bergerak dari titik acuan dapat ditentukan dari persamaan 3.8 yaitu dihitung dari luas kurva v - t . Coba kalian amati kembali. Dari persamaan itu dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} S &= S_0 + \Delta S \\ S &= S_0 + \text{luas (kurva terarsir)} \\ S &= S_0 + v \cdot t \end{aligned}$$

Dari penjelasan dan perumusan persamaan di atas, dapat disimpulkan ciri-ciri gerak lurus beraturan (GLB) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} v &= \text{tetap} \\ S &= S_0 + v t \end{aligned} \quad \dots \quad (3.12)$$

Jarak benda yang bergerak GLB juga dapat dijelaskan melalui grafik. Dengan menggunakan rumus jarak pada persamaan 3.12 dapat diperoleh grafik S - t seperti pada Gambar 3.15(c).

CONTOH 3.6

Kereta api mencapai kecepatan tetap setelah me-nempuh jarak 1 km dari stasiun. Kecepatannya sebesar 72 km/jam. Jika waktu dihitung setelah 1 km maka tentukan:

- kecepatan kereta saat $t = 0,5$ jam,
- grafik kecepatan terhadap waktu,
- grafik jarak terhadap waktu,
- jarak kereta dari stasiun setelah $t = 2$ jam!

Penyelesaian

$v = 72 \text{ km/jam}$ (tetap) dan $S_0 = 1 \text{ km}$

a. $t = 0,5 \text{ jam}$

Gerak kereta GLB (v tetap) berarti kecepatan saat $t = 0,5 \text{ jam}$ adalah tetap.

$$v = 72 \text{ km/jam}$$

- b. Grafik v -t linier mendatar seperti pada Gambar 3.16(a).

- c. Grafik S -t linier naik seperti pada Gambar 3.16(b).

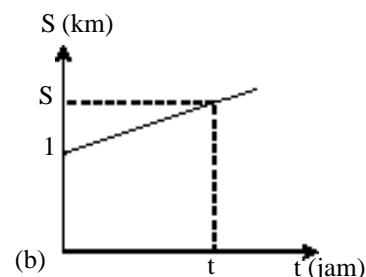
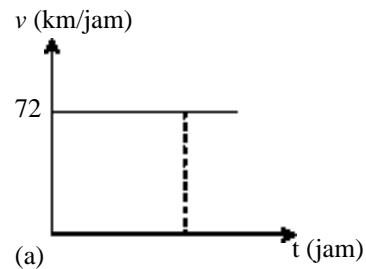
- d. Untuk $t = 2 \text{ jam}$ dapat diperoleh jarak kereta dari stasiun memenuhi:

$$\begin{aligned} S &= S_0 + v \cdot t \\ &= 1 + 72 \cdot 2 = 145 \text{ km} \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Mobil mainan otomatis dapat diatur sehingga mampu bergerak dengan kecepatan tetap $1,5 \text{ m/s}$. Mobil mainan itu mulai bergerak dari titik acuan. Tentukan:

- Kecepatan mobil mainan setelah $t = 10 \text{ s}$,
- grafik v -t dan S -t gerak mobil mainan,
- jarak mobil mainan dari titik acuan setelah bergerak 15 s !



Gambar 3.16

2. Gerak Relatif

Apakah gerak relatif itu? Kalian tentunya telah memahami mengapa benda dikatakan bergerak. Pada pengertian gerak di depan, gerak benda sangat berkaitan dengan titik acuan. Benda dikatakan bergerak jika posisinya berubah terhadap titik acuan. Karena ada acuannya inilah gerak itu disebut *gerak relatif*.

Pada gerak GLB ini gerak relatif benda dapat memiliki acuan berupa benda yang bergerak. Contohnya gerak sepeda motor itu relatif lebih cepat dibanding gerak sepeda pancal. Konsep gerak relatif ini dapat digunakan untuk mempermudah penyelesaian suatu gerak benda.

Kalian pasti masih ingat pengertian relatif vektor pada bab 2. *Relatif vektor* adalah pengurangan vektor. Pada gerak GLB selalu berkaitan dengan perpindahan dan kecepatan. Besaran inilah yang akan memenuhi nilai relatif dan perumusan secara vektor sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \vec{\Delta v} &= \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \\ \vec{\Delta S} &= \vec{S}_2 - \vec{S}_1 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (3.13)$$

Dengan Δv = kecepatan relatif dan ΔS = perpindahan relatif. Untuk memahami konsep gerak relatif GLB ini dapat kalian cermati contoh soal berikut.

Penting

Kecepatan relatif atau perpindahan relatif dapat menggunakan aturan:

- ditambah jika berlawanan arah
- dikurang jika searah

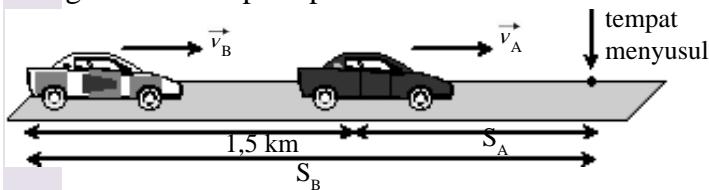
CONTOH 3.7

Mobil A bergerak dengan kecepatan tetap 72 km/jam di depan mobil B sejauh 1,5 km. Mobil B sedang mengejar mobil A tersebut dengan kecepatan tetap 75 km/jam.

- Berapakah waktu yang dibutuhkan mobil B untuk mengejar mobil A?
- Berapa jarak yang ditempuh mobil B?

Penyelesaian

Gerak mobil A dan B merupakan gerak GLB dan dapat digambarkan seperti pada *Gambar 3.17*.



Gambar 3.17

Gerak relatif

$$v_A = 72 \text{ km/jam}, v_B = 75 \text{ km/jam}$$

$$S_{AB} = 1,5 \text{ km}$$

Dari *Gambar 3.17* dapat diperoleh hubungan S_A dan S_B sebagai berikut.

$$S_B = S_A + 1,5$$

$$v_B t = v_A t + 1,5$$

$$75 \cdot t = 72 t + 1,5$$

$$3t = 1,5 \text{ berarti } t = \frac{1,5}{3} = 0,5 \text{ jam}$$

Mobil B menyusul mobil A setelah $t = 0,5$ jam dan jarak tempuh mobil B:

$$S_B = v_B t = 75 \cdot 0,5 = 3,75 \text{ km}$$

Konsep Gerak relatif

Gerak mobil A dan B dapat digunakan konsep relatif. Mobil B bergerak relatif menuju mobil A dengan:

jarak relatif $\Delta S = 1,5 \text{ km}$

kecepatan relatif $\Delta v = v_B - v_A = 75 - 72 = 3 \text{ km/jam}$

Jadi waktu menyusul memenuhi:

$$\Delta S = \Delta v t$$

$$1,5 = 3t \text{ berarti } t = 0,5 \text{ jam}$$

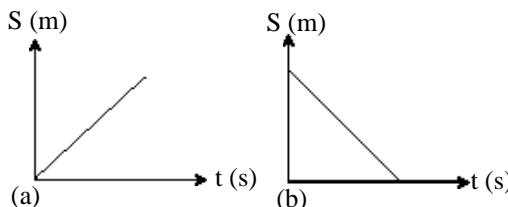
Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Partikel P dan Q mula-mula berjarak 5 m pada suatu lintasan yang lurus. Kedua partikel bergerak saling mendekat dengan kecepatan 0,6 m/s dan 0,4 m/s. Kapan dan dimana kedua partikel akan bertemu?

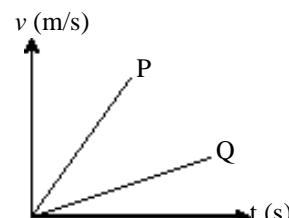


ATIHAN 3.2

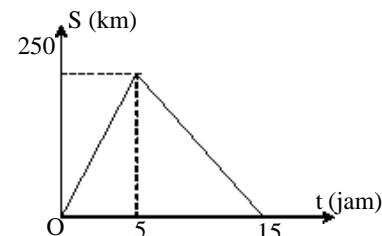
- Coba kalian jelaskan apa syarat-syarat gerak suatu benda dapat dikategorikan sebagai gerak GLB?
- Bagaimakah cara menjelaskan gerak benda GLB dengan menggunakan grafik?
- Coba kalian analisa dua grafik di bawah. Grafik tersebut merupakan hubungan S (jarak tempuh) dan waktu suatu gerak benda.
 - Apakah persamaan dari kedua grafik tersebut?
 - Apakah perbedaan dari kedua grafik tersebut?



- Sebuah benda bergerak dengan kecepatan tetap 20 m/s pada lintasan lurus. Gerak benda dimulai dari titik yang berjarak 2 m terhadap titik acuan. Tentukan:
 - kecepatan benda pada $t = 5$ s,
 - grafik $v-t$ gerak benda dengan interval $0 < t < 10$ s,
 - grafik $S-t$ gerak benda dengan interval $0 < t < 10$ s!
- Dua mobil P dan Q bergerak dari titik yang sama dan lintasan yang sama. Jarak yang ditempuh mobil tersebut berubah terhadap waktu sesuai grafik berikut. Bagaimakah perbandingan kecepatan mobil P dan Q? Jelaskan bagaimana cara kalian menemukan perbandingan tersebut!

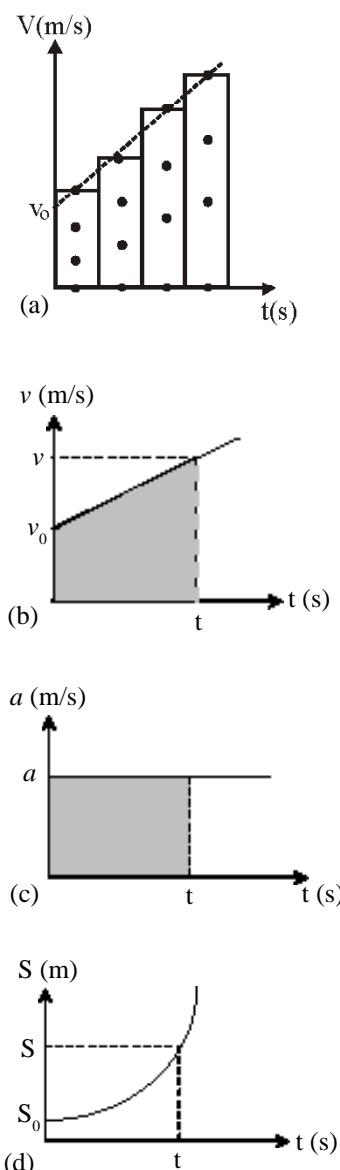


- Ari berlari dengan kecepatan tetap 3 m/s menuju perempatan yang berjarak 100 m. Tentukan jarak Ari dari perempatan pada saat 5 s, 10 s dan 15 s!
- Gerak sebuah mobil dapat diukur jarak tempuhnya pada setiap saat sehingga memiliki perubahan seperti grafik gambar berikut.
 - Tentukan kecepatan mobil pada saat $t = 3$ s dan $t = 10$ s!
 - Jelaskan jenis gerak mobil tersebut!



- Dhania berlari dengan kecepatan 2 m/s padajalanyang lurus. Setelahmenempuh jarak 200 m Aghnia mengejarnya dengan kecepatan 4 m/s pada lintasan yang sama. Tentukan kapan dan dimana Aghnia dapat mengejar Dhania jika kecepatan keduanya tetap!

C. Gerak Lurus Berubah Beraturan



Gambar 3.18

Grafik (a) a - t , (b) v - t dan (c) S - t gerak lurus berubah beraturan.

1. Definisi dan Perumusan GLBB

a. Sifat-sifat gerak GLBB

Pernahkah kalian melihat benda jatuh? Tentu saja pernah. Jika kalian mencermati benda yang jatuh maka kecepatan benda itu akan bertambah semakin besar. Jika benda kalian lemparkan ke atas maka kecepatannya akan berkurang. Contoh gerak ini memiliki kecepatan yang berubah secara beraturan dan lintasannya lurus. Gerak seperti ini dinamakan *gerak lurus berubah beraturan* disingkat GLBB. Contoh lainnya adalah gerak pesawat saat akan *take off* maupun saat *landing*.

Dari contoh dan pengertian di atas dapatkah kalian menjelaskan sifat-sifat gerak GLBB? Kalian pasti mengingat lintasannya yaitu harus lurus. Kemudian kecepatannya berubah secara beraturan, berarti pada gerak ini memiliki percepatan. Agar v berubah beraturan maka a harus tetap. Grafik kecepatan gerak GLBB dapat digambar dari hasil eksperimen gerak jatuh yang direkam pada kertas ketik (dengan tanda titik) dan hasilnya seperti *Gambar 3.18(a)* dan grafik v - t itu dapat digambarkan dengan kurva linier seperti pada bagian (b) dan sifat percepatan gerak benda ini dapat dijelaskan melalui grafik a - t seperti pada *Gambar 3.18(a)*.

b. Kecepatan sesaat

Bagaimanakah hubungan percepatan benda a dengan kecepatan sesaat benda v ? Tentu kalian sudah mengerti bahwa hubungan ini dapat dirumuskan secara matematis. Melalui grafik a - t , perubahan kecepatan benda dapat menyatakan luas kurva (diarsir), lihat *Gambar 3.18(c)*! Jika kecepatan awal benda v_0 maka kecepatan benda saat t memenuhi:

$$\begin{aligned} v &= v_0 + \Delta v \\ v &= v_0 + \text{luas } \{ \text{daerah terarsir bagian (c)} \} \\ v &= v_0 + a t \end{aligned}$$

Jadi hubungan v dan a gerak GLBB memenuhi persamaan berikut.

$$v = v_0 + a t \quad \dots \dots \dots \quad (3.14)$$

dengan : v = kecepatan sesaat (m/s)

$$\begin{aligned} v_0 &= \text{kecepatan awal (m/s)} \\ a &= \text{percepatan (m/s}^2\text{)} \\ t &= \text{selang waktu (s)} \end{aligned}$$

CONTOH 3.8

Sebuah mobil pembalap memulai geraknya dengan kecepatan 10 m/s. Mesin mobil tersebut mampu memberikan percepatan yang tetap 2 m/s^2 . Berapakah kecepatan mobil tersebut setelah bergerak 10 s?

Penyelesaian

$$v_0 = 10 \text{ m/s}, a = 2 \text{ m/s}^2, t = 10 \text{ s}$$

Kecepatan mobil tersebut setelah 10 s memenuhi:

$$\begin{aligned} v &= v_0 + a t \\ &= 10 + 2 \cdot 10 = 30 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Dari awal geraknya sebuah benda telah mengalami percepatan tetap $1,5 \text{ m/s}^2$. Jika saat 20 s setelah bergerak kecepatannya menunjukkan nilai 45 m/s maka berapakah kecepatan awal benda tersebut?

c. Jarak tempuh benda

Grafik kecepatan dan persamaannya telah kalian pelajari di sub bab ini. Tentu kalian bisa mengembangkananya untuk menentukan hubungan jarak tempuh benda dengan kecepatan dan percepatan pada gerak GLBB. Jika diketahui grafik $v-t$ maka jarak tempuh benda dapat ditentukan dari luas yang dibatasi oleh kurvanya. Coba kalian ingat kembali persamaan 3.8. Persamaan ini dapat diterapkan pada grafik $v-t$ gerak GLBB yang terlihat pada Gambar 3.18(b). Perhatikan gambar tersebut! Jika benda awal di titik acuan maka jarak benda setelah t detik memenuhi:

$$S = \text{luas (trapesium)} \rightarrow \text{trapesium : daerah terarsir}$$

Gambar 3.18(b)

$$S = \frac{1}{2} (\text{jumlah sisi sejajar}) \cdot \text{tinggi}$$

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

Substitusikan nilai v dari persamaan 3.14 dapat diperoleh:

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

Jadi jarak tempuh benda pada saat t detik memenuhi persamaan berikut.

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \dots \dots \dots \quad (3.15)$$

Hubungan persamaan 3.15 ini dapat digambarkan dengan grafik $S-t$ dan hasilnya akan sesuai dengan grafik pada Gambar 3.18(c).

CONTOH 3.9

Sebuah pesawat terbang dipercepat dari kecepatan 20 m/s menjadi 40 m/s dalam waktu 10 sekon. Berapakah jarak yang ditempuh pesawat dalam waktu tersebut?

Aktiflah

Percepatan gerak benda ada dua macam yaitu percepatan (kecepatan bertambah) dan perlambatan (kecepatan berkurang).

Coba kalian diskusikan bersama teman-teman kalian:

- Bagaimana bentuk grafik $a-t$, $v-t$ dan $S-t$ gerak tersebut?
- Coba perkiraan apa yang terjadi pada gerak diperlambat setelah berhenti!

Penting

Penggunaan persamaan 3.15 memang banyak dan sering digunakan. Tetapi jika diketahui v_0 dan v seperti soal pada contoh 3.9 maka hubungan:

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

$S = \frac{1}{2} (v_0 + v)t$ dapat mempercepat. Perhatikan penyelesaian berikut.

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} (v_0 + v)t \\ &= \frac{1}{2} (20 + 40) \cdot 10 \\ &= 300 \text{ m} \end{aligned}$$

Penyelesaian

$$\begin{aligned} v_0 &= 20 \text{ m/s}, v = 40 \text{ m/s} \\ t &= 10 \text{ s} \end{aligned}$$

Percepatan pesawat dapat ditentukan dengan persamaan 3.14.

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ 40 &= 20 + a \cdot 10 \\ a &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Dari nilai percepatan ini dapat ditentukan jarak tempuh pesawat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= 20 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^2 = 300 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Kereta api yang sedang melaju dengan kecepatan 30 m/s harus diperlambat karena sudah dekat dengan stasiunnya. Agar kereta tepat berhenti di tempat stasiun itu dan kereta mampu diperlambat 5 m/s² maka berapakah jarak dari stasiun itu kereta mulai diperlambat?

Persamaan 3.14 dan 3.15 dapat digolongkan menjadi hubungan baru. Coba kalian perhatikan persamaan 3.14. Dari persamaan ini dapat ditentukan waktu t menuhi persamaan berikut.

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

Nilai t ini dapat kalian substitusikan pada persamaan 3.15. Perhatikan substitusi berikut.

$$\begin{aligned} S &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ S &= v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2 \\ S &= \frac{v_0 v - v_0^2}{a} + \frac{v^2 + v_0^2 - 2vv_0}{2a} \\ S &= \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \\ 2aS &= v^2 - v_0^2 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas diperoleh hubungan S , v dan a pada gerak GLBB seperti persamaan di bawah.

$$v^2 = v_0^2 + 2aS \quad \dots \dots \dots \quad (3.16)$$

CONTOH 3.10

Sebuah mobil mula-mula bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Karena jalannya sepi dan lurus pengemudinya mempercepat mobilnya sebesar $0,5 \text{ m/s}^2$ hingga kecepatannya menjadi 30 m/s. Berapakah jarak yang ditempuh mobil selama itu?

Penyelesaian

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

$$v = 30 \text{ m/s}$$

$$a = 0,5 \text{ m/s}^2$$

Jarak tempuh benda memenuhi:

$$v^2 = v_0^2 + 2 a S$$

$$30^2 = 10^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot S$$

$$900 = 100 + S$$

$$S = 800 \text{ m}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Pesawat terbang dapat dipercepat 10 m/s^2 untuk menyiapkan lepas landasnya. Pesawat bergerak dari keadaan diam dan pesawat mulai terangkat setelah kecepatannya 150 m/s . Berapakah jarak landasan minimal yang dibutuhkan pesawat tersebut?

2. Gerak Jatuh Bebas

a. Gerak vertikal

Benda jatuh tentu tidak asing lagi bagi kalian. Bahkan mungkin kalian pernah jatuh dari pohon. Benda jatuh ini merupakan contoh dari gerak lurus dengan percepatan tetap (GLBB) yaitu sama dengan percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi dapat digunakan pembulatan sebesar $g = 10 \text{ m/s}^2$. Percepatan gravitasi ini juga bekerja pada benda yang dilemparkan ke atas tetapi akan memperlambat gerak benda. Sehingga secara umum percepatan gravitasi berlaku untuk gerak vertikal.

Persamaan-persamaan pada gerak vertikal dapat menggunakan persamaan 3.14, 3.15 dan 3.16 dengan jarak menggunakan ketinggian dan percepatannya g . Dari persamaan itu dapat diturunkan hubungan berikut.

$$(a) v = v_0 \pm g t$$

$$(b) h = v_0 t \pm \frac{1}{2} g t^2 \quad \dots \dots \dots \quad (3.17)$$

$$(c) v^2 = v_0^2 \pm 2 g h$$

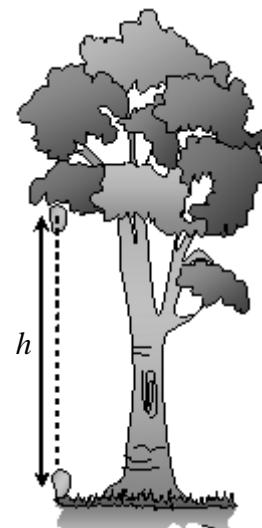
dengan : v = kecepatan benda (m/s)

Penting

Persamaan 3.16 ini sangat bermanfaat untuk menentukan hubungan v_0 dengan a dan S pada benda yang diperlambat hingga berhenti ($v = 0$). Hubungannya adalah:

$$v_0^2 = 2 a S$$

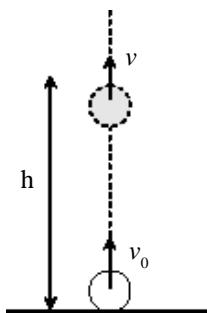
Cobalah membuktikannya!



Gambar 3.20

Gerak benda bebas

v_0 = kecepatan awal benda (m/s)
 h = ketinggian benda (m)
 g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)
 t = waktu gerak (s)
 (\pm) = operasi yang berarti (+) jika bergerak ke bawah dan (-) jika bergerak ke atas



Gambar 3.21

Aktiflah

Sebuah batu dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal v_0 dari atas gedung setinggi h . Jika ditanya waktu yang dibutuhkan batu saat mencapai tanah maka **diskusikan**:

- Apakah bisa diselesaikan dengan gerak vertikal ($a = -g$)?
- Jika bisa, bagaimana langkah-langkah kalian?
- Bagaimana jika digunakan $a = +g$?

CONTOH 3.11

Sebuah benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s . Berapakah ketinggian benda tersebut saat kecepatannya menjadi 5 m/s ?

Penyelesaian

$$\begin{aligned}v_0 &= 20 \text{ m/s} \\v &= 5 \text{ m/s} \\g &= 10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Waktu yang dibutuhkan benda dapat ditentukan dengan persamaan kecepatan berikut.

$$\begin{aligned}v &= v_0 - g t \quad ((-) \text{ karena ke atas}) \\5 &= 20 - 10 t \\t &= 1,5 \text{ s}\end{aligned}$$

Berarti ketinggiannya dapat diperoleh:

$$\begin{aligned}h &= v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \\&= 20 \cdot 1,5 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (1,5)^2 = 18,75 \text{ m}\end{aligned}$$

Metode kedua

Nilai h dapat ditentukan dari persamaan 3.17(c).

$$\begin{aligned}v^2 &= v_0^2 - 2 g h \\20^2 &= 5^2 - 2 \cdot 10 \cdot h \\400 &= 25 - 20 h \\h &= 18,75 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Benda dilemparkan ke bawah dengan kecepatan awal 10 m/s . Tentukan:

- kecepatan benda setelah 5 s ,
- jarak tempuh benda setelah 5 s ,
- jarak tempuh benda saat kecepatan benda 20 m/s !

b. Gerak jatuh bebas

Seperti penjelasan di depan, gerak jatuh termasuk gerak vertikal. Tetapi apa yang dimaksud dengan jatuh bebas? Kata bebas ditambahkan untuk gerak jatuh yang tidak memiliki kecepatan awal ($v_0 = 0$).

Pada zaman Aristoteles, orang-orang berpandangan bahwa benda jatuh akan membutuhkan waktu yang tergantung pada massa bendanya. Aristoteles berpandangan: benda yang bermassa lebih besar akan sampai di tanah lebih cepat. Pandangan ini masih banyak dianggap benar oleh masyarakat sekarang yang tidak memahaminya. Padahal pandangan Aristoteles ini telah ditentang oleh Galileo.

Galileo (1564-1642) seorang ilmuwan yang membuka pandangan baru tentang pentingnya bereksperimen. Galileo melakukan eksperimen tentang benda jatuh bebas, diantaranya melakukan pengukuran benda jatuh di menara Pisa. Hasil eksperimen itu menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan benda jatuh tidak tergantung pada massanya tetapi tergantung pada ketinggiannya.

Benarkah pandangan Galileo itu? Kebenarannya dapat kalian buktikan dengan eksperimen sendiri atau secara matematis dari persamaan 3.17. Coba kalian substitusikan nilai $v_0 = 0$ pada persamaan 3.17(b). Hasilnya sebagai berikut.

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

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

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

Jadi setiap benda jatuh dari ketinggian h seperti pada Gambar 3.23 akan membutuhkan waktu sebesar:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \dots \dots \dots \quad (3.18)$$

Dari persamaan 3.18 terlihat bahwa pandangan Galileo adalah benar. Bagaimana dengan kecepatan jatuhnya? Untuk mendapatkan kecepatan jatuh benda yaitu kecepatan benda jatuh sesaat sampai di tanah dapat kalian substitusikan nilai $v_0 = 0$ dan t di atas pada persamaan 3.17(a) sehingga diperoleh seperti berikut.

$$v = v_0 + g t$$

$$v = 0 + g \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad \dots \dots \dots \quad (3.19)$$



Gambar 3.22
Galileo Galilei

CONTOH 3.12

Buah mangga ($m = 0,3 \text{ kg}$) jatuh dari pohonnya dengan ketinggian 2 m. Sedangkan buah kelapa ($m = 0,3 \text{ kg}$) jatuh dari atas pohonnya berketinggian 8 m. Tentukan:

- perbandingan waktu jatuh buah mangga dan buah kelapa,
- perbandingan kecepatan jatuh buah mangga dan buah kelapa!

Penyelesaian

$$\begin{aligned} h_1 &= 2 \text{ m (mangga)} \\ h_2 &= 8 \text{ m (kelapa)} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

- waktu jatuh

Waktu jatuh buah mangga memenuhi:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = \sqrt{\frac{2.2}{10}} = \frac{2}{10}\sqrt{10} \text{ s}$$

Dengan persamaan yang sama dapat diperoleh waktu jatuh buah kelapa sebesar:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = \sqrt{\frac{2.8}{10}} = \frac{4}{10}\sqrt{10} \text{ s}$$

Perbandingannya:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{2}{10}\sqrt{10}}{\frac{4}{10}\sqrt{10}} = \frac{1}{2}$$

- Kecepatan jatuh

Kecepatan jatuh buah mangga sebesar:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2.10.2} = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$$

Dengan persamaan yang sama diperoleh kecepatan jatuh buah kelapa sebesar:

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2.10.8} = 4\sqrt{10} \text{ m/s}$$

Berarti perbandingan kecepatan jatuh buah mangga dan buah kelapa dapat diperoleh:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{2\sqrt{10}}{4\sqrt{10}} = \frac{1}{2}$$

Aktiflah

Sebuah benda bermassa m dilemparkan tepat vertikal ke atas dengan kecepatan v dan mencapai ketinggian maksimum h . Percepatan gravitasi sama dengan g .

- Tentukan hubungan v dengan h !
- Bagaimakah hubungan persamaan yang kalian peroleh dengan persamaan 3.19?

Konsep Kesebandingan:

Jika ditanyakan perbandingan maka dapat ditentukan dengan kesebandingan dua besaran.

- waktu jatuh : $t \sim \sqrt{h}$

$$\text{Berarti : } \frac{\frac{t_1}{t_2}}{t_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} = \sqrt{\frac{2}{8}} = \frac{1}{2}$$

- Kecepatan jatuh : $v \sim \sqrt{h}$

$$\text{Berarti : } \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} = \sqrt{\frac{2}{8}} = \frac{1}{2}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah batu dijatuhkan dari ketinggian h di atas tanah memiliki waktu jatuh 1 s. Tentukan:

- a. kecepatan jatuh benda tersebut,
 - b. waktu jatuh jika ketinggiannya dijadikan 4 h!

3. Gerak Relatif

Setiap gerak benda dapat dianggap sebagai gerak relatif. Tidak hanya gerak lurus beraturan (GLB) seperti di depan, pada gerak lurus berubah beraturan (GLBB) juga berlaku gerak relatif. Pada gerak GLBB ini akan dikenal *jarak relatif*, *kecepatan relatif* dan *percepatan relatif*. Sesuai dengan gerak relatif pada GLB maka pada gerak relatif GLBB akan berlaku:

$$\begin{aligned}\Delta \vec{s} &= \vec{s}_2 - \vec{s}_1 \\ \Delta \vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \\ \Delta \vec{u} &= \vec{u}_2 - \vec{u}_1\end{aligned} \quad \dots \quad (3.20)$$

Dari persamaan 3.20 terlihat adanya tambahan percepatan relatif. Untuk lebih memahami gerak relatif pada gerak lurus berubah beraturan (GLBB) ini cermati contoh soal berikut.

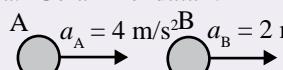
CONTOH 3.13

Pesawat A dari kecepatan 160 m/s dipercepat 6 m/s^2 untuk mengejar pesawat B yang berada di depannya. Melalui pendekripsi radar, pesawat B diketahui pada saat itu sedang bergerak dengan kecepatan 120 m/s dan percepatan 8 m/s^2 . Jika jarak saat terdeteksi 400 m maka berapa waktu yang dibutuhkan pesawat A hingga dapat mengejar pesawat B?

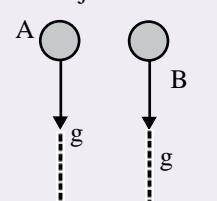
Aktiflah

Benda A dan B mengalami percepatan dengan besar dan arah seperti gambar. Coba kalian tentukan percepatan benda A relatif terhadap benda B.

- a. Gerak mendatar :

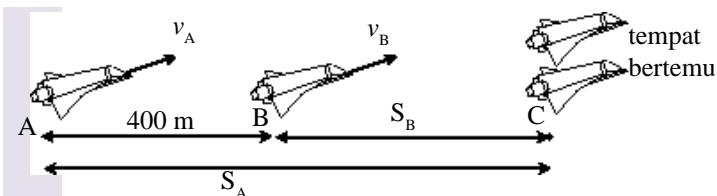


- b. Benda jatuh



Gambar 3.23

Gerak relatif pesawat



Penting

Relatif vektor berarti pengurangan vektor. Jika dua vektor berlawanan arah maka dapat menjadi penjumlahan.

$$\begin{array}{c} \text{Diagram: Two circles with vectors } \vec{v}_1 \text{ and } \vec{v}_2 \text{ pointing right.} \\ \vec{v}_{\text{rel}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{Diagram: Two circles with vector } \vec{v}_1 \text{ pointing right and vector } \vec{v}_2 \text{ pointing left.} \\ \vec{v}_{\text{rel}} = \vec{v}_1 - (-\vec{v}_2) \\ \vec{v}_{\text{rel}} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \end{array}$$

Penyelesaian

Pesawat A dapat bertemu dengan pesawat B saat di titik C sehingga berlaku hubungan seperti terlihat pada Gambar 3.24. Dari gambar tersebut berlaku:

$$\begin{aligned} 400 + S_B &= S_A \\ 400 + v_B t + \frac{1}{2} a_B t^2 &= v_A t + \frac{1}{2} a_A t^2 \\ 400 + 120 t + \frac{1}{2} \cdot 8t^2 &= 160 t + \frac{1}{2} \cdot 6t^2 \\ 400 + (120 - 60)t + (4 - 3)t^2 &= 0 \\ t^2 - 40t + 400 &= 0 \\ (t - 20)(t - 20) &= 0 \\ t &= 20 \text{ s} \end{aligned}$$

Konsep gerak relatif

Pesawat A mengejar pesawat B berarti dapat digunakan gerak relatif A terhadap B.

$$\Delta S = 400 \text{ m}$$

$$\Delta v = v_A - v_B = 160 - 120 = 40 \text{ m/s}$$

$$\Delta a = a_A - a_B = 6 - 8 = -2 \text{ m/s}^2$$

Dari nilai-nilai ini berlaku:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta v t + \frac{1}{2} \Delta a t^2 \\ 400 &= 40 t + \frac{1}{2} \cdot (-2) t^2 \\ t^2 - 40t + 400 &= 0 \\ t &= 20 \text{ s} \end{aligned}$$

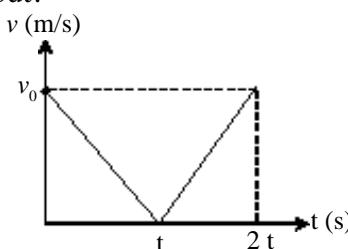
Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

Peluru A dan peluru B ditembakkan tepat vertikal ke atas dengan kecepatan awal masing-masing 100 m/s dan 90 m/s. Tentukan jarak kedua peluru pada 5 detik pertama!

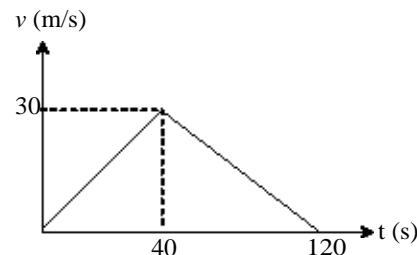


ATIHAN 3.3

- Coba kalian jelaskan mengapa suatu gerak benda dinamakan gerak lurus berubah beraturan!
- Sebuah benda yang bergerak GLBB memiliki grafik kecepatan v terhadap waktu t seperti gambar berikut. Gambarkan grafik percepatan terhadap waktu (a - t) dan jarak tempuh terhadap waktu (S - t) gerak benda dari grafik v - t tersebut!



- Pada suatu perlombaan balap sepeda motor, seorang pembalap langsung memberikan kecepatan awal pada sepedanya sebesar 15 m/s . Percepatan yang dihasilkan dari mesinnya 3 m/s^2 . Tentukan:
 - kecepatan sepeda motornya pada 20 s pertama,
 - jarak tempuh sepeda motor pada 20 s pertama!
- Pada saat landing, sebuah pesawat dapat diperlambat sebesar 10 m/s^2 . Pada saat pesawat tepat menyentuh landasan kecepatannya masih 40 m/s . Jika perlambatannya tetap maka tentukan:
 - waktu yang dibutuhkan pesawat hingga berhenti,
 - panjang landasan minimal yang dibutuhkan pesawat!
- Gerak sebuah mobil dapat dideteksi kecepatannya. Kecepatan mobil tersebut berubah terhadap waktu sesuai grafik berikut. Tentukan:
 - percepatan mobil pada $t = 20 \text{ s}$ dan $t = 100 \text{ s}$,
 - jarak tempuh mobil pada $t = 40 \text{ s}$ dan $t = 120 \text{ s}$!



- Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 100 m/s . Percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukan:
 - ketinggian peluru pada 5 s pertama,
 - ketinggian maksimum,
 - waktu yang dibutuhkan hingga peluru kembali ke titik awal!
- Sebuah balon naik tepat vertikal sambil membawa beban dengan kecepatan tetap 10 m/s . Ketika balon berada pada ketinggian 75 m , sebuah beban dilepaskan. Berapakah waktu yang dibutuhkan beban tersebut untuk mencapai tanah?
- Coba kalian jelaskan, faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi waktu jatuh dan kecepatan jatuh? Buktikan penjelasan kalian!
- Sebuah bola bekel dijatuhkan dari ketinggian 8 m di atas tanah. Percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukan:
 - kecepatan bola saat tingginya 3 m di atas tanah,
 - waktu jatuh bola saat tingginya 3 m di atas tanah!
- Benda A dilemparkan vertikal ke bawah dari ketinggian 100 m dari tanah dengan kecepatan awal 10 m/s . Pada saat yang bersamaan benda B dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s dari tanah tepat segaris benda A. Tentukan:
 - kapan kedua benda bertemu,
 - ketinggian dari tanah kedua benda bertemu!

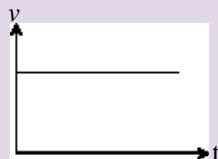
Rangkuman Bab 3

1. Besaran-besaran pada Gerak

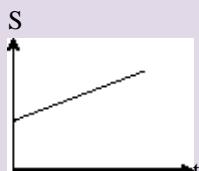
Pada kinematika gerak lurus dikenal dua jenis besaran yaitu besaran vektor dan besaran skalar dengan definisi sebagai berikut.

Besaran Vektor	Besaran Skalar
<p>1. <i>Perpindahan</i>, yaitu perubahan posisi.</p> $\Delta S^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ $\Delta x = x_2 - x_1$ $\Delta y = y_2 - y_1$	<p>1. <i>Jarak tempuh</i>, yaitu panjang lintasannya.</p> $S = \Delta x + \Delta y$
<p>2. <i>Kecepatan rata-rata</i> adalah perpindahan tiap satu satuan waktu.</p> $\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	<p>2. <i>Kelajuan rata-rata</i> adalah jarak tempuh tiap satu satuan waktu.</p> $\bar{v} = \frac{S}{\Delta t}$
<p><i>Kecepatan sesaat</i> adalah kecepatan pada saat itu saja. Pada grafik S-t menyatakan gradien garis singgung kurva.</p> $v = \tan \alpha$	<p><i>Kelajuan sesaat</i> sama dengan besar kecepatan sesaat.</p>
<p>3. <i>Percepatan rata-rata</i> adalah perubahan kecepatan tiap satu satuan waktu.</p> $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	<p>3. <i>Perlajuhan rata-rata</i> adalah perubahan kelajuan tiap satu satuan waktu.</p> $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
<p><i>Percepatan sesaat</i> adalah percepatan pada saat itu saja. Pada grafik v-t menyatakan gradien garis singgung kurva.</p> $a = \tan \alpha$	<p><i>Perlajuhan sesaat</i> menyatakan besar percepatan sesaat.</p>

Grafik v-t gerak GLB:



Grafik S-t gerak GLB:



2. Gerak lurus beraturan (GLB)

Gerak GLB adalah gerak yang memiliki sifat-sifat:

- a. lintasan lurus,

- b. percepatan nol, kecepatan tetap,

$$v = \text{tetap}$$

$$S = S_0 + vt$$

- c. grafiknya memenuhi gambar di samping.

3. Gerak lurus berubah beraturan (GLBB)

GLBB adalah gerak yang memiliki sifat-sifat:

- lintasan lurus,
- percepatannya tetap ($a = \text{tetap}$),
- kecepatannya berubah beraturan,

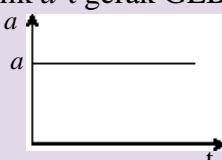
$$v = v_0 + a t$$

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

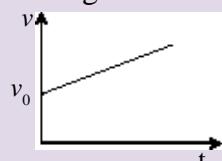
$$v^2 = v_0^2 + 2 a S$$

- grafiknya memenuhi gambar di samping.

Grafik $a-t$ gerak GLBB :



Grafik $v-t$ gerak GLBB :



Grafik $S-t$ gerak GLBB :



4. Gerak vertikal

Gerak vertikal merupakan contoh dari gerak lurus berubah beraturan dengan sifat-sifat:

- percepatannya $a = \pm g$ ($g = 10 \text{ m/s}^2$),
nilai (+) untuk gerak vertikal ke bawah dan (-) untuk vertikal ke atas.
- jaraknya sama dengan ketinggian h ,
- Berlaku persamaan:

$$v = v_0 \pm g t$$

$$h = v_0 t \pm \frac{1}{2} g t^2$$

$$v^2 = v_0^2 \pm 2 g h$$

5. Gerak jatuh bebas

Gerak jatuh bebas termasuk gerak vertikal ke bawah dengan kecepatan awal nol ($v_0 = 0$). Sehingga diperoleh:

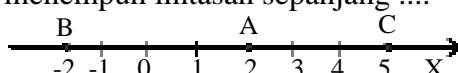
$$\text{waktu jatuh} : t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\text{kecepatan jatuh} : v = \sqrt{2gh}$$

Evaluasi Bab 3

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Sebuah partikel bergerak pada sumbu X dari titik A ingin menuju B tetapi melalui titik C terlebih dahulu, ternyata membutuhkan waktu 10 sekon. Jika setiap skala 1 m maka partikel telah menempuh lintasan sepanjang



- A. 3 m D. 8 m
 B. 4 m E. 10 m
 C. 7 m

2. Dari soal nomor 1, maka kecepatan rata-rata partikel sebesar

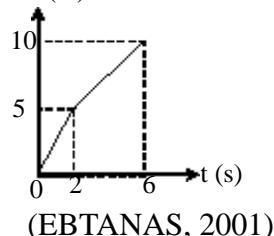
- A. 0,3 m/s D. -0,4 m/s
 B. 0,4 m/s E. -1 m/s
 C. 1 m/s

3. Seseorang berjalan lurus 30 m ke barat dalam waktu 70 sekon dan kemudian 20 m ke timur dalam waktu 30 sekon. Kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata orang tersebut dalam perjalannya adalah

- A. 0,5 m/s dan 0,1 m/s ke barat
 B. 0,1 m/s dan 0,1 m/s ke timur
 C. 0,1 m/s dan 0,1 m/s ke barat
 D. 0,5 m/s dan 0,1 m/s ke timur
 E. 0,5 m/s dan 0,5 m/s ke utara

4. Grafik di bawah menyatakan hubungan antara jarak (S) dan waktu (t) dari benda yang bergerak. Bila S dalam meter dan t dalam detik, maka kecepatan rata-rata benda adalah $S.(m)$

- A. 0,60 m/s
 B. 1,67 m/s
 C. 2,50 m/s
 D. 3,00 m/s
 E. 4,60 m/s



5. Perubahan besar kecepatan tiap saat sebuah benda yang bergerak dapat dilihat seperti gambar. Jarak yang ditempuh setelah 10 sekon adalah

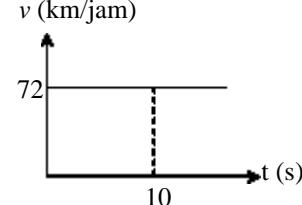
- A. 720 m

- B. 360 m

- C. 200 m

- D. 72 m

- E. 20 m



6. Sebuah benda bergerak dari sebuah titik yang berjarak 10 m dari A melalui garis lurus menuju A. Jika kecepatan partikel 1,5 m/s maka setelah 4 sekon kedudukan benda dari A sejauh

- A. 16 m D. 4 m
 B. 14 m E. 2 m
 C. 6 m

7. Dua kota A dan B berjarak 200 km. Dari A berangkat mobil dengan kecepatan tetap 30 km/jam ke arah kota B. Pada saat yang bersamaan dari kota B berangkatlah mobil dengan kecepatan tetap 20 km/jam menuju A. Kedua mobil akan bertemu setelah

- A. 20 jam, 600 km dari A
 B. 20 jam, 400 km dari B
 C. 20 jam, 60 km dari A
 D. 4 jam, 120 km dari A
 E. 4 jam, 120 km dari B

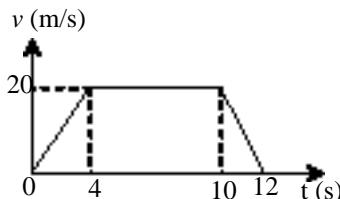
8. Dua orang pelari, dari tempat yang sama berlari menuju arah yang sama. Orang pertama bergerak dengan kecepatan 5 m/s, 4 sekon kemudian orang kedua bergerak dengan kecepatan 8 m/s. Setelah berapa sekon orang kedua bergerak menyusul orang pertama

- A. $\frac{15}{3}$ sekon B. $\frac{18}{3}$ sekon

- C. $\frac{20}{3}$ sekon E. $\frac{32}{3}$ sekon
 D. $\frac{27}{3}$ sekon
9. Sebuah Perahu menyeberangi sungai yang lebarnya 180 meter dan kecepatan arus airnya 4 m/s. Bila perahu diarahkan menyilang tegak lurus sungai dengan kecepatan 3 m/s, maka setelah sampai di seberang perahu telah menempuh lintasan sejauh
 A. 180 m D. 320 m
 B. 240 m E. 360 m
 C. 300 m
- (UMPTN, 1990)

10. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 2 m/s arah sumbu X positif kemudian diperlambat hingga dalam waktu 5 detik mencapai kecepatan 6 m/s arah sumbu X negatif. Percepatan rata-rata gerak benda adalah
 A. $0,8 \text{ m/s}^2$ arah X positif
 B. $0,8 \text{ m/s}^2$ arah X negatif
 C. $1,6 \text{ m/s}^2$ arah X positif
 D. $1,6 \text{ m/s}^2$ arah X negatif
 E. 8 m/s^2 arah X negatif

11. Sebuah mobil bergerak lurus dengan grafik kecepatan terhadap waktu seperti gambar. Pada interval waktu antara 10 hingga 12 detik, mobil bergerak



- A. lurus diperlambat dengan perlambatan 10 m/s^2
 B. lurus dipercepat dengan percepatan 10 m/s^2
 C. lurus dipercepat dengan percepatan 5 m/s^2
 D. lurus diperlambat dengan perlambatan 5 m/s^2
 E. lurus beraturan dengan kecepatan tetap 10 m/s

12. Sebuah mobil mula-mula diam. Kemudian mobil itu dihidupkan dan mobil bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s^2 . Setelah mobil bergerak selama 10 s mesinnya dimatikan, mobil mengalami perlambatan tetap dan mobil berhenti 10 s kemudian. Jarak yang masih ditempuh mobil mulai dari saat mesin dimatikan sampai berhenti adalah
 A. 210 m D. 100 m
 B. 200 m E. 20 m
 C. 195 m

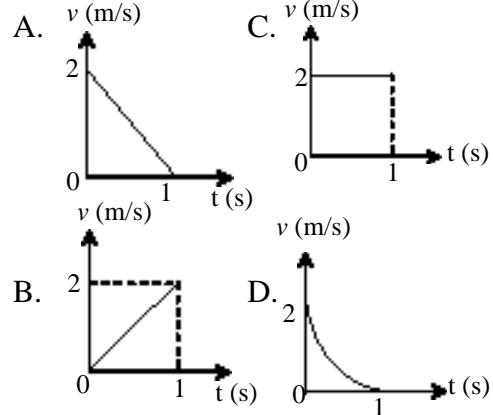
(SPMB, 2002)

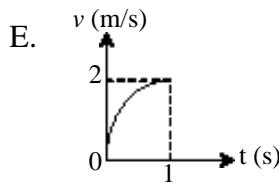
13. Seorang mengendarai mobil dengan kecepatan 90 km/jam , tiba-tiba melihat seorang anak kecil di tengah jalan pada jarak 200 m dimukanya. Jika mobil direm dengan perlambatan maksimum sebesar $1,25 \text{ m/s}^2$, maka terjadi peristiwa

- A. mobil tepat akan berhenti di muka anak itu
 B. mobil langsung berhenti
 C. mobil berhenti jauh di muka anak itu
 D. mobil berhenti sewaktu menabrak anak itu
 E. mobil baru berhenti setelah menabrak anak itu

(UMPTN, 1995)

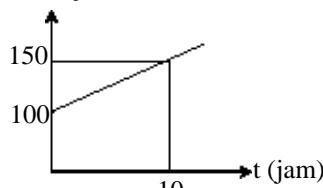
14. Sebuah benda berubah gerak secara beraturan dari kecepatan 2 m/s sampai diam, jarak yang dicapainya adalah 1 meter. Gerak benda itu dapat ditunjukkan oleh grafik kecepatan (v) terhadap waktu (t)





(UMPTN, 1996)

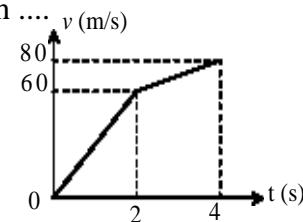
15. Di bawah merupakan grafik yang menunjukkan hubungan v dan t sebuah gerak pesawat. Berapakah percepatan pesawat saat 10 jam pertama? v (km/jam)



- A. 5 km/jam^2
B. 10 km/jam^2
C. 15 km/jam^2
D. 50 km/jam^2
E. 100 km/jam^2

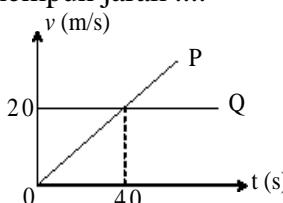
16. Berdasarkan grafik di bawah ini, jarak yang ditempuh benda untuk $t = 4$ detik adalah

- A. 20 m
B. 60 m
C. 80 m
D. 140 m
E. 200 m



17. Grafik hubungan antara kecepatan v dan waktunya t dari mobil P dan mobil Q seperti gambar berikut ini, maka mobil P menyalip mobil Q setelah P menempuh jarak

- A. 3200 m
B. 1600 m
C. 800 m
D. 400 m
E. 200 m



18. Sebuah batu dilempar vertikal ke atas dari menara yang tingginya 80 m dan mencapai tanah dalam waktu 10 detik. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka kecepatan awal batu dilemparkan adalah

- A. 12 m/s
B. 42 m/s
C. 48 m/s
D. 50 m/s
E. 60 m/s

19. Sebuah bola dilempar vertikal ke atas. Agar bola kembali ke tempat asal pelemparan dalam waktu 6 sekon, bola harus memiliki kecepatan awal
A. 15 m s^{-1}
B. 30 m s^{-1}
C. 45 m s^{-1}
D. 60 m s^{-1}
E. 120 m s^{-1}

20. Bola besi dengan massa 0,2 kg dilepaskan dari ketinggian 6 m, jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka kecepatan pada ketinggian 1 meter di atas tanah adalah
A. 5 m/s
B. $\sqrt{35} \text{ m/s}$
C. $5\sqrt{2} \text{ m/s}$
D. 10 m/s
E. $2\sqrt{35} \text{ m/s}$

21. Benda A dan B masing-masing massanya m_A dan m_B . Pada saat bersamaan dilepaskan dari ketinggian yang sama. Bila waktu untuk sampai ditanah masing-masing t_A dan t_B , maka

- A. $t_A > t_B$, bila $m_A > m_B$
B. $t_A < t_B$, bila $m_A < m_B$
C. $t_A = t_B$, tidak dipengaruhi massa
D. $t_A > t_B$, bila $m_A < m_B$
E. $t_A < t_B$, bila $m_A > m_B$

22. Buah kelapa dan mangga jatuh bersamaan dari ketinggian h_1 dan h_2 . Bila $h_1 : h_2 = 2 : 1$, maka perbandingan waktu jatuh antara buah kelapa dengan buah mangga adalah

- A. $1 : 2$
B. $1 : 2\sqrt{2}$
C. $\sqrt{2} : 1$
D. $2 : 1$
E. $2 : 1$

23. Pada waktu bersamaan dua buah bola dilempar ke atas, masing-masing dengan kelajuan $v_1 = 10 \text{ m/s}$ (bola I) dan $v_2 = 20 \text{ m/s}$ (bola II). Jarak antara kedua bola pada saat bola I mencapai titik tertinggi adalah

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

(UMPTN, 1997)

B A B

4

HUKUM NEWTON



Sumber : penerbit cv adi perkasa

Pernahkah kalian melihat orang mendorong mobil yang mogok ? Perhatikan pada gambar di atas. Ada orang ramai-ramai mendorong mobil yang mogok. Suatu dorongan atau tarikan yang diberikan pada benda dinamakan dengan *gaya*. Bagaimanakah keadaan mobil yang diberi gaya itu ? Apakah dapat bergerak atau masih tetap diam ? Apakah yang menyebabkan suatu benda itu bergerak ? Apa pula pengaruh gaya pada gerak benda ?

Pertanyaan-pertanyaan di atas itu telah dijelaskan oleh Newton yang kemudian dikenal dengan tiga **hukum Newton tentang gerak**. Dan hukum Newton ini dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan hukum-hukum Newton tentang gerak,
2. menjelaskan berat, gaya normal dan gaya gesek serta melukiskan diagram gaya-gaya tersebut,
3. mengaplikasikan hukum-hukum Newton dalam kehidupan sehari-hari.

A. Pendahuluan



Gambar 4.1

Tembok tetap diam memper-tahan-kan diri saat di dorong (diberi gaya) oleh seseorang.

Pernahkah kalian ditanya mengapa sebuah benda memiliki keadaan diam atau bergerak? Bagaimana caranya benda yang diam menjadi bergerak? Pertanyaan ini terlihat sederhana tetapi banyak terjadi kesalahan. Pada zaman dahulu orang berfikir bahwa benda dapat bergerak jika diberi gaya. Apakah kalian setuju dengan pandangan ini? Coba kalian amati orang yang sedang mendorong mobil mogok. Jika yang mendorong anak kecil, apakah mobil bisa bergerak? Anak itu memberi gaya tetapi tidak bisa menggerakan mobil. Saat yang mendorong beberapa orang dewasa, mobilnya dapat bergerak. Contoh lain adalah seseorang yang mendorong tembok. Coba kalian lihat pada *Gambar 4.1*. Apakah tembok itu dapat bergerak? Walaupun sudah diberi gaya yang besar tetapi tembok tetap diam.

Keadaan lain terjadi pada benda-benda langit yang selalu bergerak mengelilingi pusatnya. Planet-planet dapat bergerak terus mengelilingi matahari. Satelit seperti bulan selalu bergerak mengelilingi planetnya yaitu bumi. Jika kalian pelajari, ternyata gerak bulan dipengaruhi gaya gravitasi bumi. Tetapi gaya yang mempengaruhinya memiliki arah yang tegak lurus dengan kecepatannya. Berarti gerak bulan bukanlah disebabkan oleh gayanya tetapi keadaan awalnya yang memang sudah bergerak.

Ada juga gerak benda yang disebabkan oleh gaya. Misalnya mobil, motor dan kereta api, semuanya dapat bergerak karena didorong oleh gaya mesinnya. Mobil tidak bisa bergerak tanpa gaya dorong mesinnya. Jika mesinnya mati dinamakan mogok dan perlu diderek. Contoh lain benda jatuh. Benda bisa jatuh ke bawah karena ada berat atau gaya gravitasi bumi.

Jika kalian dicermati, keadaan-keadaan di atas itu memang unik. Keadaan unik inilah yang telah menggugah Newton untuk menjelaskannya. Sir Isaac Newton adalah nama lengkap seorang ilmuwan Fisika dan juga Matematika yang dilahirkan di Inggris itu. Newton menjelaskan mengapa benda itu dapat diam atau bergerak. Semua keadaan itu dipengaruhi oleh suatu besaran yang dinamakan *gaya*. Pandangan Newton tentang gerak ini memperkuat pandangan ilmuwan pendahulunya yaitu Galilei Galileo. Dari penemuan-penemuan Galileo, Newton dapat menjelaskan lebih nyata dan diperkuat dengan eksperimen. Pandangannya ini kemudian menjadi penemuan besar yang dikenal **hukum Newton tentang gerak**.

Hukum -hukum Newton ini ditulis dalam sebuah buku yang diberi nama *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* dan pandangan ini pertama kali dikemukakan oleh Newton pada tahun 1686.

Hukum Newton tentang gerak ada tiga. Ketiga hukum ini dapat kalian cermati pada sub-bab berikut. Coba kalian pahami konsep besar apakah yang telah dijelaskan oleh Newton dan bagaimana pengaruh ketiga hukum itu dalam kehidupan manusia di bumi ini.



Gambar 4.2

Sir Isaac Newton (1692 - 1727)

B.Hukum I Newton

Pada hukum pertamanya ini Newton menjelaskan keadaan benda jika tidak dipengaruhi gaya. Menurut Newton benda dapat mempertahankan keadaan jika tidak dipengaruhi gaya. Mempertahankan keadaan berarti benda yang diam akan tetap diam dan benda bergerak dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap. Mempertahankan keadaan ini disebut dengan *inersia* atau *lembam*. Oleh karena itu hukum I Newton ini dinamakan juga *hukum inersia* atau *hukum kelembaman*.

Mungkinkah di dunia ini ada benda yang tidak dipengaruhi gaya? Di luar angkasa mungkin ada tetapi di bumi ini tidak mungkin. Contohnya saja setiap benda pasti dipengaruhi oleh gaya gravitasi atau berat. Dari keadaan inilah hukum I Newton dapat diartikan juga untuk benda yang dipengaruhi gaya tetapi resultannya nol. Sehingga hukum I Newton dapat dirumuskan seperti berikut.

$$\Sigma F = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

Jika resultan gaya yang bekerja pada benda nol maka benda dapat mempertahankan diri. Coba kalian cermati contoh soal berikut sehingga lebih memahami.

CONTOH 4.1

1. Sebuah balok bermassa 5 kg (berat $w = 50 \text{ N}$) digantung dengan tali dan diikatkan pada atap. Jika balok diam maka berapakah tegangan talinya?

Penyelesaian

Gaya-gaya yang bekerja pada balok seperti *Gambar 4.3* karena balok diam maka berlaku hukum I Newton.

$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ T - w &= 0 \\ T - 50 &= 0 \text{ berarti } T = 50 \text{ N}\end{aligned}$$

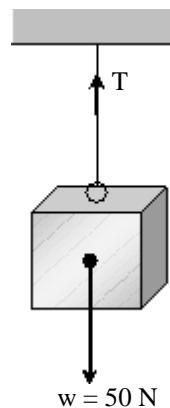
2. Sebuah benda bermassa 40 kg ditarik melalui katrol sehingga memiliki posisi seperti *Gambar 4.4(a)*. Jika sistem itu diam maka berapakah gaya F !

Penyelesaian

Benda yang bermassa akan memiliki berat.

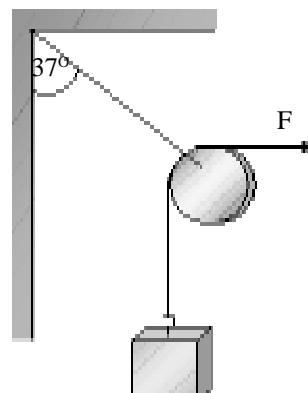
$$w = m \cdot g = 40 \cdot 10 = 400 \text{ N}$$

Pada sistem itu bekerja tiga gaya w, F dan T yang tidak segaris sehingga menentukan resultannya dapat digunakan sumbu koordinat X Y (*Metode Analisis*) seperti *Gambar 4.4(b)*. Sistem diam berarti berlaku hukum I Newton.

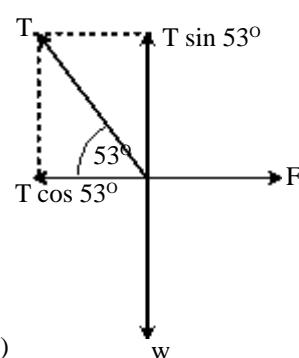


Gambar 4.3

Balok digantung

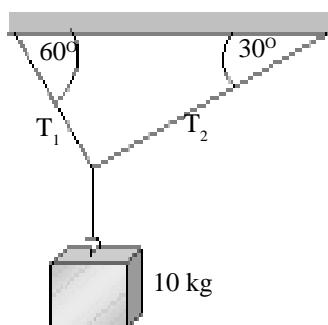


(a)



Gambar 4.4

Sistem benda seimbang



Gambar 4.5
Sistem benda diam

■ Pada Sumbu Y:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ T \sin 53^\circ - w &= 0 \\ T \cdot 0,8 - 400 &= 0 \text{ berarti } T = 500 \text{ N}\end{aligned}$$

■ Pada Sumbu X:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ F - T \cos 53^\circ &= 0 \\ F - 500 \cdot 0,6 &= 0 \\ F &= 300 \text{ N}\end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Ari membawa benda yang bermassa 15 kg. Berapakah gaya Ari yang diberikan pada benda itu?
2. Benda bermassa 10 kg diikat tali dan dibentuk sistem seperti pada *Gambar 4.5*. Jika sistem itu diam dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$ maka tentukan tegangan tali T_1 dan T_2 !

Contoh soal di atas menjelaskan tentang keadaan benda diam. Tetapi hukum I Newton juga berlaku pada benda yang bergerak tetapi kecepatannya tetap yaitu gerak GLB. Contoh ini dapat kalian cermati pada contoh di bawah.

CONTOH 4.2

Balok bermassa 20 kg berada di atas bidang miring licin dengan sudut kemiringan 30° . Jika Ucok ingin mendorong ke atas sehingga kecepatannya tetap maka berapakah gaya yang harus diberikan oleh Ucok?

Penyelesaian

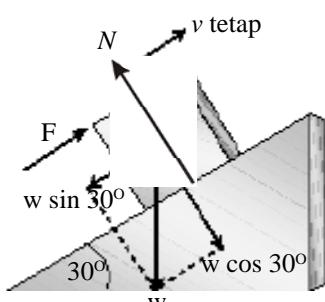
$$\begin{aligned}m &= 20 \text{ kg}, g = 10 \text{ m/s}^2 \\ w &= m g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N} \\ \alpha &= 30^\circ\end{aligned}$$

Gaya dorong Ucok F harus dapat mengimbangi proyeksi gaya berat. Lihat *Gambar 4.6*. Balok bergerak ke atas dengan kecepatan tetap berarti masih berlaku hukum I Newton sehingga memenuhi persamaan berikut.

$$\Sigma F = 0$$

$$F - w \sin 30^\circ = 0$$

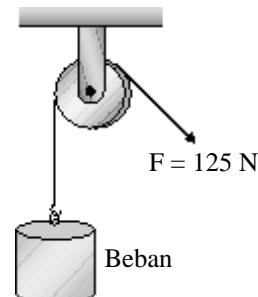
$$\begin{aligned}F - 200 \cdot \frac{1}{2} &= 0 \\ F &= 100 \text{ N}\end{aligned}$$



Gambar 4.6
Balok pada bidang miring

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dhania menarik beban dengan bantuan katrol seperti pada Gambar 4.7. Pada saat gaya yang diberikan $F = 125 \text{ N}$ ternyata beban dapat terangkat dengan kecepatan tetap. $g = 10 \text{ m/s}^2$. Jika gaya gesek katrol dan massa tali dapat diabaikan maka berapakah massa beban tersebut?

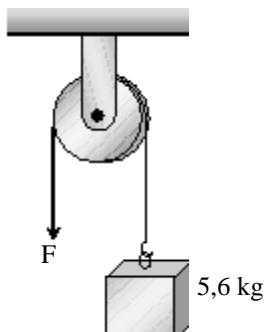


Gambar 4.7



ATIHAN 4.1

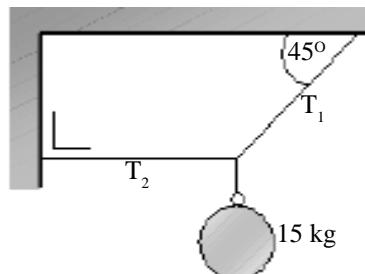
1. Coba jelaskan mengapa sebuah benda dapat bergerak dan mengapa sebuah benda dalam keadaan diam!
2. Sebuah benda dalam keadaan diam. Mungkinkah ada gaya yang bekerja pada benda itu? Coba jelaskan mengapa kalian memilih jawaban tersebut!
3. Bertha menarik tali yang terhubung benda melalui katrol seperti gambar. Benda tersebut bermassa $5,6 \text{ kg}$. Jika benda itu dalam keadaan diam maka berapakah gaya yang diberikan oleh Bertha? Jelaskan bagaimanakah caranya kalian menemukan jawaban tersebut!



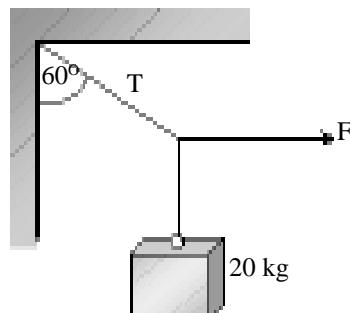
4. Sebuah benda bermassa 20 kg berada di atas bidang miring yang kasar. Sudut kemiringan 37° terhadap horisontal ($\cos 37^\circ = 0,8$). Percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapakah gaya gesek yang bekerja pada balok sehingga balok dalam keadaan diam?

5. Di bawah digambarkan sistem-sistem benda dengan tali. Tentukan tegangan tali T dan gaya F yang harus diberikan agar sistem dalam keadaan seimbang (diam)!

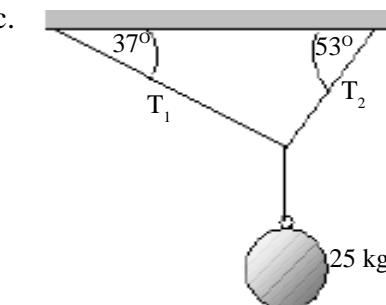
a.



b.



c.



C. Hukum II Newton

Kalian telah belajar bagaimana keadaan benda jika tidak dipengaruhi gaya atau resultannya nol. Bagaimana jika resultan gaya yang bekerja tidak nol? Keadaan inilah yang dijelaskan oleh Newton pada hukum keduanya. Pada hukum keduanya Newton menjelaskan pengaruh gaya pada percepatan benda. Jika resultan gaya pada benda tidak nol ($\sum F \neq 0$) maka benda itu akan mengalami percepatan. Hubungan dan perumusan hukum II Newton dapat kalian cermati pada penjelasan berikut.

1. Hubungan Antar Besaran

Untuk memahami hukum II Newton dapat kalian pelajari terlebih dahulu hubungan antara percepatan benda dengan massa dan gaya yang mempengaruhinya. Menurut Newton percepatan suatu benda di pengaruhi oleh gaya F dan massa m .

Coba kalian amati orang yang mendorong mobil mogok pada *Gambar 4.8*. Lebih cepat bergerak manakah kejadian (a) didorong satu orang dengan kejadian (b) didorong banyak orang? Tentu kalian langsung menjawab lebih cepat kejadian (b) karena dengan banyak orang berarti gayanya besar (F besar). Lebih cepat bergerak berarti dapat menggambarkan perubahan kecepatan yang besar atau percepatan (a) besar.

Dari kejadian di atas dapat menjelaskan bahwa percepatan (a) benda dipengaruhi oleh gaya F . Jika massa tetap (sama) maka *percepatan benda sebanding dengan gaya yang bekerja pada benda*. Secara matematis dapat

dituliskan:



Hubungan massa dan percepatan dapat kalian pahami dengan mencoba menarik kursi (m kecil) dan menarik meja (m besar). Coba bandingkan lebih mudah bergerak yang mana? Jika gaya kalian sama tentu kursi akan lebih cepat bergerak berarti massa yang kecil akan mengalami percepatan yang besar. Dari kejadian ini dapat diperoleh hubungan bahwa *percepatan benda berbanding terbalik dengan massanya*.

Secara matematis dituliskan:

$$a \sim \frac{1}{m}$$

Hukum II Newton menggambarkan hubungan percepatan dengan massa dan gaya. Dari kedua hubungan di atas dapat dirumuskan:

$$\vec{a} \sim \vec{F}$$

$$a \sim \frac{1}{m}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

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



Gambar 4.8.

Mobil mogok di dorong (a) oleh satu orang dan (b) oleh banyak orang.

dengan : \vec{F} = gaya yang bekerja pada benda (N)
 m = massa benda yang diberi gaya (kg)
 \vec{a} = percepatan benda yang diberi gaya (m/s^2)

CONTOH 4.3

Balok A bermassa 4 kg diletakkan di atas balok B yang bermassa 6 kg. Kemudian balok B ditarik dengan gaya F di atas lantai mendatar licin sehingga gabungan balok itu mengalami percepatan $1,8 \text{ m/s}^2$. Jika tiba-tiba balok A terjatuh maka berapakah percepatan yang dialami oleh balok B saja?

Penyelesaian

$$m_A = 4 \text{ kg}, m_B = 6 \text{ kg} \text{ dan } a_1 = 1,8 \text{ m/s}^2$$

Kedua keadaan balok pertama (tergantung) dan kedua (A jatuh) dapat di gambarkan seperti pada Gambar 4.9. Pada kedua kejadian berlaku hukum II Newton sebagai berikut.

$$F = m a$$

$$\begin{aligned} F &= (m_A + m_B) a_1 \\ &= (4 + 6) \cdot 1,8 = 18 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya F juga bekerja pada keadaan kedua sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} F &= m_B \cdot a_2 \\ 18 &= 6 \cdot a_2 \text{ berarti } a_2 = 3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Konsep Keseimbangan

Pada kejadian ini perubahan percepatan a terjadi karena perubahan massa m tetapi F tetap sehingga berlaku:

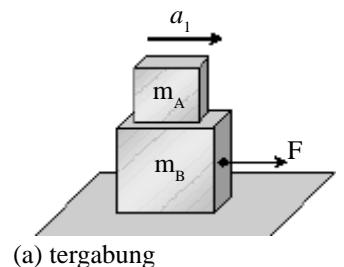
$$a \sim \frac{1}{m}$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2}$$

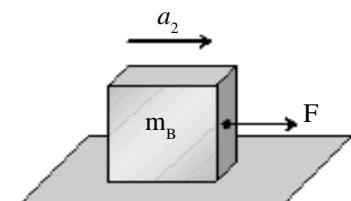
$$a_2 = \frac{(4+6)}{6} \times 1,8 = 3 \text{ m/s}^2$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah balok bermassa m berada di atas lantai mendatar licin di dorong dengan gaya mendatar $21,5 \text{ N}$ sehingga mengalami percepatan 2 m/s^2 . Berapakah gaya yang harus diberikan agar percepatan menjadi 4 m/s^2 ?



(a) tergabung



(b) A jatuh

Gambar 4.9

Gerak benda

2. Berat, Gaya Normal dan Gaya Gesek

Hukum-hukum Newton dapat digunakan untuk menganalisa atau menyelesaikan suatu permasalahan berdasarkan gaya-gaya yang bekerja. Di alam ini banyak sekali jenis gaya yang dapat bekerja pada benda. Tiga jenis gaya yang perlu kalian ketahui adalah *berat*, *gaya normal*, dan *gaya gesek*.

Gaya normal dan gaya gesek merupakan proyeksi *gaya kontak*. Setiap ada dua benda yang bersentuhan akan timbul gaya yang dinamakan gaya sentuh atau gaya kontak. Gaya kontak ini dapat di proyeksikan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus. *Proyeksi gaya kontak yang tegak lurus bidang sentuh dinamakan gaya normal. Sedangkan proyeksi gaya kontak yang sejajar bidang sentuh di namakan gaya gesek.*

a. Berat

Setiap benda memiliki berat, seperti yang telah disinggung di depan, berat disimbulkan w . Sudah tahukah kalian dengan berat itu? Berat adalah gaya gravitasi bumi yang dirasakan oleh benda-benda di sekitar bumi. Sesuai perumusan gaya pada persamaan 4.2, berat suatu benda didefinisikan sebagai hasil kali massa m dengan percepatan gravitasi g .

dengan w = berat (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Percepatan gravitasi di permukaan bumi dapat menggunakan pendekatan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

b. Gaya Normal

Di atas kalian telah dijelaskan tentang gaya normal yaitu tembusuk proyeksi gaya kontak. Gaya ini terjadi jika ada kontak dua benda. Misalnya balok berada di atas meja atau lantai, penghapus ditekankan pada papan saat menghapus. Besar gaya normal ini sangat tergantung pada keadaan benda yang saling kontak tersebut dan untuk menentukannya dapat menggunakan hukum I dan II Newton cermati contoh berikut untuk memahaminya.

CONTOH 4.4

Sebuah balok bermassa 5 kg. Jika $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ maka tentukan:

- a. berat balok,
 - b. gaya normal jika balok diletakkan di atas bidang datar,
 - c. gaya normal yang bekerja pada balok jika diam di atas bidang miring yang membentuk sudut 30^0 terhadap horisontal!

Penyelesaian

$$\begin{aligned}m &= 5 \text{ kg} \\g &= 10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

- a. Berat balok memenuhi:

$$w = m g = 5 \cdot 10 = 50 \text{ N}$$

- b. Perhatikan balok di atas lantai mendatar seperti pada Gambar 4.11(a). Balok tidak bergerak berarti berlaku hukum I Newton:

$$\sum F_y = 0$$

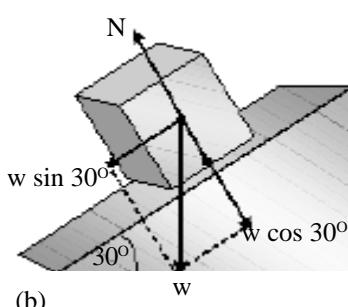
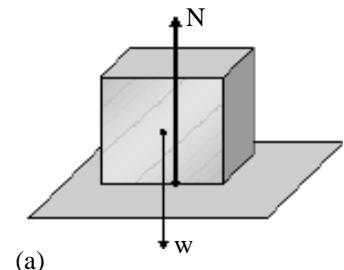
$$N - w = 0 \text{ berarti } N = 50 \text{ N}$$

- c. Perhatikan Gambar 4.11(b). Gaya-gaya pada balok dapat di lihat pada gambar tersebut. Balok dalam keadaan diam pada arah tegak lurus bidang berarti berlaku.

$$\sum F = 0$$

$$N - w \cos 30^\circ = 0$$

$$\begin{aligned}N - 50 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} &= 0 \\N &= 25\sqrt{3} \text{ N}\end{aligned}$$

**Gambar 4.11**

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Sebuah balok bermassa 15 kg diketahui di atas bidang miring kasar. Sudut kemiringannya 37° terhadap horisontal ($\sin 37^\circ = 0,6$). Jika balok diam maka tentukan:
 - berat balok,
 - gaya normal yang bekerja pada balok!
2. Sebuah penghapus bermassa 120gr ditekan pada papan secara tegak lurus dengan gaya 15 N. Berapakah gaya normal yang bekerja pada penghapus?

c. Gaya Gesek

Pernahkah kalian mendorong atau menarik balok dan sulit bergerak? Misalnya seperti pada Gambar 4.12. Salah satu penyebab keadaan itu adalah gaya gesek. Seperti penjelasan di depan, gaya gesek merupakan proyeksi gaya kontak yang sejajar bidang sentuh. Pada gerak translasi arah gaya ini akan menentang kecenderungan arah gerak sehingga dapat mempersulit gerak benda.

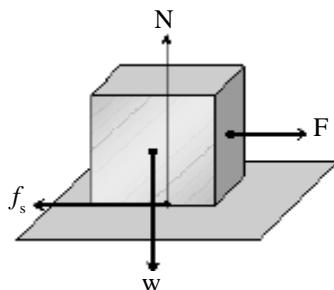
Berdasarkan keadaan benda yang dikenainya, gaya gesek dapat dibagi menjadi dua. Untuk keadaan benda yang diam dinamakan *gaya gesek statis* f_s dan untuk keadaan benda yang bergerak dinamakan *gaya gesek kinetik* f_k .

**Gambar 4.12**

Gaya gesek statis

Gaya gesek ini terjadi pada keadaan diam berarti besarnya akan memenuhi hukum I Newton. Contohnya seperti balok pada *Gambar 4.13*. Balok ditarik gaya F , karena tetap diam berarti $f_s = F$ agar $\Sigma F = 0$.

Gaya gesek statis ini memiliki nilai maksimum $f_{s \max}$ yaitu gaya gesek yang terjadi pada saat benda tepat akan bergerak. $f_{s \max}$ dipengaruhi oleh gaya normal dan kekasaran bidang sentuh (μ_s). Gaya gesek statis maksimum sebanding dengan gaya normal N dan sebanding dengan koefisien gesek statis μ_s . Dari kesebandingan ini dapat dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 4.13

Balok ditarik gaya F tetapi diam karena ada gaya gesek f_s

$$\begin{aligned} f_{s \max} &\sim N \\ f_{s \max} &\sim \mu_s \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad f_{s \max} = \mu_s N \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

dengan : $f_{s \max}$ = gaya gesek statis maksimum (N)

μ_s = koefisien gesek statis

N = gaya normal (N)

Dari nilai $f_{s \max}$ pada persamaan 4.4 maka nilai gaya gesek statis akan memenuhi syarat sebagai berikut.

$$f_s \leq \mu_s N \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

Gaya gesek kinetik

Gaya gesek kinetik timbul saat benda bergerak. Besar gaya gesek kinetik sesuai dengan $f_{s \max}$ yaitu sebanding dengan gaya normal N dan sebanding dengan koefisien gesek kinetik μ_k . Dari hubungan ini dapat dirumuskan seperti berikut.

$$f_k = \mu_k \cdot N \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

dengan : f_k = gaya gesek kinetik (N)

μ_k = koefisien gesek kinetik

N = gaya normal (N)

CONTOH 4.5

Sebuah balok bermassa 20 kg berada di atas lantai mendatar kasar. $\mu_s = 0,6$ dan $\mu_k = 0,3$. Kemudian balok ditarik gaya sebesar F mendatar. $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukan gaya gesek yang dirasakan balok dan percepatan balok jika:

a. $F = 100 \text{ N}$

b. $F = 140 \text{ N}$

Penyelesaian

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

$$\mu_s = 0,6$$

$$\mu_k = 0,3$$

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

Keduaan balok dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.14. Gaya normal N memenuhi:

$$N = w = m g = 200 \text{ N}$$

Pengaruh gaya F dapat diketahui dengan menghitung dahulu $f_{s \max}$.

$$\begin{aligned} f_{s \max} &= \mu_s \cdot N \\ &= 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ N} \end{aligned}$$

a. $F = 100 \text{ N}$

$F < f_{s \max}$ berarti balok diam sesuai hukum I Newton
 $\therefore \Sigma F = 0$ maka diperoleh:

$$f_s = F = 100 \text{ N} \text{ dan } a = 0$$

b. $F = 140 \text{ N}$

$F > f_{s \max}$ berarti balok bergerak.

Gaya geseknya adalah gaya gesek kinetik, yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k N \\ &= 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ N} \end{aligned}$$

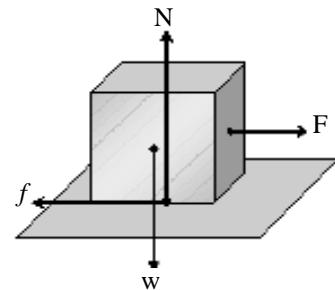
Percepatan balok dapat ditentukan dengan hukum II Newton sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma F &= m a \\ F - f_k &= m \cdot a \\ 140 - 60 &= 20 a \\ a &= 4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Di atas bidang mendatar kasar diletakkan sebuah balok bermassa 15 kg. Koefisien gesek statis dan koefisien gesek kinetik bidang dan balok masing-masing sebesar 0,8 dan 0,4. Percepatan gravitasi diketahui $g = 10 \text{ m/s}^2$. Jika balok tersebut ditarik gaya mendatar sebesar F maka tentukan gaya gesek yang bekerja pada balok dan percepatan balok untuk:

- a. $F = 110 \text{ N}$
- b. $F = 150 \text{ N}$



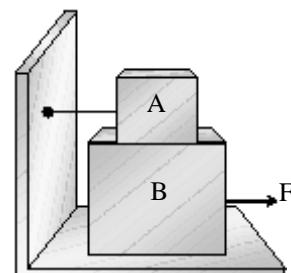
Gambar 4.14

Balok ditarik gaya F



ATIHAN 4.2

1. Sebuah benda yang dikenai gaya dapat bergerak dipercepat. Bagaimana perubahan percepatan benda tersebut jika gaya yang diberikan diperbesar menjadi tiga kalinya?
2. Coba carikan bukti-bukti (contoh kejadian) yang dapat menjelaskan bahwa percepatan sebuah benda berbanding terbalik dengan massa benda!
3. Balok yang berada di atas lantai mendatar licin ditarik gaya 10 N sehingga dapat bergerak dipercepat sebesar $2,5\text{ m/s}^2$. Berapakah gaya yang harus diberikan agar percepatan benda itu menjadi 5 m/s^2 ?
4. Sebuah balok bermassa 10 kg ditarik gaya F sehingga bergerak dengan percepatan 4 m/s^2 . Balok tersebut berada di atas lantai mendatar yang licin. Berapakah percepatan balok tersebut jika tiba-tiba ditumpangi balok lain bermassa 10 kg ?
5. Kubus bermassa 2 kg diletakkan di atas bidang miring licin. Bidang tersebut membentuk sudut 37° terhadap horisontal ($\cos 37^\circ = 0,8$). Tentukan:
 - a. percepatan yang dialami kubus,
 - b. gaya normal yang dirasakan kubus!
6. Mangkok berisi bakso ditempatkan di atas meja makan. Massa mangkok dan isinya sekitar 250 gr . Tentukan:
 - a. berat mangkok dan isinya,
 - b. gaya normal yang dirasakan mangkok!
7. Batu marmer diletakkan di atas lantai kasar dengan $\mu_s = 0,6$ dan $\mu_k = 0,2$. Massa batu = 50 kg . Batu tersebut ingin dipindah sehingga ditarik gaya F mendatar. Tentukan gaya gesek yang bekerja dan percepatan batu marmer tersebut jika:
 - a. $F = 250\text{ N}$
 - b. $F = 350\text{ N}$
8. Balok A = 15 kg dan balok B = 20 kg ditumpuk seperti gambar. Koefisien gesek kinetik antar balok A dan B dengan balok B dan lantai sama $\mu_k = 0,3$. Jika balok B ditarik gaya F sehingga bergerak pelan maka tentukan perbandingan gaya gesek yang bekerja antara balok A dan B dengan gaya gesek yang bekerja antara balok B dan lantai!



9. Air minum kemasan yang masih di kardusnya ditarik dengan gaya $F = 200\text{ N}$ yang membentuk sudut 37° terhadap horisontal ($\sin 37^\circ = 0,6$). Massa kardus dan isinya 20 kg . Jika koefisien gesek lantai $\mu_s = 0,5$ dan $\mu_k = 0,2$ maka tentukan:
 - a. gaya normal yang bekerja pada kardus,
 - b. gaya gesek yang bekerja pada kardus,
 - c. percepatan gerak kardus!
10. Benda 4 kg mula-mula memiliki kecepatan 10 m/s kemudian melalui bidang datar kasar dengan koefisien gesek kinetik $0,2$.
 - (a) Berapakah percepatan yang dialami benda tersebut?
 - (b) Berapakah jarak terjauh yang dapat ditempuh benda itu hingga berhenti?



3. Aplikasi Hukum II Newton

Gerak benda-benda yang ada di alam banyak keadaannya yang memenuhi hukum II Newton. Gabungan benda-benda yang diberi gaya atau sebuah benda yang dipengaruhi beberapa gaya dinamakan sistem benda. Pada sistem benda inilah banyak berlaku hukum II Newton. Untuk menganalisa permasalahan sistem benda yang berkaitan dengan gaya dapat menggunakan hukum II Newton dan bentuknya menjadi seperti berikut.

dengan : $\vec{\Sigma F}$ = resultan gaya yang bekerja (N)

m_{tot} = massa total (kg)

\vec{a}_{tot} = percepatan sistem (m/s^2)

Contoh-contoh sistem benda yang dapat kalian pelajari di kelas X ini antara lain : *Sistem katrol*, *sistem benda mendatar* dan *sistem benda gerak vertikal*.

Sistem katrol

Sistem katrol melibatkan hubungan dua benda atau lebih yang melalui sebuah katrol. Untuk kelas X SMA ini massa katrol dan geseknya masih diabaikan. Cermati contoh berikut.

CONTOH 4.6

Balok A = 3 kg diletakkan di atas meja kemudian diikat tali yang dihubungkan batu B = 2 kg melalui sebuah katrol seperti pada *Gambar 4.15*. Massa dan gesekan katrol diabaikan, $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukan percepatan sistem dan tegangan tali jika:

- a. meja licin,
 - b. meja kasar dengan koefisien gesek kinetik $\mu_k = 0,4$!

Penyelesaian

$$m_A = 3 \text{ kg} \rightarrow w_A = 30 \text{ N}$$

$$m_B^A = 2 \text{ kg} \rightarrow w_B^A = 20 \text{ N}$$

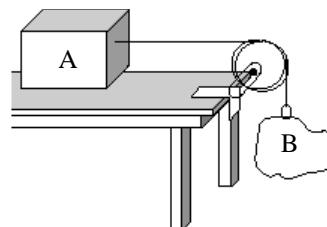
$$g^B = 10 \text{ m/s}^2$$

a. Meja licin

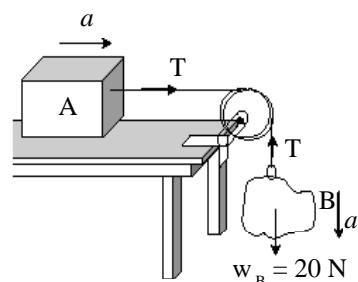
Jika meja licin maka gaya-gaya yang bekerja pada balok dan batu dapat dilihat seperti *Gambar 4.16*.

Sistem dipercepat dengan percepatan sama, sehingga berlaku hukum II Newton:

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



Gambar 4.15
Sistem katrol



Gambar 4.16
Sistem katrol dan meja licin

Pada balok A : $T = m_A a \rightarrow T = 5a$

$$\begin{aligned} \text{Pada batu B} : w_B - T &= m_B a \rightarrow 20 - T = 2a \\ \hline 20 &= 5a \end{aligned}$$

Berarti percepatannya : $a = 4 \text{ m/s}^2$

Dan tegangan tali memenuhi:

$$T = 3a = 3 \cdot 4 = 12 \text{ N}$$

b. Meja kasar

$$\mu_k = 0,4$$

$$f_k = \mu_k \cdot N_A = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ N}$$

Jika bekerja gaya gesek f_k maka gaya-gaya pada sistem menjadi seperti pada Gambar 4.17.

Pada sistem ini juga berlaku hukum II Newton:

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

Pada balok A : $T - f_k = m_A a \rightarrow T - 12 = 3a$

$$\begin{aligned} \text{Pada balok B} : w_B - T &= m_B a \rightarrow 20 - T = 2a \\ \hline 8 &= 5a \end{aligned}$$

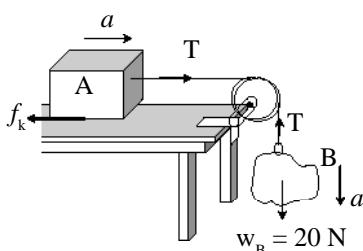
Berarti percepatannya : $a = 1,6 \text{ m/s}^2$

Dan nilai T memenuhi:

$$T - 12 = 3 \cdot a$$

$$T - 12 = 3 \cdot 1,6$$

$$T = 16,8 \text{ N}$$

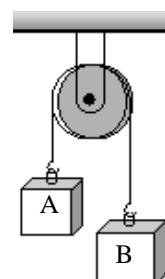


Gambar 4.17

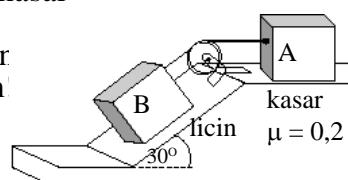
Sistem katrol dengan meja kasar

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Balok A = 8 kg dan balok B = 2 kg disambungkan dengan tali yang melalui katrol seperti gambar. Jika gaya gesek dan massa katrol diabaikan maka tentukan percepatan dan tegangan tali saat dilepaskan!



2. Balok A = 6 kg dan balok B = 4 kg dihubungkan melalui katrol seperti gambar. Bidang miring licin dan bidang datar kasar dengan $\mu_k = 0,2$. Tentukan percepatan dan tegangan tali sistem!

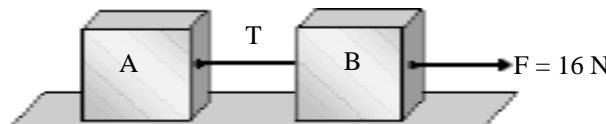


Gerak horisontal

Contoh kedua dari penerapan hukum II Newton adalah sistem benda pada gerak di bidang horisontal. Pada penerapan ini tetap menggunakan persamaan 4.7 untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Persamaan 4.7 ternyata tergantung pada kita dalam mengartikannya. Persamaan itu dapat digunakan dalam bagian-bagian dari sistem maupun sistem sebagai satu kesatuan. Coba kalian cermati penerapan ini pada contoh berikut.

CONTOH 4.7

Dua balok A = 4 kg dan balok B = 2 kg ditarik gaya $F = 16 \text{ N}$ di atas lantai mendatar licin seperti *Gambar 4.18*. Tentukan percepatan sistem benda dan tegangan tali T!



Gambar 4.18

Sistem benda pada bidang datar yang bergerak

Penyelesaian

$$m_A = 4 \text{ kg}$$

$$m_B = 2 \text{ kg}$$

$$\vec{F} = 16 \text{ N}$$

Balok A dan B bergerak dengan percepatan sama. Gaya-gaya yang bekerja terlihat seperti pada *Gambar 4.19*. Pada kedua balok berlaku hukum II Newton.

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

$$\text{Balok A : } T = m_A a \rightarrow T = 4a$$

$$\begin{aligned} \text{Balok B : } F - T &= m_B a \rightarrow 16 - T = 2a \\ 16 &= 8a \\ a &= 2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Berarti tegangan talinya memenuhi:

$$T = 4a = 4 \cdot 2 = 8 \text{ N}$$

Konsep Sistem = Satu kesatuan

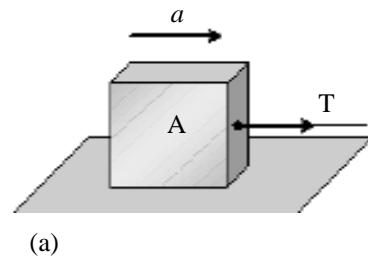
Pada gerak dua balok itu dapat dianggap sebagai satu benda sehingga memenuhi:

$$\Sigma F = m_{\text{tot}} \cdot a$$

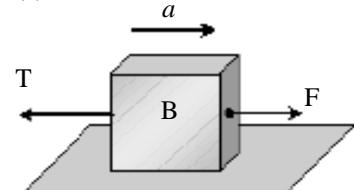
$$(16 - T + T) = (4 + 2) \cdot a$$

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

Dan nilai T dapat digunakan cara yang sama.



(a)



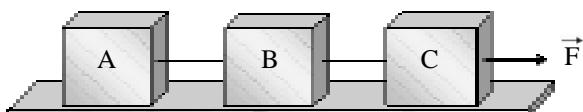
(b)

Gambar 4.19

Gaya-gaya yang bekerja pada benda

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada gambar terlihat balok-balok A, B dan C terletak di bidang mendatar yang licin. Diketahui massa A = 10 kg, massa B = 8 kg, massa C = 2 kg dan $F = 50 \text{ N}$. Berapakah perbandingan besarnya tegangan tali antara A dan B dengan besarnya tegangan tali antara B dan C?



Gerak vertikal

Penerapan hukum II Newton pada sistem benda yang bergerak vertikal selalu dipengaruhi berat bendanya. Analisanya sama dengan penerapan-penerapan sebelumnya yaitu menggunakan persamaan 4.7. Contoh gerak vertikal ini adalah orang atau beban yang naik turun di lift atau eskalator. Pahamilah contoh berikut.

CONTOH 4.8

Seseorang mengukur beratnya di lantai memperoleh nilai 700 N. Kemudian dia mengukur beratnya di dalam lift yang sedang bergerak ke bawah dengan percepatan 4 m/s^2 . Percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 . Berapakah berat orang itu yang terukur?

Penyelesaian

$$w = 700 \text{ N} \rightarrow m = 70 \text{ kg}$$

Berat orang yang berada dalam lift bergerak sama dengan gaya normal yang diterimannya sehingga gaya-gaya yang bekerja pada orang itu dapat dilihat seperti pada Gambar 4.20. Lift dipercepat ke bawah sehingga berlaku:

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

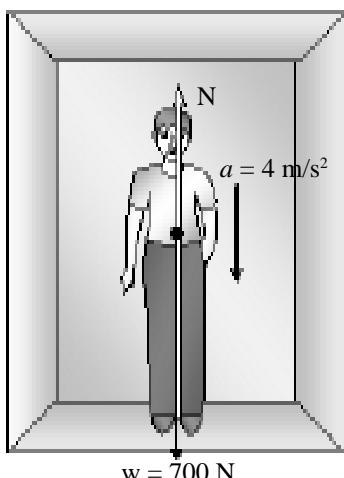
$$w - N = m a$$

$$700 - N = 70 \cdot 4$$

$$N = 420 \text{ N}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda yang massanya 1200 kg digantungkan pada suatu kawat yang dapat memikul beban maksimum sebesar 15.000 newton. Jika percepatan gravitasi sama dengan 10 m/s^2 maka kawat tersebut dapat ditarik ke atas dengan percepatan maksimum?

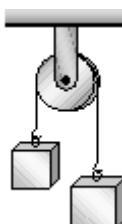


Gambar 4.20

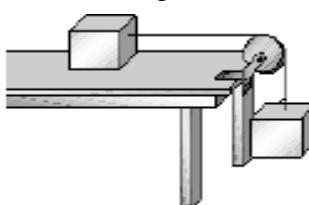


ATIHAN 4.3

- Sebuah benda yang massanya 1200 kg digantungkan pada suatu kawat yang dapat memikul beban maksimum sebesar 15.000 newton. Jika percepatan gravitasi sama dengan 10 m/s^2 maka kawat tersebut dapat ditarik ke atas dengan percepatan maksimum a . Berapakah besar a tersebut?
- Seseorang dengan massa 60 kg berada dalam lift yang sedang bergerak. Percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 . Berapakah gaya desakan kaki orang pada lantai lift jika:
 - lift dipercepat 3 m/s^2 ke atas,
 - lift dipercepat 4 m/s^2 ke bawah?
- Dua buah benda $m_1 = 2 \text{ kg}$ dan $m_2 = 3 \text{ kg}$ dihubungkan satu sama lain melalui sebuah katrol seperti gambar di bawah. Bila massa katrol dan gesekannya dapat diabaikan, maka tentukan:
 - percepatan yang dialami benda m_1 dan m_2 ,
 - tegangan tali penghubung katrol!



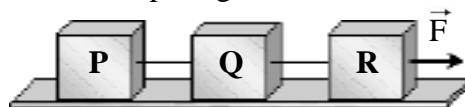
- Two blocks A and B are connected like the system in the figure. Both blocks have the same mass, i.e., $m_A = m_B = 15 \text{ kg}$, while the mass of the pulley can be ignored. The acceleration due to gravity is $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Tentukan percepatan sistem balok dan tegangan talinya jika:

- meja licin,
- meja kasar dengan koefisien gesek kinetik 0,2!

- Tiga balok P, Q, dan R memiliki massa $m_p = 4 \text{ kg}$, $m_Q = 8 \text{ kg}$ dan $m_R = 12 \text{ kg}$ disambungkan dengan tali berada di atas lantai mendatar kasar. Koefisien gesek kinetis sama 0,30. Kemudian balok R ditarik gaya $F = 120 \text{ N}$ arah mendatar seperti gambar di bawah.

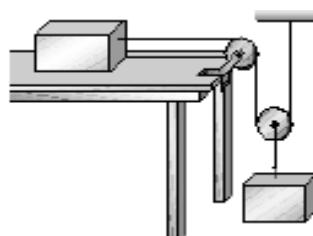


Berapakah:

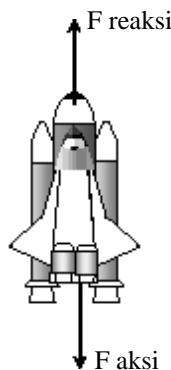
- percepatan sistem benda,
- tegangan tali T_1 ?

- Bila balok $m = 1,5\sqrt{2} \text{ kg}$ diberi gaya F yang membentuk sudut 45° terhadap lantai kasar, balok bergerak dengan percepatan tetap $\frac{4}{3} \text{ m/s}^2$. Percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapakah koefisien gesekan balok dan lantai?

- Dua balok P dan Q dihubungkan menjadi satu kesatuan sistem seperti gambar di bawah.
 - Samakah percepatan yang dialami balok P dan balok Q?
 - Jika balok P dipercepat 2 m/s^2 ke kanan, maka berapakah percepatan balok Q?



D. Hukum III Newton



Gambar 4.21

Gaya aksi-reaksi terjadi pada gerak peluncuran pesawat luar angkasa.

Dalam hukum yang ketiga Newton menjelaskan tentang adanya gaya aksi reaksi. Menurut Newton, setiap benda yang diberi gaya aksi pasti akan timbul gaya reaksi. Gaya reaksi ini juga bisa menjelaskan tentang keseimbangan alam. Sebagai contoh adalah peluncuran pesawat ruang angkasa. Pada saat pesawat menyemburkan gas ke luar maka pesawat tersebut telah memberikan gaya aksi pada gas maka gas itu akan memberikan gaya reaksi sehingga dapat mendorong pesawat dan menyebabkan pesawat dapat bergerak. Perhatikan *Gambar 4.21*.

Dua gaya merupakan gaya aksi-reaksi jika kedua gaya tersebut memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

- sama besar
- berlawanan arah
- terjadi pada dua benda yang saling berinteraksi

Dari ketiga sifat di atas dapat dirumuskan seperti di bawah.

$$F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}}$$

CONTOH 4.9

Sebuah buku diletakkan di atas meja. Pada sistem benda tersebut akan bekerja gaya-gaya seperti pada *Gambar 4.22*. Ada empat gaya yang bekerja pada sistem tersebut yaitu:

w = berat buku,

N = gaya tekan normal meja terhadap buku,

N' = gaya tekan normal buku pada meja, dan

F_g = gaya gravitasi bumi pada buku.

Tentukan pasangan gaya yang termasuk aksi reaksi!

Penyelesaian

Pasangan gaya aksi-reaksi memenuhi sifat : sama besar, berlawanan arah dan bekerja pada dua benda. Dari sifat di atas dapat ditentukan dua pasangan aksi-reaksi yaitu:

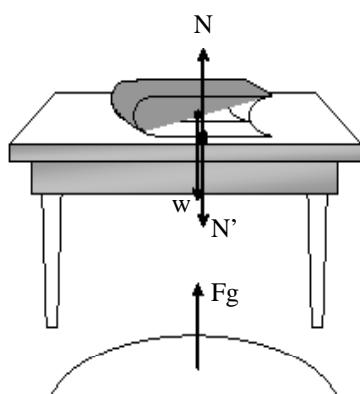
w dengan F_g

N dengan N'

w dan N bukan aksi-reaksi karena bekerja pada satu benda (buku) tetapi hubungan $N = w$ merupakan hukum I Newton yaitu $\Sigma F = 0$.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Seekor ikan yang bergerak dengan siripnya juga terjadi gaya aksi reaksi. Tentukan pasangan aksi-reaksi yang ada.



Gambar 4.22

Gaya aksi-reaksi

Rangkuman Bab 4

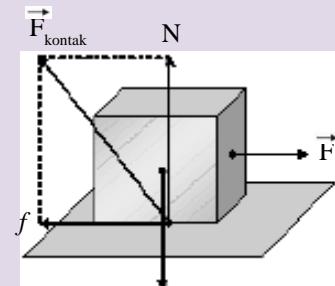
1. Hukum Newton berkaitan erat dengan gaya. Tiga besaran utama yang perlu diperhatikan adalah berat, gaya normal dan gaya gesek.

Berat : $w = m g$

Gaya kontak

Gaya normal : tegak lurus bidang sentuh

Gaya gesek : sejajar bidang



2. Gaya gesek ada dua.

Gaya gesek

Benda diam : gaya gesek statis

$$f_s \leq \mu_s N \quad f_s = F$$

Benda bergerak : gaya gesek kinetik

$$f_k = \mu_k N$$

3. Hukum Newton tentang gerak ada tiga.

Hukum Newton

Hukum I Newton

$$\Sigma F = 0$$

Benda diam

Hukum II Newton

$$\Sigma F = m a$$

GLB

Hukum III Newton

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

4. Aplikasi hukum II Newton

Pada sistem benda yang dipercepat, hukum II Newton dapat menjadi bentuk umum:

$$\Sigma \vec{F} = m_{tot} \cdot \vec{a}$$

$\Sigma \vec{F}$ = resultan gaya

m_{tot} = jumlah massa

Sistem benda : Sebuah benda yang dipengaruhi banyak gaya atau banyak benda dipengaruhi sebuah gaya.

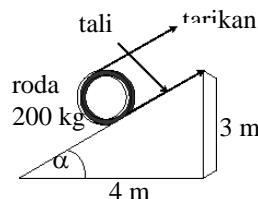
Evaluasi Bab 4

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

- Sebuah benda yang dikenai gaya dapat bergerak dengan kecepatan konstan v . Besar gaya total yang bekerja pada benda tersebut adalah
 - bergantung pada M
 - nol
 - bergantung pada besar v
 - tidak bergantung pada besar v
 - tidak bergantung pada M(SPMB 2003)

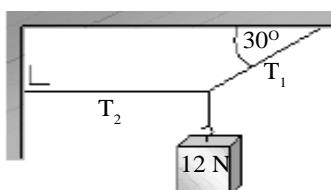
- Jika gaya gesek diabaikan. Besarnya gaya tarikan (minimum) yang diperlukan agar roda bergerak ke atas adalah

- 600 N
- 750 N
- 200 N
- 1000 N
- 1200 N



(SIPENMARU 1988)

- Apabila sistem seperti gambar dalam keadaan setimbang, maka besarnya tegangan tali T_1 dan T_2 adalah

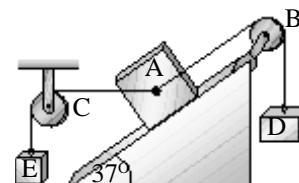


- $6\sqrt{3}$ N dan 12 N
 - 12 N dan $12\sqrt{3}$ N
 - $12\sqrt{3}$ N dan 24 N
 - 24N dan $12\sqrt{3}$ N
 - 28 N dan $12\sqrt{3}$ N
- (EBTANAS, 1994)

- Pada gambar ditunjukkan sistem katrol dengan berat A = 90 N. Apabila tali AC horizontal dan tali AB sejajar bidang, serta bidang miring dan katrol licin.

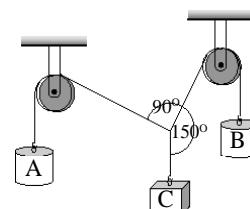
Ternyata gaya normal bidang balok A juga nol, berarti berat benda D adalah

- 75 N
- 80 N
- 90 N
- 120 N
- 150 N



- Pada gambar di bawah, sistem dalam keadaan seimbang. Perbandingan massa A dengan massa B adalah

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



(SPMB, 2002)

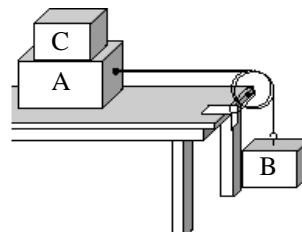
- Sebuah balok 5 kg ditarik oleh gaya mendatar F pada lantai licin, ternyata menghasilkan percepatan 4 m/s^2 . Jika balok ditumpangi massa lain sebesar 3 kg, maka percepatan balok sekarang adalah

- 12 m/s^2
- 8 m/s^2
- 4 m/s^2
- $2,5 \text{ m/s}^2$
- $1,2 \text{ m/s}^2$

- Gaya (F) sebesar 12 N bekerja pada sebuah benda yang massanya m_1 menyebabkan percepatan m sebesar 8 ms^{-2} . Jika F bekerja pada benda bermassa m_2 maka percepatan yang ditimbulkannya adalah 2 ms^{-2} . Jika F bekerja pada benda yang bermassa $m_1 + m_2$, maka percepatan benda ini adalah

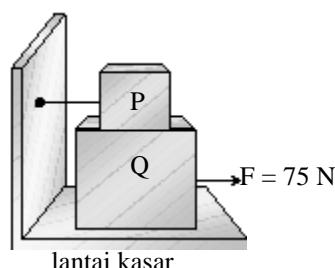
- $1,2 \text{ ms}^{-2}$
- $1,6 \text{ ms}^{-2}$
- $2,4 \text{ ms}^{-2}$
- $3,0 \text{ ms}^{-2}$
- $3,6 \text{ ms}^{-2}$

(SPMB, 2001)

8. Sebuah benda dengan berat w meluncur pada bidang miring yang licin. Bidang miring membentuk sudut α terhadap bidang mendatar. Komponen gaya berat yang mempengaruhi besar percepatan benda adalah
- A. $\frac{w}{\sin \alpha}$ D. $\frac{w}{\cos \alpha}$
 B. $w \sin \alpha$ E. $w \cos \alpha$
- (EBTANAS, 1992)
9. Mobil 700 kg mogok di jalan yang mendatar. Kabel horizontal mobil derek yang dipakai untuk menyeretnya akan putus jika tegangan di dalamnya melebihi 1400 N. Percepatan maksimum yang dapat diterima mobil mogok itu dari mobil derek adalah ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- A. 2 m/s^2 D. 7 m/s^2
 B. 8 m/s^2 E. 0 m/s^2
 C. 10 m/s^2
- (UMPTN, 1989)
10. Sepuluh balok kayu massa hampir sama ditarik oleh sebuah truk hingga memiliki percepatan 3 m/s^2 . Berapakah balok yang harus dibuang supaya percepatannya menjadi 5 m/s^2 ?
- A. 9 balok D. 4 balok
 B. 8 balok E. 1 balok
 C. 6 balok
11. Besar gaya gesekan yang bekerja pada benda yang bergerak pada bidang miring kasar, jika gaya gesekan dengan udara diabaikan, tidak tergantung pada
- A. berat benda
 B. sudut miring bidang terhadap bidang horizontal
 C. kekasaran permukaan bidang
 D. kecepatan gerak benda
 E. massa benda
12. Apabila sebuah benda bergerak dalam bidang datar yang kasar, maka selama gerakkannya
- A. gaya normal tetap, gaya gesekan berubah
 B. gaya normal berubah, gaya gesekan tetap
 C. gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya tetap
 D. gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya berubah
 E. gaya normal dan gaya gesekan kadang-kadang berubah dan tetap bergantian
- (UMPTN, 1989)
13. Benda dengan massa 10 kg berada di bidang mendatar ($\mu_s = 0,40$; $\mu_k = 0,35$) $g = 10 \text{ m/s}^2$. Bila benda diberi gaya horizontal yang tetap sebesar 25 N, besarnya gaya gesekan yang bekerja pada benda tersebut adalah
- A. 20 N D. 35 N
 B. 25 N E. 40 N
 C. 30 N
- 14.
- 
- Massa balok A dan B pada gambar di bawah adalah 10 kg dan 5 kg. Koefisien gesek antara balok A dengan bidang adalah 0,2. Untuk mencegah balok A bergerak, massa balok C minimum yang diperlukan adalah....
- A. 10 kg
 B. 15 kg
 C. 20 kg
 D. 25 kg
 E. 30 kg

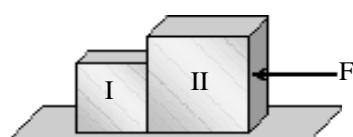
15. Balok P terikat pada dinding dan terletak di atas balok Q, masing-masing dengan massa Q 30 kg dan P 20 kg, koefisien gesekan kinetik antara permukaan yang bergerak adalah 0,3. Gaya F bekerja pada balok Q dan timbul gaya gesekan f_1 pada lantai dan antara balok Q dan P timbul gaya gesekan f_2 , maka perbandingan antara f_1 dan f_2 adalah

- A. 2 : 3
- B. 2 : 5
- C. 3 : 2
- D. 5 : 2
- E. 5 : 3

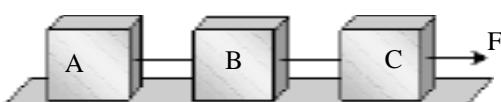


16. Balok I massanya 2 kg dan balok II massanya 4 kg terletak di atas lantai licin seperti pada gambar. Jika $F = 6$ N, maka gaya kontak antara kedua balok adalah

- A. 0 N
- B. 1 N
- C. 2 N
- D. 6 N
- E. 18 N



17. Balok-balok A, B dan C terletak di bidang mendatar yang licin. Jika massa A = 5 kg, massa B = 3 kg, massa C = 2 kg, dan $F = 20$ N, maka perbandingan besarnya tegangan tali antara A dan B dengan besarnya tegangan tali antara B dan C adalah



- A. 5 : 3
- B. 8 : 5
- C. 1 : 1
- D. 5 : 8
- E. 3 : 5

18. Sebuah lift bermassa 600 kg dipakai untuk menaikkan atau menurunkan beban yang bermassa 400 kg, lift dipercepat beraturan dari diam menjadi 2 m/s dalam 5 m. Jika $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan lift bergerak ke atas, maka gaya tegang tali penggantung lift adalah

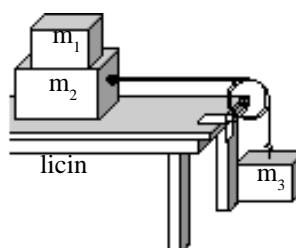
- A. 10200 N
- B. 94000 N
- C. 8400 N
- D. 7200 N
- E. 6400 N

19. Sebuah benda meluncur dengan kecepatan 4 ms^{-1} pada permukaan bidang datar kasar yang mempunyai koefisien gesekan kinetik 0,4. Bila massa benda 2 kg dan percepatan gravitasi 10 ms^{-2} , maka benda akan berhenti setelah menempuh jarak

- A. 1,0 m
- B. 1,5 m
- C. 2,0 m
- D. 2,5 m
- E. 3,0 m

(EBTANAS, 2002)

20



Massa m_1 dan m_2 pada gambar adalah 2 kg dan 6 kg. Gaya gesek maksimum antara m_1 dan m_2 adalah 4 N. Massa maksimum m_3 agar m_1 tidak bergeser pada m_2 adalah

- A. 1,5 kg
- B. 2 kg
- C. 4 kg
- D. 6 kg
- E. 8 kg

B A B

5

GERAK MELINGKAR



Sumber : SMA 1A - Yudistira

Pernahkah kalian naik roda putar atau roller coaster? Saat kalian naik atau melihatnya tentu berfikir pada saat roller coaster di posisi atas geraknya terbalik, mengapa tidak jatuh? Perhatikan gambar di atas. Gerak roller coaster itu memiliki lintasan melingkar. Contoh lain gerak yang lintasannya melingkar adalah gerak mobil pada belokan jalan. Besaran-besaran apa saja yang dimiliki gerak dengan lintasan melingkar? Mengapa bisa bergerak melingkar?

Pertanyaan-pertayanaan di atas dapat kalian jawab dengan mempelajari bab ini, sehingga setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan besaran-besaran pada gerak melingkar,
2. menjelaskan hubungan gerak lurus dan gerak melingkar,
3. menjelaskan gaya dan percepatan sentripetal,
4. menerapkan gaya dan percepatan sentripetal dalam kehidupan sehari-hari.

A. Besaran-besaran pada Gerak Melingkar

1. Definisi Besaran

Pernahkah kalian mengamati gerak roda. Misalnya sebuah sepeda diputar rodanya. Bagaimana lintasan gerak katup tempat pemompa ban? Jika kalian amati maka gerak katup itulah yang termasuk jenis gerak melingkar. Perhatikan contoh seperti pada *Gambar 5.1*. Pada benda yang bergerak melingkar atau berotasi akan memiliki besaran-besaran khusus yang berbeda dengan besaran pada gerak lurus. Besaran-besaran itu dapat kalian pahami pada penjelasan di bawah.

a. Periode dan frekuensi

Misalnya kalian bersama teman-teman kalian berlari mengelilingi lapangan sepak bola. Kemudian bapak gurunya menghitung waktu satu putaran. Waktu yang dihitung dalam satu kali putaran inilah yang dinamakan *periode*. Mungkin bapak gurunya menggunakan aturan lain yaitu memberi batasan waktu 45 menit dan menghitung dapat berputar berapa kali. Banyaknya putaran tiap satu satuan waktu ini dinamakan *frekuensi*.

Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan besaran periode dan frekuensi gerak melingkar sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T &= \frac{t}{N} \\ f &= \frac{N}{t} \end{aligned} \quad T = \frac{1}{f} \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

dengan :
 T = periode (s)
 f = frekuensi (Hz)
 N = banyaknya putaran
 t = waktu putaran (s)

CONTOH 5.1

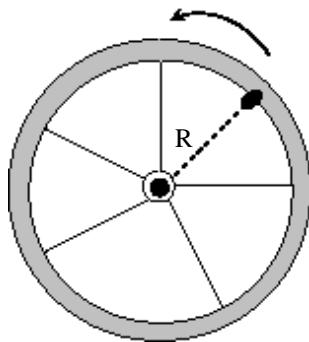
Pada saat roda sepeda diputar seperti pada *Gambar 5.1*, katup ban tersebut dapat berputar 60 kali dalam 15 s. Tentukan periode dan frekuensi gerak katup tersebut. Berapakah banyak putarannya setelah 20 s.

Penyelesaian

$$N = 60$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Periode gerak katup sebesar :



Gambar 5.1

Gerak katup ban memiliki lintasan melingkar.

$$T = \frac{t}{N} = \frac{15}{60} = \frac{1}{4} \text{ s}$$

Frekuensi gerak katup memenuhi :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\cancel{1/4}} = 4 \text{ Hz}$$

Banyaknya putaran setelah $t = 20$ s sebesar :

$$N = \frac{t}{T} = \frac{20}{\frac{1}{4}} = 80 \text{ putaran}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah bola kecil diikat tali sepanjang 50 cm kemudian diputar horisontal. Dalam pengukurannya diketahui bola kecil itu dalam 8 s dapat berputar 40 kali. Tentukan :

- a. frekuensi gerak bola,
 - b. periode gerak bola,
 - c. banyaknya putaran gerak bola selama 20 s !

b. Kecepatan sudut

Masih ingat besaran kecepatan pada gerak lurus? Secara lengkap besaran itu adalah kecepatan linier. Sesuai dengan gerak lurus itu pada gerak melingkar dikenal besaran yang dinamakan kecepatan sudut. *Kecepatan sudut* didefinisikan sebagai perubahan posisi sudut benda yang bergerak melingkar tiap satu satuan waktu. Kecepatan sudut disebut juga dengan kecepatan anguler dan disimbolkan ω . Dari definisi di atas dapat diperoleh perumusan berikut.

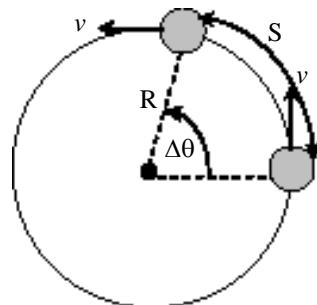
dengan : ω = kecepatan sudut (rad/s)

$\Delta\theta \equiv$ perubahan sudut (rad)

Δt = selang waktu (s)

Kecepatan sudut sering disebut juga frekuensi sudut. Nama ini diambil karena ω memiliki kaitan dengan f . Kaitan itu dapat ditentukan dengan melihat gerak satu lingkaran penuh. Perubahan posisi sudut pada gerak satu lingkaran penuh adalah $\Delta\theta = 2\pi$ dan waktunya satu periode T sehingga kecepatan sudutnya memenuhi persamaan berikut.

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



Gambar 5.2
Partikel bergerak melingkar

Penting

Kecepatan sudut dapat juga memiliki satuan putaran/ sekon dan Rpm.

rpm = rotasi per menit

2π

$$1 \text{ rpm} = \frac{60}{\text{min}} \text{ rad/s}$$

1 putar/sekon = 2π rad/s

CONTOH 5.2

Sebuah benda yang bergerak pada lintasan melingkar memiliki jari-jari 0,5 m. Partikel itu mampu menempuh sudut 60π rad dalam 15 sekon. Tentukan:

- kecepatan sudut benda,
- waktu yang dibutuhkan benda untuk berputar satu kali,
- frekuensi gerak benda!

Penyelesaian

$$\Delta\theta = 60\pi \text{ rad}$$

$$\Delta t = 15 \text{ s}$$

- Kecepatan sudutnya memenuhi:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \\ &= \frac{60\pi}{15} = 4\pi \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- Waktu satu kali putaran adalah periode yaitu memenuhi:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{T} \\ T &= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{4\pi} = \frac{1}{2} \text{ s}\end{aligned}$$

- frekuensinya sebesar :

$$f = \frac{1}{T} = 2 \text{ Hz}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Roda sepeda memiliki jari-jari 30 cm diputar dengan kecepatan tetap. Pentil (kutub) ban tersebut dapat berputar menempuh sudut 120π rad dalam 10 detik. Tentukan :

- kecepatan angulernya,
- frekuensi geraknya,
- waktu satu kali putaran pentil!

c. Percepatan sudut

Kecepatan sudut suatu benda yang bergerak melingkar tidak selalu tetap. Misalnya gerak gerinda yang berputar kemudian mesinnya dimatikan maka geraknya itu akan mengalami penurunan kecepatan sudutnya hingga berhenti. Perubahan kecepatan sudut tiap satu satuan waktu inilah yang dinamakan *percepatan sudut*. Dari definisi ini dapat diturunkan rumus percepatan sudut seperti berikut.

$$\alpha \equiv \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (5.4)$$

dengan : α = percepatan sudut (rad/s^2)

$\Delta\omega$ = perubahan kecepatan sudut (rad/s)

Δt = selang waktu (s)

Sesuai dengan kecepatannya, percepatan sudut juga dapat disebut sebagai percepatan anguler.

CONTOH 5.3

Partikel yang berputar pada lintasan melingkar berubah kecepatan sudutnya dari 120 rpm menjadi 180 rpm dalam 40 sekon. Berapakah percepatan sudut gerak partikel itu?

Penyelesaian

$$\omega_0 = 120 \text{ rpm} = 120 \cdot \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} = 4\pi \text{ rad/s}$$

$$\omega = 180 \text{ rpm} = 180 \cdot \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} = 6\pi \text{ rad/s}$$

$\Delta t = 40$ s

Percepatan sudutnya:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

$$= \frac{6\pi - 4\pi}{40} = 0,05 \pi \text{ rad/s}^2$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Batu diikat tali sepanjang 60 cm dan diputar dari ujung tali yang lain. Pada perputaran itu terjadi percepatan anguler sebesar 2 rad/s^2 . Jika mula-mula kecepatan angulernya 30 rpm maka berapakah kecepatan angulernya setelah berputar 20 s?

2. Hubungan Besaran Sudut dan Besaran Linier

Pada bagian awal bab ini kalian telah belajar tentang besaran-besaran sudut dan pada bab-bab sebelumnya kalian juga telah belajar besaran-besaran pada gerak lurus atau disebut besaran linier. Adakah hubungan antara besaran sudut dan besaran linier yang bersesuaian? Contohnya kecepatan (linier) dengan kecepatan sudut. Karena kalian telah mempelajarinya, tentu kalian dapat menjawabnya. Kedua besaran tersebut ternyata memiliki hubungan secara matematis. Hubungan-hubungan itu dapat kalian cermati pada penjelasan berikut.

Perhatikan sebuah partikel yang bergerak pada lintasan melingkar dengan jari-jari R seperti pada Gambar 5.3. Partikel bergerak dari titik A hingga titik B menempuh jarak S dan perubahan posisi sudutnya θ . Secara matematis kedua besaran itu memenuhi hubungan $S = \theta R$. Dari hubungan ini dapat ditentukan hubungan kecepatan linier dan kecepatan sudut sebagai berikut.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \cdot R = \omega R$$

Dan hubungan percepatan linier (percepatan tangensial) dan percepatan sudut sebagai berikut.

$$a_\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \cdot R = \alpha R$$

Dari penjelasan di atas maka pada setiap benda yang bergerak melingkar akan memiliki besaran linier dan besaran sudut dengan hubungan memenuhi persamaan berikut.

$S = \theta R$	(5.5)
$v = \omega R$		
$a_\theta = \alpha R$		

Dengan S = jarak tempuh benda (m), θ = perubahan sudut (rad), v = kecepatan linier (m/s), ω = kecepatan sudut (rad/s), a_θ = percepatan tangensial (m/s^2), α = percepatan sudut (rad/s^2) dan R = jari-jari lintasannya (m). Cermati contoh berikut untuk lebih memahaminya.

CONTOH 5.4

Sebuah balok kecil berada di tepi meja putar yang berjari-jari 0,4 m. Mula-mula meja berputar dengan kecepatan sudut 20 rad/s. Karena mengalami percepatan maka kecepatan sudutnya dapat berubah dan menjadi 50 rad/s setelah bergerak 15 s. Tentukan:

- kecepatan linier awal balok kecil,
- percepatan sudut balok kecil,
- percepatan tangensial balok kecil!

Penyelesaian

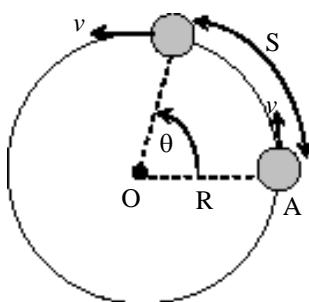
$R = 0,4$ m, $\omega_0 = 20$ rad/s, $\omega = 50$ rad/s dan $t = 15$ s

- Kecepatan linier awal balok memenuhi:

$$\begin{aligned} v_0 &= \omega_0 R \\ &= 20 \cdot 0,4 = 8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Percepatan sudut balok sebesar:

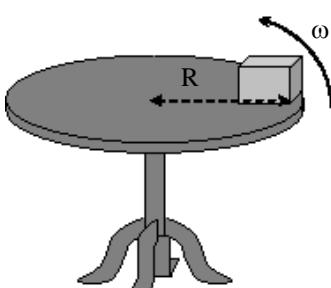
$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} = \frac{50 - 20}{15} = 2 \text{ rad/s}^2$$



Gambar 5.3

Penting

Percepatan linier a yang memiliki hubungan dengan percepatan sudut α adalah percepatan linier yang arahnya menyenggung lintasan benda. Percepatan itu juga diberi nama percepatan tangensial a_θ .



Gambar 5.4

- c. Percepatan tangensial memenuhi:

$$\begin{aligned} a_\theta &= \alpha R \\ &= 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

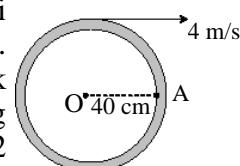
Jika balok kecil pada Gambar 5.4 itu mengalami percepatan tangensial $0,2 \text{ m/s}^2$, $R = 50 \text{ cm}$ dan kecepatan awalnya 4 m/s maka tentukan:

- percepatan sudut balok,
- kecepatan sudut balok setelah bergerak 4 s ,
- kecepatan linier balok pada $t = 4 \text{ s}$!



ATIHAN 5.1

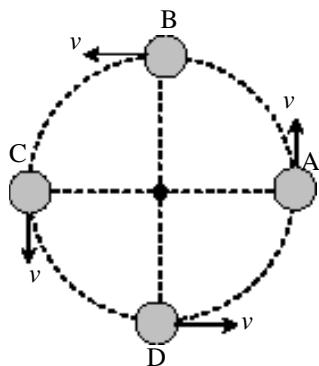
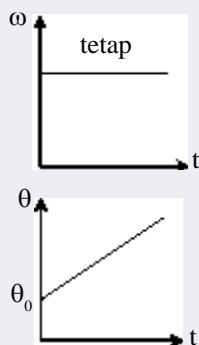
- Sebuah benda yang diikat dengan benang 20 cm dan diputar, terhitung memiliki frekuensi 20 Hz .
 - Apakah arti dari frekuensi 20 Hz itu?
 - Berapakah banyaknya putaran yang dialami benda dalam selang waktu 5 s ?
 - Berapakah waktu yang diperlukan untuk berputar satu kali?
- Sebuah benda mula-mula memiliki sudut awal $\pi \text{ rad}$ terhadap sumbu X dan jari-jari 30 cm . Kemudian benda berputar dengan kecepatan sudut tetap sehingga dalam waktu 3 s posisi sudutnya berubah menjadi $1,6\pi \text{ rad}$. Berapakah kecepatan sudut benda tersebut?
- Titik A berada di pinggir sebuah roda. Jika roda ditarik dengan tali yang berkecepatan 2 m/s seperti gambar di samping maka berapakah kecepatan sudut roda tersebut? Berapa pula kecepatan titik A?
- Sebuah silinder berjari-jari 20 cm berotasi dengan kecepatan 120 rpm . Titik P berada di pinggir silinder dan titik Q berada di tengah-tengah antara P dan pusat silinder. Tentukan:
 - kecepatan sudut gerak titik P dan titik Q,
 - kecepatan linier gerak titik P dan titik Q,
 - jarak yang ditempuh titik P setelah bergerak selama 5 sekon !
- Pada saat tongkat diputar dari salah satu ujungnya ternyata kecepatan anguler tongkat dapat berubah dari $30\pi \text{ rad/s}$ menjadi $45\pi \text{ rad/s}$ dalam selang waktu 30 detik .
 - Berapakah percepatan sudut tongkat tersebut?
 - Tentukan percepatan tangensial titik di ujung tongkat jika panjangnya 40 cm !
- Kecepatan linier merupakan besaran vektor berarti memiliki nilai dan arah. Bagaimana pengaruh percepatan linier (tangensial) pada gerak melingkar benda terhadap besar dan arah kecepatannya?
- Coba kalian jelaskan apa pengaruh dari percepatan sudut nol pada besaran-besaran berikut.
 - kecepatan sudut,
 - kecepatan linier,
 - percepatan linier,
 - frekuensi dan periode!



B. Gerak Melingkar Beraturan

Penting

Dari sifat-sifat gerak GMB dapat dibuatkan grafik seperti berikut.



Gambar 5.5

1. Sifat Gerak Melingkar Beraturan

Masih ingatkah kalian dengan gerak lurus beraturan (GLB)? Syarat-syarat gerak GLB inilah yang dapat kalian gunakan sebagai acuan memahami gerak melingkar beraturan (GMB). Sifat pertama dari gerak GMB adalah bentuk lintasannya yang melingkar. Kedua dapat dilihat kecepatannya. Disebut beraturan karena kecepatan sudutnya yang teratur atau tetap. Berarti percepatan sudutnya nol ($\alpha = 0$).

Dari penjelasan di atas dapat dituliskan sifat-sifat gerak melingkar beraturan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{GMB : } \alpha &= 0 \\ \omega &= \text{tetap} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

Dari nilai ω yang tetap dapat diturunkan posisi sudut tiap saat dengan menggunakan definisi kecepatan sudut seperti berikut.

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \\ \omega &= \frac{\theta - \theta_0}{t - 0} \\ \theta &= \theta_0 + \omega t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

dengan : θ = posisi sudut (rad)

θ_0 = posisi sudut awal (rad)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

t = waktu (s)

Benda yang bergerak GMB juga memiliki kecepatan linier. Bagaimana sifat kecepatan linier v itu? Untuk memahami sifat v ini kalian dapat perhatikan *Gambar 5.5*. Pada gambar itu ditunjukkan adanya benda yang bergerak melingkar dengan beberapa posisinya. Pada setiap posisi arah kecepatan selalu berubah. Sedangkan besarnya tetap karena ω tetap. Ingat $v = \omega R$. Berarti kecepatan benda yang bergerak melingkar selalu berubah dan untuk gerak GMB besar kecepatannya (lajunya) tetap.

CONTOH 5.5

Sebuah roda berputar dengan kecepatan sudut tetap 120 rpm. Jari-jari roda 50 cm. Tentukan:

- sudut yang ditempuh roda dalam waktu 5 sekon,
- panjang lintasan yang dilalui benda yang berada di tepi roda dalam waktu 5 detik,
- kecepatan linier benda yang berada di tepi roda!

Penyelesaian

$$\omega = 120 \text{ rpm} = 120 \cdot \frac{2\pi}{60} = 4\pi \text{ rad/s}$$

$$R = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

- a. Sudut yang ditempuh θ :

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

$$= 0 + 4\pi \cdot 5 = 20\pi \text{ rad}$$

- b. Panjang lintasan S:

$$S = \theta \cdot R$$

$$= 20\pi \cdot 0,5 = 10\pi \text{ m}$$

- c. Kecepatan linier benda memenuhi:

$$v = \omega R$$

$$= 4\pi \cdot 0,5 = 2\pi \text{ m/s}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda yang bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap 15 rad/s mampu menempuh jarak 36 m dalam waktu 4 s. Tentukan:

- jari-jari lintasan,
- kecepatan linier benda!

2. Hubungan Roda-roda

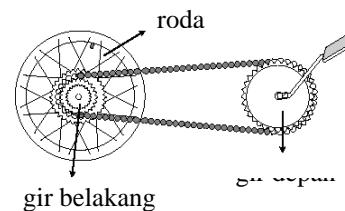
Pernahkah kalian memperhatikan sistem gerak dari roda sepeda dan kemudian berfikir untuk menganalisanya? Perhatikan pada Gambar 5.6. Pada gambar tersebut terlihat ada tiga benda bundar, roda, gir depan dan gir belakang. Ketiga benda bundar tersebut saling berhubungan membentuk sistem dan dinamakan *hubungan roda-roda*.

Bagaimanakah hubungan roda-roda yang ada pada Gambar 5.6 itu? Tentu kalian dapat menjawabnya, bahwa pada sistem itu ada dua hubungan yang berbeda. Gir belakang dan roda memiliki pusat yang sama dan berputar dengan kecepatan sudut yang sama (ω sama) hubungan seperti ini disebut *roda sepusat*. Hubungan kedua adalah gir belakang dan gir depan. Kedua gir itu terhalang dengan tali (rantai) sehingga berputar bersama dengan kecepatan linier titik yang bersinggungan sama (v sama). Hubungan seperti ini disebut *roda bersinggungan*.

Dari penjelasan di atas dapat dipertegas bahwa pada dasarnya hubungan roda-roda ada dua jenis dan memenuhi hubungan berikut.

Roda sepusat : ω sama

Roda bersinggungan : v sama(5.8)

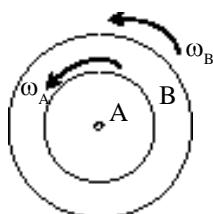


Gambar 5.6
Sistem hubungan roda-roda

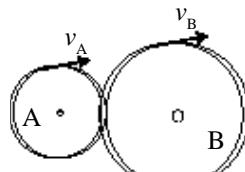
dengan : ω = kecepatan sudut (rad/s)

v = kecepatan linier titik-titik singgung (m/s)

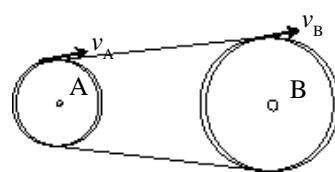
Hubungan roda-roda di atas dapat juga dilihat pada Gambar 5.7 seperti di bawah.



(a) $\omega_A = \omega_B$



(b) $v_A = v_B$



(c) $v_A = v_B$

Untuk memahami hubungan roda-roda ini coba kalian cermati contoh soal berikut.

CONTOH 5.6

Tiga silinder terhubung satu sama lain seperti pada Gambar 5.8. Diketahui jari-jari dari masing-masing silinder sebesar $r_A = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$, $r_B = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ dan $r_C = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$. Kemudian silinder C dihubungkan pada mesin penggerak sehingga dapat berputar dengan kecepatan sudut tetap 5 rad/s . Jika semua silinder dapat berputar tanpa slip maka tentukan:

- kecepatan linier titik-titik di pinggir silinder B,
- kecepatan sudut putaran silinder A!

Penyelesaian

$$r_A = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$r_B = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$r_C = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\omega_C = 5 \text{ rad/s}$$

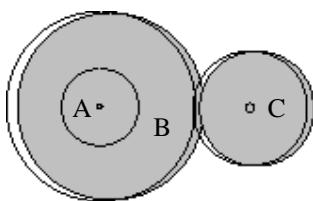
- Silinder B bersinggungan dengan silinder C berarti kecepatan linier titik-titik yang bersinggungan sama:

$$\begin{aligned} v_B &= v_C \\ &= \omega_C r_C = 5 \cdot 0,3 = 1,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Silinder A sepusat dengan silinder B berarti kecepatan sudutnya memenuhi:

$$\omega_A = \omega_B$$

$$= \frac{v_B}{r_B} = \frac{1,5}{0,5} = 3 \text{ rad/s}$$



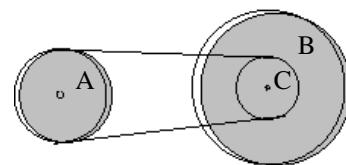
Gambar 5.8

Hubungan roda-roda tiga buah silinder.

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perhatikan sistem roda yang terlihat pada Gambar 5.9. $r_A = 15 \text{ cm}$, $r_B = 30 \text{ cm}$ dan $r_C = 5 \text{ cm}$. Jika untuk memutar titik-titik di tepi roda B sebesar 15 m/s maka diperlukan gerak roda A. Tentukan:

- kecepatan linier titik-titik di tepi roda C,
- kecepatan sudut yang harus diberikan pada roda A!

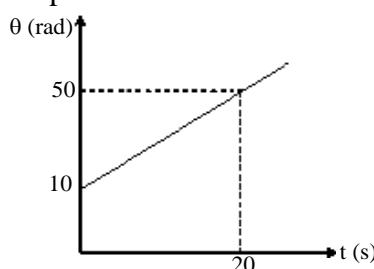


Gambar 5.9



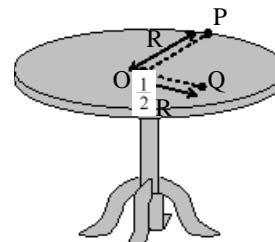
ATIHAN 5.2

- Coba kalian tentukan pernyataan berikut benar atau salah jika terjadi pada benda yang bergerak melingkar beraturan.
 - kecepatan sudut benda berubah beraturan,
 - lajunya berubah,
 - percepatan benda nol,
 - posisi sudutnya berubah beraturan,
 - kecepatan linier benda tetap,
 - percepatan anguler benda tetap!
- Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan memiliki posisi sudut yang berubah tiap saat sesuai grafik θ -t di bawah. Tentukan kecepatan sudut benda awal dan pada $t = 5 \text{ s}$ serta $t = 20 \text{ s}$!

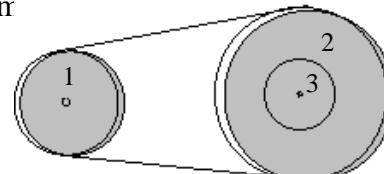


- Sebuah partikel mula-mula membentuk sudut $\frac{1}{6}\pi$ rad dari sumbu X. Kemudian partikel itu berputar dengan kecepatan sudut tetap $0,25 \text{ rad/s}$ dan jari-jari 2 m .
 - Berapakah posisi sudutnya setelah bergerak 2 sek ?
 - Berapakah kecepatan linier partikel?

- Titik P dan titik Q berada di atas meja putar seperti gambar. Jari-jari meja 60 cm . Jika meja diputar dengan kecepatan sudut tetap 60 rpm maka tentukan:
 - kecepatan linier titik P,
 - kecepatan linier titik Q,
 - perbandingan kecepatan linier titik P dan titik Q!



- Pada gambar di bawah terlihat ada tiga roda yang saling berhubungan. Jari-jari tiap roda sebesar $r_1 = 20 \text{ cm}$, $r_2 = 60 \text{ cm}$ dan $r_3 = 10 \text{ cm}$. Roda 3 dihubungkan ke mesin yang memiliki kecepatan linier titik-titik tepi roda 4 n



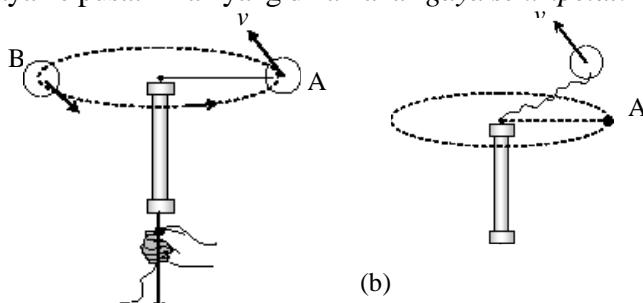
Tentukan.

- kecepatan sudut roda 2,
- kecepatan linier titik-titik di tepi roda 2,
- kecepatan sudut roda 1!

C. Gaya dan Percepatan Sentripetal

1. Definisi

Kalian pasti sering melihat gerak benda dengan lintasan melingkar. Bahkan kalian dapat membuat contoh gerak tersebut. Misalnya sebuah beban kecil diikat tali kemudian diputar seperti pada *Gambar 5.10*. Mengapa beban itu dapat bergerak melingkar? Ternyata jawabnya tidak hanya karena diputar tetapi ada pengaruh suatu besaran yaitu gaya ke pusat. Gaya ke pusat inilah yang dinamakan *gaya sentripetal*.

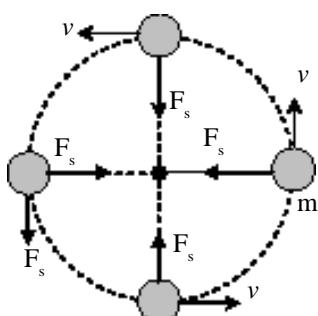


Gambar 5.10

(a) Tali dipegang (diberi gaya) dan (b) tali dilepas.

Adanya gaya sentripetal pada gerak melingkar dapat dibuktikan dari tegangan talinya. Jika tali dipegang berarti ada gaya tegangan tali dan beban dapat berputar seperti pada *Gambar 5.10(a)*. Tetapi saat tali dilepas, berarti tidak ada gaya maka beban akan lepas dari lintasan melingkarannya, seperti pada *Gambar 5.10(b)*. Coba buktikan kejadian itu sehingga kalian lebih memahaminya.

Gaya sentripetal merupakan besaran vektor berarti memiliki nilai dan arah. Arah gaya sentripetal selalu menuju pusat dan selalu tegak lurus dengan kecepatan benda, lihat *Gambar 5.11*. Sedangkan besarnya gaya sentripetal dipengaruhi oleh massa, kecepatan dan jari-jari lintasannya. Hubungan gaya sentripetal dan besaran-besaran itu dapat dibuktikan melalui percobaan. Dari hasil percobaan dapat diperoleh bahwa besar gaya sentripetal (F_s) akan sebanding dengan massa benda (m), kuadrat kecepatan sudutnya (ω^2) dan jari-jari lintasan (R). Hubungan ini dapat dituliskan sebagai berikut.



Gambar 5.11

$$F_s \sim m$$

$$F_s \sim \omega^2$$

$$F_s \sim R$$

$$F_s = m \omega^2 R \quad \dots \dots \dots (5.9)$$

Kecepatan benda yang bergerak melingkar memiliki hubungan $v = \omega R$, maka gaya sentripetal juga memenuhi persamaan berikut.

$$F_s = m \frac{v^2}{R}$$

$$\dots \dots \dots (5.10)$$

Kegiatan 5.1

GAYA SENTRIPETAL

Tujuan : Menentukan hubungan gaya sentripetal dengan kecepatan sudut.

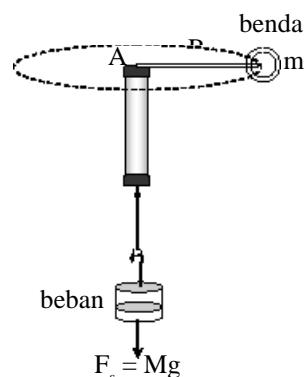
Alat dan Bahan : Benang, beban, benda, stopwatch, penggaris dan pipa (alat sentripetal).

Kegiatan :

1. Sambungkan alat-alat seperti *Gambar 5.12*. Pilihlah massa M (benda) yang sesuai!
2. Ukurlah jari-jari R dan beri tanda pada titik B sebagai batas geraknya!
3. Putarlah beban m dengan memutar alat sentripetal dan aturlah kecepatan putar benda hingga titik B tetap pada posisinya! Kemudian catat waktu untuk 10 kali putaran.
4. Ulangi langkah (1) s.d (3) dengan mengubah-ubah M (mengubah F_s) dengan m dan R tetap!

Tugas :

1. Catat data pada tabel dan tentukan besaran-besaran $F_s = mg$ dan $\omega = \frac{10}{t}$!
2. Buatlah grafik hubungan F_s dengan ω^2 !
3. Buatlah simpulan hubungan F_s dan ω^2 dari kurva yang diperoleh!
4. Rancang dan lakukan kegiatan lain, hubungannya dengan F_s dengan R dan m!



Gambar 5.12

Rangkaian gaya sentripetal

CONTOH 5.7

Sebuah batu diikat dengan tali sepanjang 50 cm. Kemudian batu itu diputar sehingga bergerak melingkar horisontal. Tegangan talinya sebesar 10 N saat kecepatan benda 12 putaran per sekon. Berapakah kecepatan benda itu jika tegangan talinya mencapai 14,4 N?

Penyelesaian

$$R = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$F_{s1} = 10 \text{ N} \rightarrow \omega_1 = 12 \text{ put/s}$$

$$F_{s2} = 14,4 \text{ N} \rightarrow \omega_2 = \dots ?$$

Gaya sentripetal pada benda memenuhi:

$$F_s = m \omega^2 R$$

Untuk m dan R tetap maka berlaku:

Untuk m dan R tetap maka berlaku:

$$F_s \sim \omega^2 \text{ berarti } \omega \sim \sqrt{F}$$

Sehingga dapat diperoleh:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{\frac{F_{s2}}{F_{s1}}}$$

$$\frac{\omega_2}{12} = \sqrt{\frac{14,4}{10}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{1,44} \cdot 12 = 1,2 \cdot 12 = 14,4 \text{ putar/s}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda yang bergerak melingkar dengan jari-jari 0,5 m memerlukan gaya sentripetal 15 N. Jika jari-jari benda ingin diubah menjadi 1 m tetapi kecepatan sudutnya diatur tetap maka berapakah gaya sentripetal yang dibutuhkan?

Percepatan sentripetal

Sesuai hukum II Newton, gaya yang bekerja pada benda yang bergerak sebanding dengan percepatannya. Hubungan ini juga berlaku pada gerak melingkar. Gaya sentripetal F_s yang bekerja pada gerak benda yang melingkar akan menimbulkan percepatan yang diberi nama *percepatan sentripetal*. Besar percepatan sentripetal ini memenuhi hubungan berikut.

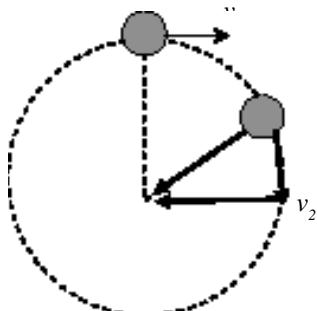
$$F_s = m a_s \quad a_s = \omega^2 R = \frac{v^2}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (5.11)$$

Sesuai dengan arah gaya sentripetal, maka percepatan sentripetal juga memiliki arah yang selalu menuju pusat lintasan. Bukti arah percepatan sentripetal ini dapat diperhatikan pada *Gambar 5.13*.

Dengan memahami percepatan sentripetal ini berarti kalian telah mengenal dua percepatan linier pada gerak melingkar yaitu *percepatan tangensial* yang dapat mengubah besar kecepatan linier benda dan *percepatan sentripetal* yang dapat mengubah arah kecepatan linier benda.

CONTOH 5.8

Beban bermassa 200 gr diikat pada ujung tali. Kemudian ujung tali lain diputar sehingga beban bergerak melingkar horizontal seperti *Gambar 5.14* panjang tali 50 cm. Jika beban dapat berputar dengan kecepatan 60 rpm maka tentukan:



Gambar 5.13

Perubahan kecepatan Δv selalu kepusat berarti a_s juga kepusat,

$$a_s = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

- percepatan sentripetal,
- tegangan tali T!

Penyelesaian

$$m = 200 \text{ gr} = 0,2 \text{ kg}$$

$$R = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\omega = 60 \text{ rpm} = 60 \cdot \frac{2\pi}{60} = 2\pi \text{ rad/s}$$

gunakan $\pi^2 = 10$

- Percepatan sentripetal beban memenuhi :

$$a_s = \omega^2 R$$

$$= (2\pi)^2 \cdot 0,5 = 2\pi^2 = 20 \text{ m/s}^2$$

- Tegangan tali yang dirasakan bekerja sebagai gaya sentripetal berarti sebesar:

$$T = F_s$$

$$= m a_s = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ N}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah mobil bermassa 500 kg melintasi jalan bundar yang berjari-jari 20 m. Mobil tersebut dapat melintas dengan kecepatan 72 km/jam dalam keadaan aman. Tentukan:

- percepatan sentripetal yang dialami mobil,
- gaya sentripetal yang bekerja pada mobil!



Gambar 5.14

2. Penerapan Gaya Sentripetal

Pada kehidupan sehari-hari kalian akan banyak mengalami keadaan yang berkaitan dengan gerak melingkar. Pada contoh tertentu kalian mungkin tidak memikirkannya tetapi pada kejadian tertentu justru kalian memikirkannya. Contohnya pada belokan jalan mungkin kalian tidak memikirkannya tetapi pada gerak roller coaster saat di titik teratas (terbalik) kalian tentu berfikir mengapa tidak jatuh? Semua kejadian gerak melingkar di alam selalu terkait dengan gaya sentripetal. Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang bergerak melingkar itu berfungsi sebagai gaya sentripetal. Dari hubungan ini dapat dituliskan persamaan umum seperti berikut.

$$F_s = SF \text{ (ke pusat)} \quad \dots \dots \dots \quad (5.12)$$

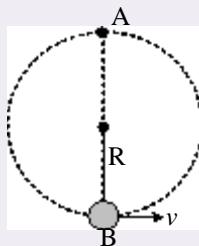
Gerak melingkar benda-benda di alam ini dapat dibagi menjadi dua kelompok. *Kelompok pertama : gerak melingkar horizontal* yaitu gerak melingkar yang lintasannya pada bidang horizontal. Contohnya belokan jalan, ayunan

Penting

Mengapa bulan dapat menge-lilingi bumi dengan lintasan hampir melingkar? Jawabnya tentu kalian sudah mengetahuinya. Bulan selalu bergerak dan bulan mendapatkan gaya sentripetal yang berasal dari gaya gravitasi bumi.

Aktiflah

Sebuah batu diikat tali sepanjang ℓ kemudian diputar sehingga bergerak melingkar vertikal.

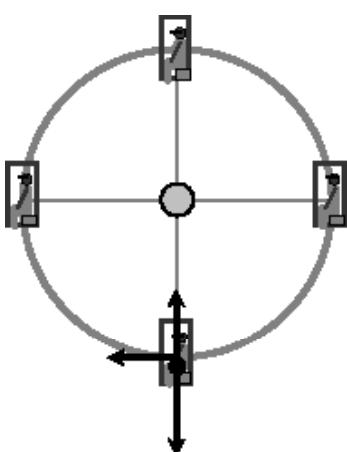


- Jika batu bermassa m berputar dengan kecepatan v tentukan tegangan tali di titik puncak (A) dan di titik bawah (B) dalam w dan v .
- Buktikan bahwa kecepatan minimum di titik A dan B memenuhi:

$$v_A = \sqrt{gR}$$

$$v_B = \sqrt{5gR}$$

- Coba jelaskan perbedaan kecepatan minimum dan maksimum.



Gambar 5.15
Permainan roda putar

konis, pesawat yang membekok atau memutar dan gerak bulan mengelilingi bumi. *Kelompok kedua : gerak melingkar vertikal* yaitu gerak melingkar dengan lintasan vertikal terhadap pusat bumi. Contohnya adalah gerak benda diputar vertikal, roller coaster dan jembatan melengkung.

Untuk memahami kedua kelompok gerak melingkar di atas dapat kalian cermati contoh soal berikut.

Gerak melingkar vertikal

Untuk memahami gerak melingkar vertikal ini dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 5.9

Seorang anak bermassa 30 kg naik roda putar dan duduk di kursinya. Roda putar itu memiliki jari-jari 3,6 m.

- Berapakah gaya normal anak itu pada saat di titik terendah dan kursi roda putar bergerak dengan kecepatan 3 m/s?
- Berapakah kecepatan maksimum kursi roda putar agar anak-anak yang sedang duduk dalam keadaan aman?

Penyelesaian

$$m = 30 \text{ kg} \rightarrow w = 300 \text{ N}$$

$$R = 3,6 \text{ m}$$

$$a. v_B = 5 \text{ m/s}$$

Pada titik terendah B, anak itu dipengaruhi dua gaya seperti pada *Gambar 5.15*. Karena bergerak melingkar maka berlaku:

$$\Sigma F = F_s$$

$$N - w = m \frac{v^2_B}{R}$$

$$N - 300 = 30 \cdot \frac{3^2}{3,6}$$

$$N = 375 \text{ N}$$

- Kecepatan maksimum yang diperbolehkan harus dilihat pada titik teratas (titik A) karena yang paling mudah lepas. Keadaan ini terjadi saat $N=0$ sehingga berlaku:

$$F_s = \Sigma F$$

$$F_s = w$$

$$m \frac{v^2}{R} = m g$$

$$v = \sqrt{gR}$$

$$= \sqrt{10 \cdot 3,6} = 6 \text{ m/s}$$

Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Agar menjadi lebih kuat sebuah jembatan dibangun melengkung ke atas (titik pusat di bawah jembatan) dengan jari-jari 90 m. Sebuah mobil bermassa 500 kg melintas di atas jembatan dengan kecepatan 72 km/jam.

- Berapakah gaya normal yang dirasakan mobil saat tepat melintas di puncak jembatan?
- Berapakah kecepatan maksimum yang diperbolehkan saat melewati jembatan?

Gerak melingkar horisontal

Perhatikan contoh analisa gerak melingkar horisontal. Kemudian carilah persamaan dan perbedaan yang ada dibanding gerak melingkar vertikal.

CONTOH 5.10

Sebuah mobil bermassa 400 kg sedang melintasi belokan jalan yang melingkar dengan jari-jari 30 m. Jalan tersebut dirancang dengan kemiringan 37° . Berapakah kecepatan maksimum yang diperbolehkan pada mobil itu?

Penyelesaian

$$m = 400 \text{ kg} \rightarrow w = 4000 \text{ N}$$

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

$$\alpha = 37^\circ$$

Pada mobil yang bergerak melingkar harus memiliki gaya sentripetal sehingga dapat melintas dengan aman. Gaya-gaya pada mobil itu dapat dilihat pada Gambar 5.16.

Mobil tidak bergerak vertikal berarti berlaku hukum I Newton pada arah vertikal sehingga diperoleh nilai N:

$$\Sigma F = 0$$

$$N \cos 37^\circ - w = 0$$

$$N \cdot 0,8 - 4000 = 0$$

$$N = \frac{4000}{0,8} = 5000 \text{ N}$$

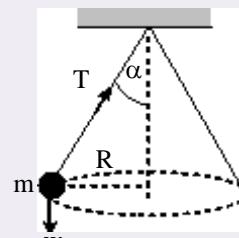
Sedangkan pada arah horisontal terdapat proyeksi $N \sin 37^\circ$. Gaya inilah yang bertindak sebagai gaya sentripetal sehingga berlaku:

$$F_s = N \sin 37^\circ$$

$$m \frac{v^2}{R} = N \sin 37^\circ$$

Aktiflah

Ayunan konis juga dapat dianalisa seperti gerak mobil pada belokan jalan.

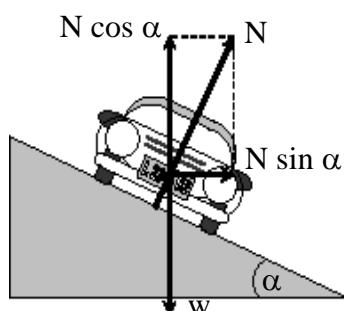


- Analisislah gerak ayunan konis ini dengan T seperti gaya normal dan buktikan bahwa:

$$a_s = g \tan \alpha \quad \text{dan}$$

$$v = \sqrt{g R \tan \alpha}$$

- Buktikan pula bahwa persamaan ini juga berlaku untuk mobil pada belokan jalan miring.



Gambar 5.16

Mobil melintasi belakang jalan yang miring

$$\begin{aligned} 400 \cdot \frac{v^2}{R} &= 5000 \cdot 0,6 \\ &= 225 \\ v &= \sqrt{225} = 15 \text{ m/s} \end{aligned}$$

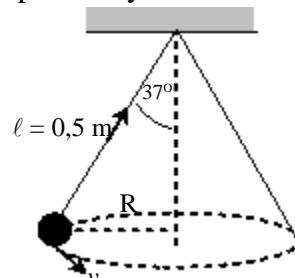
Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah pesawat terbang ingin memutar haluannya sehingga pesawat yang massa totalnya 2 ton itu dimiringkan dengan sudut 45° . Jika pada saat itu kecepatan pesawat 108 km/jam maka tentukan jari-jari lintasan pesawat tersebut!



ATIHAN 5.3

1. Dengan menggunakan alat sentripetal benda yang massanya m diputar melingkar beraturan dengan laju anguler ω . Apabila panjang tali alat sentripetal diperkecil menjadi $\frac{1}{4}$ kali, maka dengan beban yang tetap, berapakah kelajuan angulernya sekarang?
2. Benda bermassa 20 gr diikat tali sepanjang 60 cm. Benda tersebut diputar dengan kecepatan 2 m/s pada arah horisontal. Tentukan:
 - a. percepatan sentripetal yang dialami benda,
 - b. tegangan tali!
3. Mobil bermassa 500 kg bergerak melingkar melintasi belokan jalan (melingkar) yang berjari-jari 30 m. Jika kelajuan mobilnya 72 km/jam maka tentukan percepatan sentripetal dan gaya sentripetal yang dialami mobil tersebut!
4. Sebuah pesawat yang bergerak dengan kecepatan konstan memiringkan sayapnya dengan sudut θ untuk bergerak melingkar pada bidang horisontal. Anggap massa pesawat dengan seluruh isinya 2 ton. Jika kecepatan pesawat 180 km/jam. Tentukan besar $\tan \theta$ agar diperoleh gerak melingkar dengan radius 1 km!
5. Sebuah benda digantungkan pada seutas tali kemudian diputar mendatar seperti tampak pada gambar. Jika panjang tali 0,5 meter dan $\alpha = 37^\circ$, maka berapakah kecepatan putarannya?



6. Sebuah benda dengan massa 10 kg diikat dengan tali dan diputar sehingga lintasan benda berbentuk lingkaran vertikal dengan jejeri 1 meter. Gaya tegangan maksimum yang dapat ditahan tali 350 N, $g = 10 \text{ m/s}^2$. Hitunglah kecepatan benda maksimum!
7. Sebuah jembatan melengkung dengan jari-jari kelengkungan R . Titik pusat kelengkungannya ada di bawah jembatan itu. Tentukan gaya yang diakibatkan pada jembatan itu oleh sebuah mobil yang beratnya w dan bergerak dengan kecepatan v sewaktu berada di puncak jembatan itu! Gunakan g sebagai percepatan gravitasi!

Rangkuman Bab 5

1. Besaran-besaran pada gerak melingkar:
 - a. *Periode* adalah waktu yang dibutuhkan untuk bergerak satu kali putaran.
 - b. *Frekuensi* adalah banyaknya putaran yang terjadi tiap detik.

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

- c. kecepatan sudut : $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ (rad/s)
- d. percepatan sudut : $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ (rad/s²)
2. Hubungan besaran-besaran linier dengan besaran-besaran sudut.

$$S = \theta R, v = \omega R \text{ dan } a_\theta = \alpha R$$

3. Bentuk melingkar besaran (GMB)
 - a. Roda gerak GMB berlaku:
$$\alpha = 0 \rightarrow \omega = \text{tetap}$$

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$
 - b. Hubungan roda roda
 - ♦ Roda sepusat : ω sama
 - ♦ Roda-roda bersinggungan : v sama
4. Gaya sentripetal memenuhi:

- a. Hubungannya:

$$\begin{aligned} F_s &\sim m \\ F_s &\sim \omega^2 \\ F_s &\sim R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= m \omega^2 R \\ F_s &= m \frac{v^2}{R} \end{aligned}$$

- b. Sesuai hukum II Newton.

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

- c. Roda sistem benda:

$$\vec{F}_s = \Sigma \vec{F}$$

Evaluasi Bab 5

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Sebuah benda bergerak melingkar dengan kecepatan anguler awal 60 rad/s. Kemudian kecepatan angulernya berubah menjadi 110 rad/s dalam waktu 2,5 s. Percepatan anguler yang dialami benda sebesar

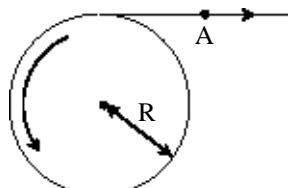
- A. 50 rad/s^2 D. $2,5 \text{ rad/s}^2$
 B. 25 rad/s^2 E. 2 rad/s^2
 C. 20 rad/s^2

2. Sebuah benda tegar berputar dengan kecepatan sudut 10 rad/s . Kecepatan linear suatu titik pada benda berjarak $0,5 \text{ m}$ dari sumbu putar adalah

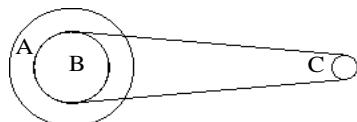
- A. 5 m/s D. $10,5 \text{ m/s}$
 B. $9,5 \text{ m/s}$ E. 20 m/s
 C. 10 m/s

3. Tali melilit pada roda berjari-jari $R = 25 \text{ cm}$, seperti gambar. Jika suatu titik pada tali itu (titik A) mempunyai kecepatan 5 m/s , maka kecepatan rotasi roda adalah

- A. $0,2 \text{ rad/s}$
 B. 5 rad/s
 C. $5\pi \text{ rad/s}$
 D. 20 rad/s
 E. $20\pi \text{ rad/s}$



4. Untuk sistem roda seperti pada gambar di bawah, $R_A = 50 \text{ cm}$, $R_B = 20 \text{ cm}$, $R_C = 10 \text{ cm}$



Jika roda A memiliki kelajuan linier 1 m/s maka kecepatan sudut roda C dalam rad/s adalah

- A. $0,2$ D. 4
 B. 1 E. 8
 C. 2

5. Akibat rotasi bumi, keadaan Hasan yang bermassa a dan ada di Bandung, dan David yang bermassa a dan ada di London, akan sama dalam hal

- A. Laju linear
 B. Kecepatan linear
 C. Gaya gravitasi buminya
 D. Kecepatan angulernya
 E. Percepatan sentripetalnya

(UMPTN, 1992)

6. Di antara pernyataan berikut ini:

- (1) Kecepatan sudut tetap, kecepatan linear berubah
 (2) Kecepatan sudut dan kecepatan linear tetap
 (3) Kecepatan sudut dan kecepatan linear berubah beraturan
 Yang berlaku pada gerak melingkar beraturan adalah

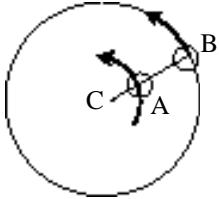
- A. 1 D. 2 dan 3
 B. 1 dan 2 E. 3
 C. 2

7. Benda yang bergerak melingkar memiliki kecepatan sudut tetap 120 rpm . Dalam 10 detik benda tersebut telah menempuh sudut sebesar

- A. $4\pi \text{ rad}$ D. 120 rad
 B. 4 rad E. 1200 rad
 C. $40\pi \text{ rad}$

8. Sebuah benda berotasi menggelilingi suatu sumbu dengan persamaan posisi sudut $\theta = 2t + 3$ (dalam radian dan t dalam sekon). Dari persamaan tersebut dapat dinyatakan bahwa:

- (1) pada saat $t = 0$ posisi sudut = 3 rad
 (2) kecapatan sudut benda tetap
 (3) percepatan sudut benda nol

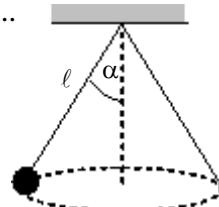
- (4) laju linier benda 2 m/s
Yang benar adalah
 A. semua D. 2 dan 4
 B. 1, 2 dan 3 E. 4 saja
 C. 1 dan 3
9. Seorang Hercules memutar benda bermassa 4 kg yang diikatkan pada tali yang panjangnya 6 m dengan kelajuan konstan 12 ms^{-1} , maka besar gaya sentripetal benda tersebut adalah
 A. 96 N D. 12 N
 B. 86 N E. 8 N
 C. 16 N
- (EBTANAS, 2002)
10. Benda A dan B bermassa sama $0,5 \text{ kg}$, diikatkan pada tali secara berurutan seperti gambar, lalu diputar sehingga melakukan gerak melingkar beraturan secara horizontal dengan kecepatan di ujung luar tali 3 m/s . Bila $OA = 1 \text{ m}$ dan $AB = 2 \text{ m}$, maka perbandingan tegangan tali yang terjadi pada tali AB dengan OA adalah
 A. 1 D. 12 N
 B. $\frac{1}{2}$ E. 18 N
 C. $\frac{2}{3}$
 D. $\frac{3}{4}$
 E. $\frac{3}{2}$
- 
11. Sebuah benda yang massanya 5 kg bergerak secara beraturan dalam lintasan yang melingkar dengan kecepatan 2 m/s . Bila jari-jari lingkaran itu $0,5 \text{ m}$, maka:
 (1) waktu putarnya adalah $0,5 \text{ s}$
 (2) besar percepatan sentripetalnya adalah 8 m/s^2
 (3) gaya sentripetalnya adalah 40 N
 (4) vektor kecepatannya tidak tetap
Yang benar adalah
 A. semua D. 2 dan 4
 B. 1, 2 dan 3 E. 4 saja
 C. 1 dan 3
12. Sebuah belokan jalan raya memiliki radius 30 m dibuat miring sedemikian rupa

tergelincir. Kemiringan belokan tersebut haruslah

- A. 30° D. 53°
 B. 37° E. 60°
 C. 45°

13. Sebuah benda digantungkan pada seutas tali kemudian diputar mendatar seperti tampak pada gambar. Jika panjang tali $\sqrt{2} \text{ meter}$ dan $\alpha = 45^\circ$, maka kecepatan putarannya adalah

- A. $2,3 \text{ m/s}$
 B. $3,3 \text{ m/s}$
 C. $4,4 \text{ m/s}$
 D. $5,5 \text{ m/s}$
 E. $6,6 \text{ m/s}$



14. Sebuah bola bermassa $0,2 \text{ kg}$ diikat dengan tali sepanjang $0,5 \text{ m}$ kemudian diputar sehingga melakukan gerak melingkar beraturan dalam bidang vertikal. Jika pada saat mencapai titik terendah laju bola adalah 5 m/s , maka tegangan talinya pada saat itu besarnya

- A. 2 N D. 12 N
 B. 8 N E. 18 N
 C. 10 N

(UMPTN, 1999)

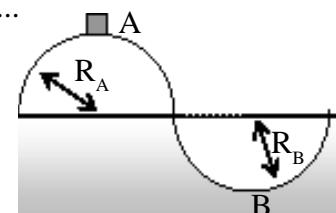
15. Balok 1 kg ikut bergerak melingkar pada dinding sebelah dalam sebuah tong yang berpusing dengan koefisien gesek statis $0,4$. Jika jari-jari tong 1 m kelajuan minimal balok bersama tong agar tidak terjatuh adalah

- A. $0,4 \text{ m/s}$ D. 8 m/s
 B. 4 m/s E. 25 m/s
 C. 5 m/s

(SPMB, 2001)

16. Suatu benda massa m meluncur sepanjang suatu jejak berbentuk lingkaran yang licin dari keadaan diam (lihat gambar). Jika benda tetap berada di jalur, walaupun pada posisi C, tinggi h minimum adalah

- A. Nol D. $2,5 \text{ R}$
 B. $0,5 \text{ R}$ E. 3 R
 C. R

17. Sebuah bola logam diikat pada ujung seutas tali dan diputar dengan laju tetap pada bidang vertikal. Gaya yang bekerja pada bola tersebut:
- (1) gaya resultan yang sebanding dengan kuadrat kecepatan
 - (2) gaya berat yang timbul karena gravitasi bumi
 - (3) gaya sentripetal karena benda bergerak melingkar
 - (4) gaya tangensial karena adanya kecepatan putar bola
- Yang benar adalah
- A. semua
 - B. 1, 2 dan 3
 - C. 1 dan 3
 - D. 2 dan 4
 - E. 4 saja
18. Untuk membiasakan diri pada gaya sebesar $9,6W$ (W = berat badan), seorang astronot berlatih dalam suatu pesawat sentrifugal yang jari-jarinya 6 meter. Percepatan gravitasi bumi adalah 10 m/s^2 . Untuk maksud tersebut pesawat sentrifugal harus diputar dengan ...
- A. laju anguler 240 rad/detik
 - B. laju anguler 240 rad/menit
 - C. 120 putaran/s
 - D. 96 putaran/s
 - E. 6 putaran/s
19. Perhatikan gambar! Sebuah bidang licin memiliki $R_A = R_B = 10 \text{ m}$. Sebuah benda $0,5 \text{ kg}$ bergerak tanpa kecepatan awal dari titik A, besarnya gaya normal terhadap benda sewaktu melewati di B adalah ...
- 10 N
 - 20 N
 - 25 N
 - 40 N
 - 50 N
- 
20. Sebuah benda bermassa m diikatkan di ujung seutas tali, lalu diayunkan pada bidang vertikal, g = percepatan gravitasi. Agar benda dapat melakukan gerak melingkar penuh, maka di titik terendah gaya sentripetal minimumnya haruslah
- 5 mg
 - 4 mg
 - 3 mg
 - D. 2 mg
 - E. mg

(UMPTN, 1996)

B A B

6

ALAT-ALAT OPTIK



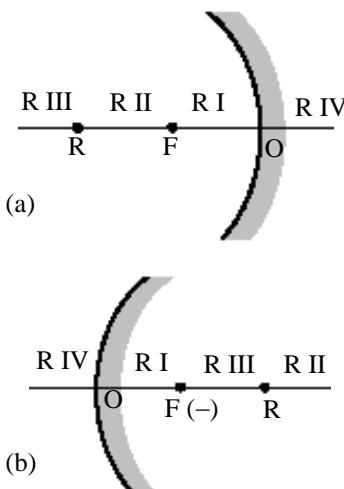
Sumber : penerbit cv adi perkasa

Kalian pernah melihat alat seperti gambar di atas? Apakah alat tersebut? Alat itu dinamakan teropong. Teropong merupakan salah satu contoh alat optik. Alat optik adalah alat bantu penglihatan mata yang tersusun dari lensa-lensa. Alat optik yang lain diantaranya adalah kaca mata, lup dan mikroskop. Bagaimana alat-alat itu bisa digunakan untuk membantu penglihatan? Membantu penglihatan bagaimanakah alat-alat itu? Samakah semua alat optik tadi?

Semua ini dapat kalian pelajari pada bab ini, sehingga setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan sifat-sifat pemantulan cahaya pada cermin,
2. menjelaskan sifat-sifat pembiasaan cahaya pada lensa,
3. menerapkan sifat-sifat cahaya dalam alat yang dinamakan kaca mata,
4. menerapkan sifat-sifat cahaya dalam alat yang dinamakan lup,
5. menerapkan sifat-sifat cahaya dalam alat yang dinamakan mikroskop,
6. menerapkan sifat-sifat cahaya dalam alat yang dinamakan teropong.

A. Cermin Lengkung dan Lensa



Gambar 6.1

Pembagian ruang pada (a) cermin cekung dan (b) cermin cembung

Kalian tentu sudah tidak asing lagi dengan kacamata, lup, mikroskop dan teropong. Alat-alat itu merupakan alat-alat yang menggunakan sifat-sifat cahaya untuk membantu penglihatan mata dan dikenal sebagai alat-alat optik. Tahukah kalian komponen-komponen yang ada pada alat optik itu? Ternyata komponen utamanya adalah cermin lengkung dan lensa. Oleh sebab itu untuk mempelajari alat-alat optik ini perlu memahami sifat-sifat cahaya yang mengenai cermin lengkung dan lensa tipis. Pahamilah sifat-sifat cahaya tersebut pada penjelasan berikut.

1. Pemantulan pada cermin Lengkung

Sewaktu di SMP kalian telah dikenalkan tentang cermin lengkung. Cermin lengkung ada dua jenis yaitu *cermin cembung* dan *cermin cekung*. Pertama-tama yang perlu kalian ketahui adalah daerah di sekitar cermin lengkung. Daerah ini dibagi menjadi empat ruang. Perhatikan pembagian ruang ini pada *Gambar 6.1*. Coba kalian amati apa persamaan dan perbedaan dari cermin cekung dan cermin cembung.

Pembagian ruang pada cermin cekung itu dibatasi oleh cermin (titik O), titik R (titik pusat kelengkungan) dan titik F (titik fokus). Jarak OF sama dengan FR sehingga berlaku hubungan:

$$f = \frac{1}{2} R \quad \dots \dots \dots \quad (6.1)$$

dengan : $f =$ jarak fokus cermin

R = jari-jari kelengkungan

Ruang-ruang di sekitar cermin ini juga dibagi menjadi dua lagi yaitu daerah di depan cermin bersifat *nyata* dan di belakang cermin bersifat *maya*.

Aktiflah

Berdasarkan sifat nyata atau mayanya suatu ruang maka tentukan :

- a. Ruang-ruang pada cermin cekung yang nyata dan yang maya
 - b. Ruang-ruang pada cermin cembung yang nyata dan yang maya

a. Sifat-sifat bayangan

Bayangan-bayangan benda oleh cermin lengkung dapat ditentukan dengan berbagai metode. Metode itu diantaranya adalah dengan percobaan dan penggambaran sinar-sinar istimewa. Ada tiga sinar istimewa yang melalui cermin yaitu:

- (1) Sinar yang menuju fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.
 - (2) Sinar yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan menuju fokus (untuk cermin cekung) atau seolah-olah dari fokus (untuk cermin cekung).
 - (3) Sinar yang menuju atau melalui titik pusat kelengkungan (R) akan dipantulkan kembali.

Untuk memahami sinar-sinar istimewa dan menentukan sifat-sifat bayangan oleh cermin lengkung dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 6.1

Sebuah benda di tempatkan di ruang kedua cermin cekung. Tentukan sifat-sifat bayangan yang terjadi dengan menggambarkan pembentukan bayangan yang dibentuk dari sinar-sinar istimewanya!

Penyelesaian

Pembentukan bayangan pada cermin lengkung dapat menggunakan dua sinar istimewa. Misalkan sinar (1) dan (2) sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 6.2. Bayangan yang terbentuk:

- ◆ Di ruang ketiga : nyata dan terbalik
- ◆ Bayangan lebih besar.

Berarti sifat bayangan : *nyata, terbalik, diperbesar*.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda ditempatkan 20 cm dari cermin cekung yang memiliki jarak fokus 25 cm. Tentukan sifat bayangan yang terjadi dan gambarlah pembentukan bayangannya dengan bantuan sinar-sinar istimewanya!

b. Hubungan antar besaran

Sifat-sifat bayangan oleh cermin lengkung juga dapat ditentukan secara matematis. Masih ingat hubungan jarak benda ke cermin (S), jarak bayangan ke cermin (S') dan jarak fokus (f)? Di SMP kalian sudah diajarkan.

Hubungan itu dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} \dots \quad (6.2)$$

Persamaan hubungan antar bayangan ini dapat kalian buktikan melalui eksperimen. Hubungan kedua yang perlu kalian mengerti adalah perbesaran bayangan. Perbesaran bayangan oleh cermin lengkung memenuhi:

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{S'}{S} \dots \quad (6.3)$$

dengan : M = perbesaran

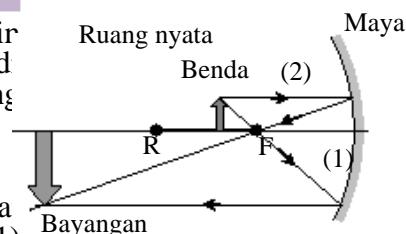
h' = tinggi bayangan

h = tinggi benda

CONTOH 6.2

Sebuah benda yang tingginya 5 cm diletakkan 7,5 cm dari cermin cekung. Jari-jari kelengkungan cermin 20 cm. Tentukan:

- a. jarak bayangan dari cermin,
- b. perbesaran bayangan,



Gambar 6.2

Pembentukan bayangan oleh cermin cekung.

Aktiflah

Coba kalian gambar pemantulan bayangan dari semua ruang baik cermin cekung maupun cembung. Kemudian amati dan buatlah simpulan yang bersifat umum.

- a. Bagaimana jumlah ruang benda dan ruang bayangan
- b. Kapan bayangan akan nyata atau maya dan akan tegak atau terbalik.
- c. Kapan bayangan akan diperbesar

Penting

- ◆ Secara matematis sifat **nyata** ditandai dengan harga positif (+) sedangkan sifat **maya** ditandai dengan harga negatif (-)
- ◆ Fokus cermin cekung bersifat nyata ($f+$) sehingga disebut cermin positif. Sedangkan fokus cermin cembung bersifat maya ($f-$) sehingga disebut cermin negatif.

- c. tinggi bayangan,
- d. sifat bayangan!

Penyelesaian

$$S = 7,5 \text{ cm}$$

$$R = 20 \text{ cm} \rightarrow f = 10 \text{ cm} (+ = \text{cekung})$$

$$h = 5 \text{ cm}$$

- a. Jarak bayangan benda dapat ditentukan dari persamaan 6.2.

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

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{7,5} + \frac{1}{S'}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{7,5} = \frac{3-4}{30} = -\frac{1}{30}$$

berarti $S' = -30 \text{ cm}$ (maya)

- b. Perbesaran memenuhi:

$$M = \frac{S'}{S} = \frac{-30}{7,5} = -4 \times$$

perbesarannya adalah $4 \times$ maya

- c. Tinggi bayangan dapat ditentukan sebagai berikut.

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

$$h' = M h$$

$$= |-4| \cdot 5 = 20 \text{ cm}$$

- d. Sifat bayangan : maya, tegak, diperbesar (setiap maya akan tegak dan setiap nyata akan terbalik).

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Di depan cermin lengkung yang berfokus 25 cm ditempatkan benda yang tingginya 2 cm dan berjarak 30 cm dari cermin.
Tentukan:
 - a. jarak bayangan ke cermin,
 - b. perbesaran dan tinggi bayangan,
 - c. sifat bayangan!
2. Lima puluh centimeter di depan cermin cembung ditempatkan sebuah benda. Titik pusat kelengkungan cermin 50 cm. Tentukan jarak bayangan ke cermin dan perbesaran bayangan itu!

Aktiflah

- a. Dengan menganalisa persamaan persamaan 6.2, tentukan nilai S' dalam S dan f !
- b. Jika benda diletakkan pada jarak S dari cermin lengkung yang memiliki jarak fokus f maka buktikan bahwa perbesaran bayangan memenuhi:

$$M = \frac{f}{S-f}$$

2. Pembiasan pada Lensa Tipis

Sifat cahaya kedua yang perlu kalian ketahui adalah pembiasan. Pada bab ini, pembiasan yang dipelajari adalah pembiasan pada lensa. Sudah tahukah kalian dengan lensa itu? Lensa merupakan benda bening yang di batasi oleh dua permukaan lengkung.

Seperti halnya pada cermin lengkung, pada lensa juga dibagi menjadi empat ruang. Pembagian ruangannya berbeda antara ruang benda dan ruang bayangan. Perhatikan *Gambar 6.3*.

Pembentukan bayangan hasil pembiasan lensa juga mirip pada cermin lengkung, ada tiga sinar istimewa yang perlu dimengerti. Tiga sinar istimewa itu adalah sebagai berikut.

1. Sinar yang menuju fokus akan dibiaskan sejajar sumbu utama.
2. Sinar yang sejajar sumbu utama akan dibiaskan menuju fokus lensa atau seolah-olah dari fokus.
3. Sinar yang menuju pusat lensa akan diteruskan.

Pahamilah sinar-sinar istimewa lensa ini dengan mencermati contoh soal berikut.

CONTOH 6.3

Sebuah benda di tempatkan 40 cm dari sebuah lensa yang berjarak fokus 25 cm. Tentukan sifat-sifat bayangan yang dihasilkan benda dengan metode gambar jika:

- a. lensanya cembung,
- b. lensanya cekung!

Penyelesaian

- a. lensa cembung

$$S = 40 \text{ cm} \text{ (di ruang II) dan } f = +25 \text{ cm}$$

Bayangan benda oleh lensa dapat ditentukan dari dua sinar istimewa saja. Hasilnya seperti pada *Gambar 6.4(a)*. Dari gambar itu terlihat bayangan bersifat : nyata, terbalik, diperbesar.

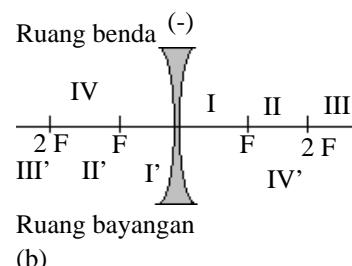
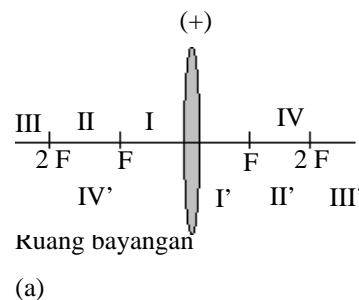
- b. lensa cekung

$$S = 40 \text{ cm (ruang IV) dan } f = (-) 25 \text{ cm}$$

Bayangan dapat ditentukan dari sinar istimewa ke-2 dan ke-3. Hasilnya seperti pada *Gambar 6.4(b)*. Sifat bayangannya : maya, tegak, diperkecil.

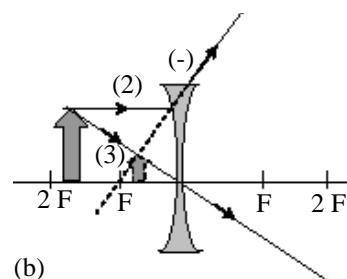
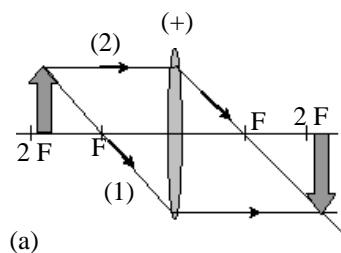
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Sebuah benda di tempatkan di ruang III sebuah lensa cembung. Tentukan pembentukan bayangan benda dari sinar-sinar istimewa dan tentukan sifat bayangannya!
2. Benda di tempatkan 20 cm dari lensa cekung yang berfokus 25 cm. Tentukan sifat bayangan yang terjadi!



Gambar 6.3

Pembagian ruang pada (a) lensa cembung dan (b) lensa cekung.



Gambar 6.4

Pembentukan bayangan oleh (a) lensa cembung dan (b) lensa cekung.

Kegiatan 6.1

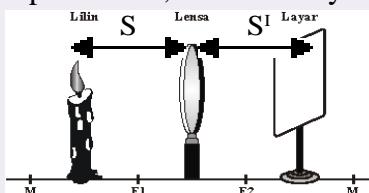
Pembentukan Bayangan Oleh Lensa

Tujuan : Menentukan sifat-sifat bayangan yang dibentuk oleh lensa cembung.

Alat dan bahan : Lensa ($f = 10 \text{ cm}$), lilin, layar dan mistar.

Kegiatan :

1. Pasanglah posisi lilin, lensa dan layar seperti pada gambar.



2. Letakkan lilin di ruang II. Untuk $f = 10 \text{ cm}$ maka jarak benda $S : 10 < S < 2 \text{ cm}$
3. Geserlah layar maju atau mundur hingga mendapatkan bayangan paling tajam. Kemudian tentukan ruang letak bayangan dan sifat-sifat bayangan (maya atau nyata, tegak atau terbalik dan diperbesar atau diperkecil)
4. Ulangi langkah (2) dan (3) untuk letak benda di ruang I dan III.

Tugas :

1. Catat semua data yang diperoleh.
2. Tentukan sifat-sifat bayangan yang dibentuk.
3. Bandingkan sifat-sifat bayangan tersebut dengan

b. Hubungan antar besaran

Hubungan antar besaran pada lensa ini sama juga dengan cermin lengkung. Setiap benda yang berjarak S dari lensa, jarak fokusnya f dan jarak bayangan S' akan berlaku persamaan berikut.

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

dan perbesaran (6.4)

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{S'}{S}$$

Dengan f = jarak fokus lensa, S = jarak benda ke lensa, S' = jarak bayangan ke lensa, M = perbesaran, h = tinggi benda dan h' = tinggi bayangan.

CONTOH 6.4

Dalam percobaan tentang lensa, Johan menggunakan lensa cembung yang berfokus 25 cm. Di depan lensa tersebut ditempatkan benda yang tingginya 3 cm pada jarak 30 cm. Tentukan:

- a. jarak bayangan ke lensa,
 - b. perbesaran bayangan,
 - c. tinggi bayangan?

Penyelesaian

$f = +25$ cm (cembung)

$S \equiv 30 \text{ cm}$ dan $h \equiv 3 \text{ cm}$

- a. Jarak bayangan ke lensa S' memenuhi:

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

$$\frac{1}{25} = \frac{1}{30} + \frac{1}{S'}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{25} - \frac{1}{30} = \frac{6-5}{150} = \frac{1}{150} \text{ berarti } S' = 150 \text{ cm}$$

- b. Perbesaran bayangan sebesar :

$$M = \frac{S'}{S} = \frac{150}{30} = 5 \times (\text{nyata})$$

- c. Tinggi bayangan benda sebesar:

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

$$h' = M h = 5 \cdot 3 = 15 \text{ cm}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah lensa cembung dapat membentuk bayangan di depan lensa sejauh 15 cm. Jika fokus lensanya 20 cm maka tentukan:

- a. jarak benda dari lensa
 - b. perbesaran bayangan

c. Daya lensa

Kalian telah mengenal fokus lensa. Ada besaran lagi yang dimiliki lensa yang berkaitan erat dengan fokus yaitu *daya lensa*. Daya atau kekuatan lensa didefinisikan sebagai nilai kebalikan dari fokusnya.

Dari definisi ini dapat dirumuskan :

$$P = \frac{1}{f} \quad \dots \dots \dots \quad (6.5)$$

dengan : $P = \text{daya lensa (dioptri)}$
 $f = \text{fokus lensa (m)}$

Jika fokus lensa dalam cm maka daya lensanya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{100}{f(\text{cm})} \quad \dots \dots \dots \quad (6.6)$$

CONTOH 6.5

Di depan sebuah lensa ditempatkan benda sejauh 30 cm. Ternyata bayangan yang terjadi berada 15 cm di belakang lensa. Tentukan daya lensa yang digunakan tersebut.

Penyelesaian

$$S = 30 \text{ cm}; S' = 15 \text{ cm}$$

Daya lensa memenuhi

$$\begin{aligned} P &= \frac{100}{f} \quad \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} \\ &= 100 \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{15} \right) \quad \frac{300}{90} \\ &= 100 \left(\frac{1}{90} + \frac{1}{30} \right) = \frac{300}{90} = 10 \text{ Dioptri} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua puluh centimeter di depan lensa terdapat sebuah benda. Bayangan yang terjadi ternyata 30 cm dibelakang lensa. Berapakah daya lensa yang digunakan?

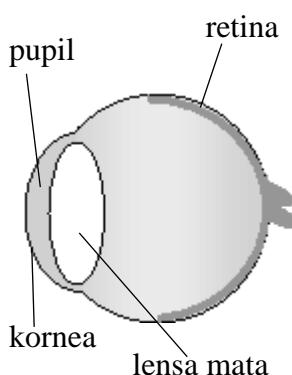


ATIHAN 6.1

1. Sifat-sifat pembentukan bayangan dari benda nyata oleh cermin lengkung dapat dijelaskan seperti di bawah. Benar atau salahkan penjelasan berikut. Berilah penjelasan!
 - a. Cermin cembung tidak dapat membentuk bayangan nyata yang diperbesar.
 - b. Cermin cekung dapat membentuk bayangan nyata yang sama tinggi dengan bendanya.
 - c. Cermin cembung selalu membentuk bayangan maya.
 - d. Cermin cembung selalu membentuk bayangan yang diperbesar.
2. Cermin cekung berjari-jari 100 cm, di depannya diletakkan benda berjarak 80 cm. Tentukan sifat bayangan benda yang terbentuk!
3. Untuk membentuk bayangan maya, sebuah benda ditempatkan sejarak x di depan lensa yang berkekuatan 5 dioptri. Tentukan nilai!
4. Sifat-sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin lengkung dan lensa serta perumusannya memiliki kemiripan.
 - a. Coba kalian jelaskan apakah persamaan-persamaan pada pembentukan bayangan dan perumusan pada keduanya!
 - b. Coba kalian jelaskan apakah perbedaan-perbedaan pada pembentukan bayangan dan perumusan pada keduanya!
 - c. Bagaimanakah cara mengingat sebuah cermin itu positif atau negatif?
 - d. Bagaimanakah cara mengingat sebuah lensa itu positif atau negatif?

5. Letak bayangan yang dibentuk cermin cekung adalah 30 cm di depan cermin. Apabila jari-jari cermin 20 cm, maka tentukan:
 - a. jarak benda terhadap cermin,
 - b. perbesaran bayangan,
 - c. sifat-sifat bayangan!
6. Sebuah cermin cembung memiliki jari-jari kelengkungan 16 cm. Jika jarak bayangan ke cermin 6 cm dan tingginya 4 cm, maka tentukan:
 - a. jarak benda ke cermin,
 - b. perbesaran bayangan,
 - c. tinggi benda!
7. Dengan sebuah cermin cekung dibuat bayangan benda pada layar. Jarak cermin dengan layar 1 m, tinggi benda 2 mm sedang tinggi bayangan yang dikehendaki 2 cm. Tentukan letak benda di muka cermin!
8. Agar lensa positif berkekuatan 4 dioptri membentuk bayangan nyata 50 cm di belakang lensa, maka benda harus ditempatkan sejauh S di depan lensa. Berapakah besar S?
9. Sebuah benda 36 cm dari sebuah layar. Antara benda dan layar ditempatkan lensa cembung yang jarak fokusnya 8 cm. Bayangan yang dihasilkan nyata dan tepat pada layar. Berapa jarak lensa dari layar?
10. Di depan lensa ($f = 20$ cm) ditempatkan benda sejauh 30 cm. Kemudian di belakang lensa pertama sejauh 30 cm diletakkan lensa lagi yang fokusnya 10 cm dengan sumbu utama berimpit. Jika tinggi benda 8 cm, maka tentukan tinggi bayangan?

B. Mata dan Kaca Mata



Gambar 6.6

Bagian-bagian penting mata manusia.

Pernahkah kalian berpikir, bagaimana sebenarnya sifat-sifat mata kalian? Untuk mengetahui coba kalian bedakan keadaan mata kalian saat melihat benda dekat dan saat melihat benda jauh. Lihatlah tulisan buku ini pada jarak kurang lebih 25 cm, kemudian lihatlah benda paling jauh. Adakah bedanya? Jika kalian perhatikan betul akan ada perbedaan pada lensa mata kalian.

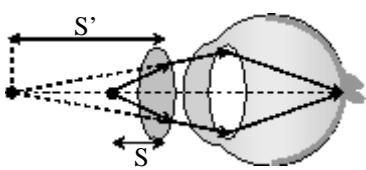
Mata kita memiliki bagian-bagian penting seperti pada *Gambar 6.6*. Tetapi yang memiliki sifat unik sehubungan dengan optik adalah *lensa mata*. Lensa mata ini memiliki sifat yang dapat berubah-ubah. Kemampuan mata untuk mengubah ketebalan lensa ini disebut *daya akomodasi*. Lensa mata akan menipis saat melihat benda jauh dan keadaan paling tipis disebut *akomodasi minimum*. Dan saat melihat benda dekat, lensa mata akan menebal hingga paling tebal disebut *akomodasi maksimum*.

Mata yang normal memiliki batas-batas normal akomodasi. Mata normal berakomodasi maksimum saat melihat benda pada jarak terdekat 25 cm dan berakomodasi minimum saat melihat benda di jauh tak hingga. Jarak terdekat yang dapat dilihat mata disebut *titik dekat* (*Punctum Proximum = PP*) dan jarak terjauh yang dapat dilihat disebut *titik jauh* (*Punctum Remotum = PR*). Berarti mata yang normal memenuhi sifat sebagai berikut.

Mata normal	$PP = 25$ cm	(6.7)
	$PR = \sim$		

Sekarang dapat timbul pertanyaan, apakah semua mata manusia itu normal? Ternyata banyak orang yang memiliki titik dekat atau titik jauh yang tidak sesuai dengan sifat mata normal. Mata yang sifatnya tidak normal dinamakan *mata rabun*. Mata yang rabun ini berarti lensa matanya tidak dapat berakomodasi secara normal.

Keadaan mata yang tidak normal dapat dibantu dengan alat yang kita kenal *kaca mata*. Daya kaca mata yang dibutuhkan memenuhi persamaan 6.5.



Gambar 6.7
Kacamata dan mata

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

$$P = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'}$$

S adalah jarak benda yang diharapkan untuk dapat dilihat. Sedangkan S' adalah bayangan oleh lensa yang harus bersifat maya sehingga bernilai negatif. Kemudian daya lensa bersatuannya dioptri sehingga S dan S' harus dalam meter atau boleh cm tetapi persamaannya menjadi seperti berikut.

$$P = \frac{100}{S} + \frac{100}{S'} \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

Mata rabun ada tiga jenis yaitu rabun dekat (*hipermetropi*), rabun jauh (*miopi*) dan *presbiopi*. Perhatikan penjelasan berikut.

Hipermetropi

Hipermetropi atau rabun dekat disebut juga mata jauh karena hanya dapat melihat jelas benda-benda yang jauh. Mata ini tidak dapat berakomodasi maksimum secara normal berarti titik dekatnya lebih besar dari 25 cm ($PP > 25\text{ cm}$).

Karena sifat di atas maka setiap melihat benda pada titik baca normal (25 cm) bayangannya akan berada di belakang retina. Untuk mengatasinya diperlukan lensa positif. Lihat *Gambar 6.8*.

Bagaimana lensa kaca mata yang dibutuhkan? Jika ingin membaca normal maka benda harus berada pada jarak baca $S = 25\text{ cm}$ dan bayangan lensa harus berada pada titik dekat mata $S' = - PP$. Perhatikan contoh berikut.

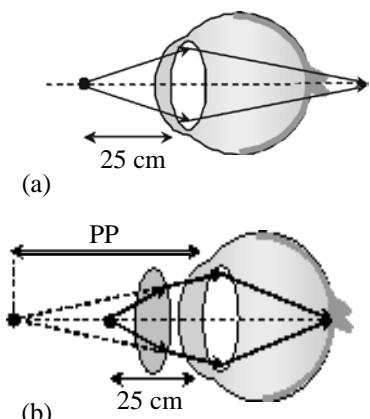
CONTOH 6.6

Zaza tidak dapat membaca pada jarak normal (25 cm). Saat melihat benda, dia bisa melihat dengan jelas jika jaraknya 1 m dan selebihnya. Tentukan daya kaca mata yang dibutuhkan agar dapat melihat pada jarak baca normal dan tentukan pula jarak fokus lensanya!

Penyelesaian

$$S = 25\text{ cm}$$

$$S' = - PP = - 1\text{ m} = - 100\text{ cm}$$



Gambar 6.8
Lensa positif membantu rabun dekat.

Daya kaca mata dan fokus yang dibutuhkan memenuhi :

$$\begin{aligned} P &= \frac{100}{S} + \frac{100}{S'} \\ &= \frac{100}{25} - \frac{100}{100} = 3 \text{ dioptri} \\ f &= \frac{100}{P} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Piter setelah memeriksakan matanya ternyata harus menggunakan kaca mata baca. Menurut dokter kaca mata yang dipakai berukuran $+1\frac{1}{2}$ dioptri.

Berapakah jarak benda terdekat yang dapat dilihat Piter dengan jelas (titik dekat) jika tidak memakai kaca mata?

Miopi

Miopi atau rabuh jauh disebut juga mata dekat karena hanya dapat melihat jelas benda-benda yang dekat. Mata ini tidak dapat berakomodasi minimum secara normal. Titik jauh matanya kurang dari jauh tak hingga ($PR < \infty$).

Karena sifat di atas maka mata miopi yang digunakan untuk melihat benda jauh tak hingga akan membentuk bayangan di depan retina. Untuk melihat benda jauh tak hingga maka mata ini dapat dibantu dengan kacamata lensa negatif. Lihat Gambar 6.9.

Bagaimana ukuran lensa kaca mata yang dibutuhkan? Jika ingin melihat benda jauh tak hingga maka benda yang dilihat jauh tak hingga, $S = \infty$ dan bayangan oleh lensa harus berada di titik jauhnya, $S' = -PR$. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 6.7

Seseorang tidak dapat melihat benda jauh tak hingga dengan jelas. Kemudian dia memeriksakan diri ke dokter mata. Untuk mengatasi kelemahan itu dia diberi saran dokternya untuk memakai kaca mata dengan

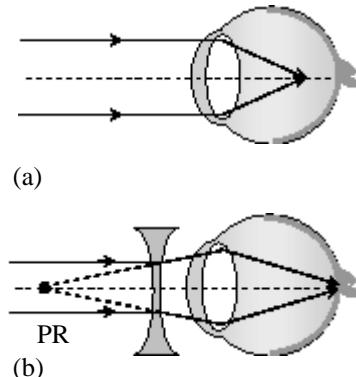
kekuatan $-\frac{1}{3}$ dioptri. Berapakah titik jauh mata orang tersebut?

Penyelesaian

$$S = \infty$$

$$P = -\frac{1}{3} D$$

$$S' = -PR$$



Gambar 6.9

Lensa negatif membantu rabun jauh.

Titik jauh S' = -PR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 6.8 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \frac{100}{S} + \frac{100}{S'} \\ -\frac{1}{3} &= \frac{100}{\sim} - \frac{100}{PR} \\ PR &= 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Beny temanku hanya bisa melihat jelas paling jauh 2 m sehingga saat melihat papan tulis tidak begitu jelas. Bagaimana caranya agar teman saya itu dapat melihat benda jauh tak hingga?

Presbiopi

Presbiopi disebut juga mata tua yaitu mata yang titik dekat dan titik jauhnya telah berubah. Titik dekatnya menjauh dan titik jauhnya mendekat. Berarti mata presbiopi tidak bisa melihat benda dekat maupun jauh dengan jelas. Mata yang memiliki sifat seperti ini mengalami miopi maupun hipermetropi. Cara menanganinya adalah menggunakan kaca mata rangkap.

Dari penjelasan di atas dapat dituliskan sifat-sifat mata presbiopi sebagai berikut.

- a. $PP > 25 \text{ cm}$
- b. $PR < \sim$
- c. tidak bisa melihat benda jauh maupun dekat
- d. penyelesaiannya merupakan gabungan miopi dan hipermetropi



ATIHAN 6.2

1. Coba kalian jelaskan dengan singkat dan jelas bagaimanakah ciri-ciri mata yang:
 - a. normal
 - b. rabun dekat (hipermetropi)
 - c. rabun jauh (miopi)
 - d. presbiopi
2. Seseorang yang titik dekatnya ada pada jarak 50 cm di depan lensa matanya, hendak membaca buku yang diletakkan pada jarak 25 cm. Agar orang tersebut dapat membaca dengan jelas maka ia harus memakai kacamata. Berapakah kekuatan kacamata yang harus dipakai? Hitung juga fokus lensa kaca mata tersebut!
3. Seorang penderita presbiopi dengan titik dekat 125 cm. Agar orang tersebut dapat membaca pada jarak 25 cm, maka berapakah ukuran kacamata yang harus dipakai?
4. Seorang penderita rabun jauh tidak dapat melihat benda-benda jauh dengan jelas. Coba jelaskan mengapa penderita ini tidak dapat melihat benda jauh dengan jelas? Kemudian jelaskan pula mengapa lensa negatif dapat membantunya?

5. Titik jauh mata seorang miopi 1 meter di depan matanya. Agar orang itu mampu melihat benda di tak terhingga dengan jelas, maka ia harus memakai lensa dengan fokus f . Berapakah nilai f tersebut?
6. Seseorang penderita miopi tidak bisa melihat dengan jelas benda yang terletak lebih dari 50 cm dari matanya. Supaya orang tersebut dapat melihat benda jauh dengan jelas, maka berapakah kekuatan kacamata yang harus dipakainya?
7. Seseorang yang miopi titik dekatnya 40 cm sedang titik jauhnya 200 cm.
- Agar ia dapat melihat jelas benda yang jauh, ia harus memakai kacamata. Tentukan ukuran kaca mata yang dia butuhkan!
8. Mata **presbiopi** dan **miopi** memakai kacamata bifokal (mata kiri dan kanan keuatannya sama), nomor lensanya bagian atas dan bawah masing-masing ialah $-0,20$ dioptri dan $+1,5$ dioptri. Ternyata dapat melihat bintang dengan tak berakomodasi. Mata melihat sejauh 25 cm berakomodasi maksimum. Berapakah batas-batas jarak penglihatannya yang terang seandainya kacamatanya dilepas?

C. Lup dan Mikroskop

1. Lup

Lup atau yang diberi nama kaca pembesar merupakan alat optik yang berupa lensa cembung. Alat optik ini digunakan untuk memperbesar benda-benda kecil, biasanya tulisan kecil atau komponen-komponen kecil. Lihat Gambar 6.10. Untuk memanfaatkan lensa cembung sebagai lup, maka benda harus diletakkan di ruang I lensa ($0 < S < f$) sehingga sifat bayangannya adalah *maya, tegak, dan diperbesar*.

Pada penggunaan lup dapat ditentukan perbesaran bayangannya. Perbesarannya sering digunakan perbesaran sudut (anguler). Persamaannya memenuhi:

$$M = \frac{\beta}{\alpha} \quad \dots \dots \dots \quad (6.9)$$

dengan : M = perbesaran anguler

β = sudut penglihatan setelah ada lup

α = sudut penglihatan awal

Pengamatan dengan lup memiliki dua keadaan akomodasi yang penting yaitu *akomodasi maksimum* dan *akomodasi minimum*.

Akomodasi maksimum

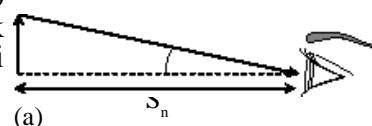
Pengamatan akomodasi maksimum dengan lup berarti bayangan oleh lensa lup harus berada pada titik dekat mata. Titik dekat normal di sini selalu S_n . Berarti berlaku:

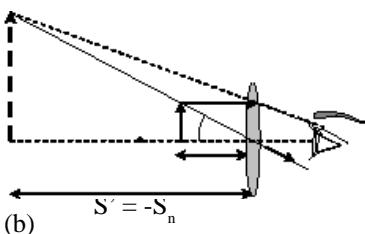
$$S' = -S_n$$

Dan benda harus diletakkan dari lup sejauh S . Nilai S ini dapat diperoleh dengan persamaan 6.4. Buktikan nilai S akan memenuhi persamaan berikut.



Gambar 6.10
Lup atau kaca pembesar



**Gambar 6.11**

Pengamatan akomodasi maksimum (a) tanpa lup (b) dengan lup.

Dan benda harus diletakkan dari lup sejauh S . Nilai S ini dapat diperoleh dengan persamaan 6.4. Buktikan nilai S akan memenuhi persamaan berikut.

$$S = \frac{S_n f}{S_n + f}$$

Perbesaran anguler pada akomodasi maksimum dapat ditentukan dengan bantuan pembentukan bayangan pada *Gambar 6.11*. Untuk nilai α dan β yang termasuk sudut kecil maka perbesarannya dapat memenuhi per-

$$\begin{aligned} M &= \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \\ &= \frac{h'/S_n}{h/S_n} = \frac{h'}{h} = \frac{S'}{S} \end{aligned}$$

Substitusikan nilai S' dan S sehingga dapat diperoleh perbesaran anguler pada akomodasi maksimum seperti di bawah.

$$M = \frac{-S_n}{\left(\frac{S_n f}{S_n + f}\right)} = (-) \frac{S_n + f}{f}$$

Tanda negatif (-) berarti maya dan persamaannya dapat dituliskan menjadi berikut.

$$M = \frac{S_n}{f} + 1 \quad \dots \dots \dots \quad (6.10)$$

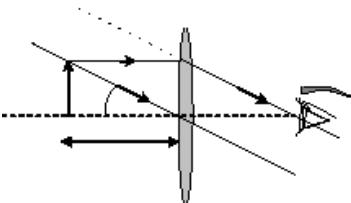
dengan: M = perbesaran anguler

S_n = jarak baca normal

f = jarak fokus lup

Akomodasi minimum

Pengamatan akomodasi minimum dengan lup berarti bayangan oleh lup harus di jauh tak hingga. Bayangan ini terjadi jika benda ditempatkan pada fokus lensa ($S = f$). Perhatikan pembentukan bayangan tersebut pada *Gambar 6.12*. Dari gambar terlihat nilai $\tan \beta$ memenuhi:

**Gambar 6.12**

Pengamatan dengan lup pada akomodasi minimum.

$$\tan \beta = \frac{h}{f}$$

Dengan menggunakan nilai $\tan \beta$ dapat diperoleh perbesaran anguler akomodasi minimum sebagai berikut.

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$M = \frac{h/f}{h/S_n}$$

$$M = \frac{S_n}{f} \quad \dots \dots \dots \quad (6.11)$$

CONTOH 6.8

Seorang tukang arloji bermata normal menggunakan lup yang berkekuatan 10 dioptri. Tentukan jarak benda ke lup dan perbesaran angulernya jika diharapkan pemgamatannya dengan:

- mata berakomodasi maksimum,
- mata tak berakomodasi?

Penyelesaian

$$P = 10 \text{ dioptri} \rightarrow f = \frac{100}{10} = 10 \text{ cm}$$

- Mata berakomodasi maksimum:

$$S' = -S_n = -25 \text{ cm} \text{ (normal)}$$

Berarti agar mata berakomodasi masimum jarak benda ke lup harus memenuhi:

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

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{S} + \frac{1}{(-25)}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{10} + \frac{1}{25} = \frac{5+2}{50}$$

$$S = \frac{50}{7} = 7\frac{1}{7} \text{ cm}$$

Dan perbesaran anguler pada akomodasi maksimumnya sebesar:

$$M = \frac{S_n}{f} + 1$$

$$= \frac{25}{10} + 1 = 3,5 \text{ kali}$$

- b. Mata tak berakomodasi

Mata tak berakomodasi sama dengan berakomodasi minimum, berarti jarak bayangan dan benda dari lup memenuhi:

$$S' = \sim$$

$$S = f = 10 \text{ cm}$$

Dan perbesaran anguler akomodasi minimumnya memenuhi:

$$M = \frac{S_n}{f} = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ kali}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah lensa yang memiliki fokus 2,5 cm digunakan sebagai lup. Jika orang yang menggunakannya ber mata normal ($PP = 25 \text{ cm}$ dan $PR = \sim$) maka tentukan jarak benda harus ditempatkan dan perbesaran angulernya jika:

- mata tak berakomodasi,
- mata berakomodasi maksimum!

2. Mikroskop

Pernahkah kalian melihat mikroskop? Coba kalian perhatikan *Gambar 6.13 (a)*. Alat ini sering kalian lihat di laboratorium biologi. Mikroskop merupakan alat optik untuk melihat benda-benda renik seperti amoeba, sel atau bakteri. Apakah sebenarnya mikroskop itu? Jika kalian amati *Gambar 6.13 (b)* tentu akan tahu. Mikroskop tersusun dari dua lensa positif. Lensa yang dekat benda dinamakan *lensa objektif* (f_{ob}) dan lensa yang dekat mata dinamakan *lensa okuler* (f_{ok}).

Benda ditempatkan di ruang kedua lensa objektif sehingga bayangannya bersifat nyata, terbalik diperbesar. Kemudian bayangan oleh lensa objektif diteruskan pada lensa okuler. Lensa okuler mikroskop bertindak sebagai lup berarti bayangannya adalah maya, tegak diperbesar. Bayangan akhir oleh mikroskop adalah *maya, terbalik, diperbesar*.

Karena untuk melihat benda renik maka hal utama yang perlu diperhatikan pada mikroskop adalah perbesarannya. Perbesaran total mikroskop merupakan perkalian dari perbesaran kedua lensanya.

$$M = M_{ob} \times M_{ok} \quad \dots \dots \dots \quad (6.12)$$

Untuk menganalisa perbesaran oleh mikroskop kalian harus mengingat betul bahwa lensa objektif bersifat seperti lensa positif biasa, sedangkan lensa okuler seperti lup. Berarti setiap analisanya perlu memperhatikan sifat-sifat lensa dan lup.

Sedangkan jarak antara lensa pada lup dapat memenuhi:

$$d = S_{ob}' + S_{ok} \quad \dots \dots \dots \quad (6.13)$$

dengan : d = jarak antar lensa

S_{ob}' = jarak bayangan oleh lensa objektif

S_{ok} = jarak benda lensa okuler

Karena lensa objektif bersifat seperti lup maka pengamatan dengan mikroskop juga memiliki dua jenis akomodasi utama. Pahami penjelasan di bawah.



(a)

Akomodasi maksimum

Pengamatan dengan akomodasi maksimum bisa terjadi jika jarak bayangan oleh lensa okuler jatuh pada titik dekat mata. Untuk mata normal memenuhi $S_{ok}' = -25$ cm. Sedangkan perbesaran anguler lensa okulernya memenuhi persamaan 6.10.

Akomodasi minimum

Pengamatan dengan akomodasi minimum bisa terjadi jika bayangan lensa okuler di jauh tak hingga ($S_{ok}' = \infty$) berarti jarak benda memenuhi : $S_{ok} = f_{ok}$. Sedangkan perbesaran lensa okulernya memenuhi persamaan 6.9.

CONTOH 6.9

Sebuah mikroskop disusun dari dua lensa positif. Lensa objektif dan lensa okuler masing-masing memiliki jarak fokus 3 cm dan 10 cm. Jika sebuah benda ditempatkan 3,5 cm di depan lensa objektif maka tentukan perbesaran dan panjang mikroskop untuk:

- mata berakomodasi maksimum,
- mata berakomodasi minimum!

Penyelesaian

$$f_{ob} = 3 \text{ cm}, f_{ok} = 10 \text{ cm} \text{ dan } S_{ob}' = 3,5 \text{ cm}$$

Dari S_{ob}' dan f_{ob} dapat ditentukan jarak bayangan lensa objektif.

$$\frac{1}{S_{ob}'} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{S_{ob}} = \frac{1}{3} - \frac{1}{3,5} = \frac{7-6}{21} = \frac{1}{21}$$

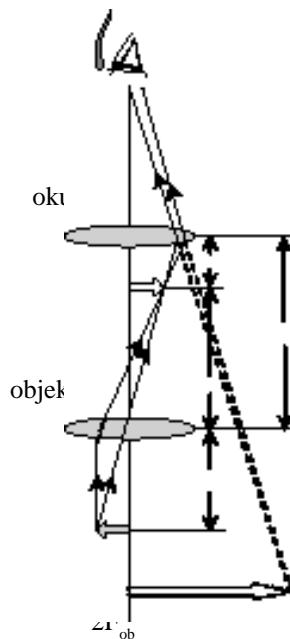
Jadi jarak bayangan oleh lensa objektifnya adalah $S_{ob}' = 21$ cm

- Mata berakomodasi maksimum

Pada saat berakomodasi maksimum, maka perbesaran lensa okuler sama dengan perbesaran akomodasi maksimum oleh lup sehingga diperoleh:

$$M = M_{ob} \cdot M_{ok}$$

$$\frac{S_{ob}'}{S_{ob}} \left(\frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right) = \frac{21}{3,5} \left(\frac{25}{10} + 1 \right) = 21 \text{ kali}$$



(b)

Gambar 6.13

Pembentukan bayangan oleh mikroskop.

Dan untuk mata berakomodasi maksimum berarti pada lensa okuler memenuhi jarak bayangan $S_{ok}' = -25$ cm (mata normal). Sehingga dapat ditentukan S_{ok} sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{1}{S_{ok}} &= \frac{1}{f_{ok}} - \frac{1}{S_{ok}'} \\ &= \frac{1}{10} - \frac{1}{(-25)} = \frac{5+2}{50} = \frac{7}{50} \\ S_{ok} &= \frac{50}{7} = 7\frac{1}{7} \text{ cm}\end{aligned}$$

Dari nilai ini dapat ditentukan panjang mikroskop, yaitu sebesar:

$$d = S_{ob}' + S_{ok} = 21 + 7\frac{1}{7} = 28\frac{1}{7} \text{ cm}$$

- b. Mata berakomodasi minimum

Pada akomodasi minimum terjadi pada $S_{ok}' = \infty$ berarti $S_{ok} = f_{ok}$. Pada keadaan ini perbesaran lensa okuler sama dengan perbesaran akomodasi minimum lup. Perbesaran total:

$$\begin{aligned}M &= M_{ob} \cdot M_{ok} \\ &= \frac{S_{ob}'}{S_{ob}} \left(\frac{S_n}{f_{ok}} \right) = \frac{21}{3,5} \left(\frac{25}{10} \right) = 15 \text{ kali}\end{aligned}$$

Dan panjang mikroskop pada akomodasi minimum ini ($S_{ok} = f_{ok}$) dapat diperoleh:

$$d = S_{ob}' + f_{ok} = 21 + 10 = 31 \text{ cm}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Lensa objektif dan okuler sebuah mikroskop memiliki jarak titik api masing-masing 1 cm dan 5 cm. Jika sebuah benda diletakkan 1,5 cm di depan lensa pertama, maka tentukan perbesaran dan jarak kedua lensa untuk mata melihat dengan akomodasi (a) maksimum dan (b) minimum!



ATIHAN 6.3

- Seorang petugas pemilu mengamati keaslian kartu suara dengan menggunakan lup berkekuatan 10 dioptri. Apabila orang itu memiliki titik dekat mata 30 cm dan ingin memperoleh pembesaran anguler maksimum maka kartu suara ditempatkan di depan lup pada jarak S . Berapakah besar S ?
- Sebuah lensa cembung dengan fokus 2,5 cm digunakan sebagai lup. Seseorang yang bermata normal melihat suatu benda kecil dengan lup menginginkan dapat melihat pada jarak 25 cm, maka berapakah perbesaran bayangan benda yang dilihat?

3. Seorang siswa berpenglihatan normal (jarak baca minimumnya 25 cm) mengamati benda kecil melalui lup dengan berakomodasi maksimum. Jika benda itu 10 cm di depan lup maka tentukan:
 - a. jarak fokus lensa lup,
 - b. kekuatan lensa lup,
 - c. perbesaran bayangan yang terjadi,
 - d. perbandingan perbesaran bayangan akomodasi maksimum dengan pengamatan tanpa berakomodasi!
4. Seorang tukang jam bermata normal ($PP=25$ cm dan $PR = \sim$) mengamati onderdil jam dengan lup yang kekuatannya 20 dioptri (lup dianggap menempel pada mata). Tentukan:
 - a. jarak benda dan perbesaran angguler jika mata berakomodasi maksimum,
 - b. jarak benda dan perbesaran angguler jika mata tak berakomodasi!
5. Dua lensa yang jarak titik apinya masing-masing 1 cm dan 5 cm disusun membentuk mikroskop majemuk. Jika sebuah benda diletakkan 1,1 cm di depan lensa pertama dan bayangan akhir diamati pada jarak 25 cm dari lensa kedua, maka berapakah jarak kedua lensa?
6. Panjang fokus lensa objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 10 cm dan 5 cm. Jika mata tak berakomodasi jarak antara lensa objektif dan okuler adalah 35 cm, maka hitunglah perbesaran total mikroskop itu!
7. Jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler sebuah mikroskop masing-masing 1,5 cm dan 5 cm, digunakan untuk mengamati benda kecil yang terletak 2 cm dari lensa objektif. Jika pengamat bermata normal berakomodasi minimum, maka tentukan perbesaran yang dihasilkan mikroskop?

D. Teropong

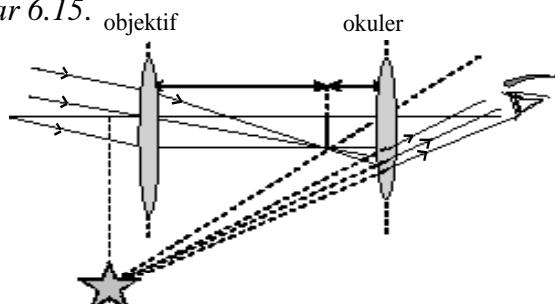


Gambar 6.14
Teropong

Teropong disebut juga dengan nama teleskop. Mungkin kalian pernah melihat teropong, misalnya di planetarium atau dari gambar-gambar seperti pada *Gambar 6.14*. Teropong merupakan alat optik yang dapat digunakan untuk membantu melihat benda-benda jauh. Teropong tersusun oleh dua lensa utama seperti mikroskop. Lensa yang dekat objek juga diberi nama *lensa objektif* dan yang dekat mata *lensa okuler*. Lensa okuler pun punya sifat yang sama yaitu berfungsi sebagai lup.

Teropong Bintang

Teropong memiliki jenis yang banyak tetapi memiliki dasar yang sama. Dasar dari teropong itu adalah *teropong bintang* yaitu teropong yang digunakan untuk melihat benda-benda di langit. Setiap teropong diharapkan dapat digunakan untuk melihat bayangan dengan cara berakomodasi minimum, sehingga pembentukan bayangan oleh teropong bintang dapat dilihat seperti pada *Gambar 6.15*.



Gambar 6.15
Pembentukan bayangan oleh teropong bintang.

Perhatikan Gambar 6.15, teropong bintang terdiri dari dua lensa. Sinar dari benda (bintang) di jauh tak hingga akan dibiaskan menuju fokus lensa objektif. Kemudian oleh lensa okuler akan dibentuk bayangan di jauh tak hingga lagi (akomodasi minimum) yang memiliki sifat : *maya, terbalik, diperbesar*.

Dari Gambar 6.15 juga dapat dilihat bahwa panjang teropong atau jarak antara dua lensanya memenuhi:

$$d = f_{ob} + f_{ok} \quad \dots \dots \dots \quad (6.14)$$

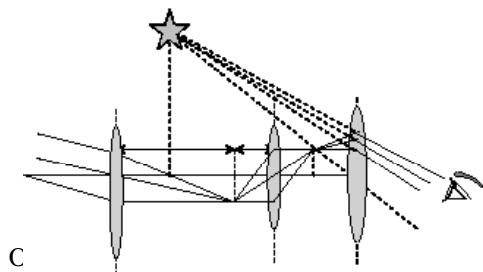
Perbesaran bayangan yang terbentuk oleh teropong pada akomodasi minimum memenuhi:

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad \dots \dots \dots \quad (6.15)$$

Teropong Bumi

Teropong bumi adalah teropong yang digunakan untuk melihat benda-benda jauh di bumi. Supaya bayangan tegak maka teropong bumi dapat dirancang dari teropong bintang dengan menambahkan lensa pembalik. Perbesaran yang terjadi sama dengan persamaan 6.15 tetapi panjang teropongnya menjadi persamaan berikut. Lihat pembentukan bayangannya pada Gambar 6.16.

$$d = f_{ob} + f_{ok} + 4f_p \quad \dots \dots \dots \quad (6.16)$$

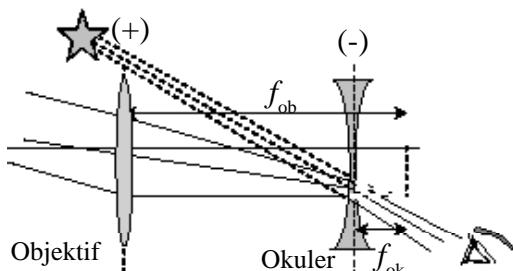


Gambar 6.16

Pembentukan bayangan oleh teropong bumi.

Teropong Panggung

Teropong panggung memiliki fungsi yang sama dengan teropong bumi. Tetapi untuk membalik bayangannya (supaya tegak) digunakan lensa negatif (cekung) pada lensa okuler. Perhatikan Gambar 6.17.



Gambar 6.17

Pembentukan bayangan oleh teropong panggung.

CONTOH 6.10

Sebuah teropong bintang memiliki perbesaran 40 kali saat digunakan dengan mata tak berakomodasi. Jika panjang teropong saat itu sebesar 20,5 cm maka tentukan titik fokus lensa objektif dan okuler!

Penyelesaian

$$M = 40 \times$$

$$d = 20,5 \text{ cm}$$

Pada saat tak berakomodasi minimum, perbesarannya memenuhi:

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

$$40 = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \text{ berarti } f_{ob} = 40 f_{ok}$$

Dan panjang teropong sebesar:

$$d = f_{ob} + f_{ok} = 20,5$$

$$40 f_{ob} + f_{ok} = 20,5$$

$$41 f_{ok} = 20,5$$

$$f_{ok} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{dan } f_{ob} = 40 f_{ok} = 40 \cdot 0,5 = 20 \text{ cm}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Teropong bintang memiliki lensa objektif dan okuler dengan titik api masing-masing 90 cm dan 10 cm jika digunakan mengamati bintang dengan tanpa akomodasi maka tentukan:

- perbesaran teropong,
- panjang teropong!



ATIHAN 6.4

- Cobalah kalian jelaskan apakah persamaan dan perbedaan dari teropong bintang, teropong bumi dan teropong panggung!
- Tentukan sifat-sifat bayangan akhir yang dibentuk oleh teropong bintang, teropong bumi dan teropong panggung!
- Sebuah teropong bintang memiliki fokus objektif 60 cm dan fokus okuler 1,5 cm. Jika digunakan mengamati benda jauh dengan tanpa akomodasi maka:
 - tentukan perbesaran teropong dan panjang tabung teropong!
 - Bila ditambah dengan lensa pembalik dengan fokus $f_p = 2 \text{ cm}$ maka tentukan perbesaran dan panjang teropong sekarang!
- Sebuah teropong bintang yang memiliki titik api objektif dan okuler masing-masing 100 cm dan 5 cm digunakan oleh mata normal dengan akomodasi maksimum. Berapakah jarak kedua lensa tersebut?
- Teropong dirancang dengan lensa objektif dan okuler digunakan lensa positif bertitik api 85 cm dan lensa negatif dengan jarak fokus 8 cm. Tentukan perbesaran dan jarak kedua lensa!

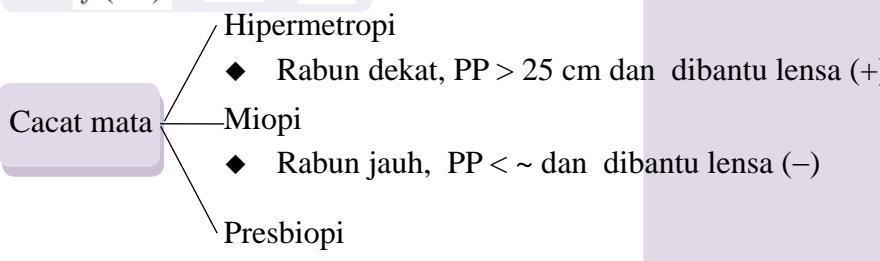
Rangkuman Bab 6

1. Cahaya dapat mengalami pemantulan pada cermin dan pembiasan pada lensa. Kedua peristiwa itu memiliki perumusan yang sama.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} \text{ dan } M = \frac{h'}{h} = \frac{S'}{S}$$

2. Kacamata adalah alat optik untuk membantu penglihatan. Daya kacamatasnya memenuhi:

$$P = \frac{100}{f(\text{cm})} = \frac{100}{S} + \frac{100}{S'}$$



3. Lup adalah alat optik untuk memperbesar benda-benda renik.

Akomodasi

Akomodasi maksimum $S' = -S_n$ dan $S_n = 25 \text{ cm}$
Perbesaran : $M = \frac{S_n}{f} + 1$

Akomodasi minimum $S' = \sim$ dan $S = f$
Perbesaran : $M = \frac{S_n}{f}$

4. Mikroskop adalah alat optik yang memiliki dua lensa (objektif dan okuler).

- Perbesaran : $M = M_{ob} \cdot M_{ok}$
- Jarak lensa : $d = S_{ob}' + S_{ok}$
- Lensa objektif seperti lensa biasa sedang lensa okuler seperti lup.

5. Teropong adalah alat optik untuk melihat benda-benda jauh.

- Perbesaran : $M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$
- Teropong bintang : $d = f_{ob} + f_{ok}$
- Teropong bumi : $d = f_{ob} + f_{ok} + 4f_p$
- Teropong panggung : $d = f_{ob} + (-f_{ok})$

Evaluasi Bab 6

1. Suatu nyala lilin digeser mendekati suatu cermin sehingga bayangan dapat ditangkap layar pada gambar.



- (1) Cermin tersebut adalah cermin cekung
 - (2) Jarak benda ke cermin lebih kecil dari jari-jari kelengkungan cermin
 - (3) Jarak bayangan lebih besar dari jari-jari kelengkungan cermin
 - (4) Jarak fokus cermin negatif
Yang benar adalah
- A. (1), (2) dan (3) D. (4)
B. (1) dan (3) E. semua
C. (2) dan (4)

(SPMB 2003)

2. Sebuah benda terletak pada jarak 5 cm di depan sebuah cermin cembung yang berjari-jari 20 cm. Sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin adalah

- A. nyata, tegak, diperkecil
- B. nyata, terbalik, diperbesar
- C. maya, tegak , diperbesar
- D. maya, tegak, diperkecil
- E. maya, terbalik, diperbesar

3. Di mana sebuah benda harus ditempatkan dari sebuah lensa dengan kekuatan + 2 dioptri supaya diperoleh bayangan tegak diperbesar? Benda harus diletakkan pada jarak

- A. kurang daripada 50 cm
- B. lebih daripada 50 cm tetapi kurang daripada 65 cm
- C. tepat pada 50 cm
- D. lebih daripada 50 cm tetapi kurang daripada 100 cm
- E. tepat pada 100 cm

4. Sebuah cermin cembung ditempatkan di tikungan jalan. Ketika terdapat benda yang jaraknya 2 m dari cermin, bayangan yang terbentuk $\frac{1}{16}$ kali tinggi benda. Jarak fokus cermin adalah

- A. $\frac{12}{7}$ m
- B. $\frac{2}{15}$ m
- C. $\frac{5}{8}$ m
- D. $\frac{15}{2}$ m
- E. $\frac{17}{2}$ m

5. Untuk mendapatkan bayangan yang terletak pada jarak 15 cm di belakang lensa positif yang jarak titik apinya 7,5 cm, maka benda harus diletakkan di depan lensa tersebut pada jarak

- A. 2,5 cm
- B. 7,5 cm
- C. 15 cm
- D. 22,5 cm
- E. 30,0 cm

6. Sebuah benda diletakkan di muka lensa cembung yang berjarak titik api 12 cm. Jika diperoleh bayangan tegak diperbesar 3 kali, benda terletak di muka lensa pada jarak (dalam cm)

- A. 6
- B. 8
- C. 12
- D. 16
- E. 18

7. Titik dekat mata seorang siswa terletak pada jarak 120 cm di depan mata. Untuk melihat dengan jelas suatu benda yang terletak 30 cm di depan mata, kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai berdaya (dalam dioptri)....

- A. -5
- B. -4,16
- C. -2,5
- D. 2,5
- E. 4,16

8. Pada saat membaca, jarak terdekat yang dapat dilihat seorang kakek rabun dekat adalah 40 cm. Kekuatan lensa kaca mata yang diperlukan adalah

- A. $\frac{3}{2}$ dioptri
- B. $\frac{2}{3}$ dioptri
- C. $\frac{4}{3}$ dioptri
- D. $\frac{3}{4}$ dioptri
- E. $\frac{1}{4}$ dioptri

9. Seorang rabun dekat, titik paling dekat yang dapat dilihat dengan jelas berjarak $\frac{2}{3}$ meter. Jika ingin melihat pada jarak baca normal (25 cm), maka harus memakai kacamata dengan jarak fokus

- A. 40 cm positif
- B. 40 cm negatif
- C. 25 cm positif
- D. 25 cm negatif
- E. 20 cm positif

10. Mata rabun dekat memiliki ciri-ciri:
 (1) Bayangan benda pada titik dekat normal berada di depan retina.
 (2) Titik dekatnya lebih dari 25 cm
 (3) Dapat ditolong dengan lensa bikonkav
 (4) Lensa mata tidak dapat berakomodasi sekuat-kuatnya pada titik dekat 25 cm.
 Yang benar adalah
 A. (1), (2) dan (3) D. (4)
 B. (1) dan (3) E. semua
 C. (2) dan (4)
11. Seorang hanya dapat melihat jelas paling jauh 200 cm di depan matanya. Agar ia dapat melihat benda yang jauh dengan jelas, maka ia harus memakai kacamata berkekuatan
 A. -20 dioptri D. -2 dioptri
 B. 20 dioptri E. -1/2 dioptri
 C. 2 dioptri
12. Pernyataan berikut ini yang benar mengenai cacat mata adalah
 A. pada mata miopi, bayangan jatuh di belakang retina
 B. pada mata hipermetropi, dapat melihat jelas benda jauh
 C. mata hipermetropi dapat melihat dengan jelas bila memakai kacamata negatif
 D. mata hipermetropi dapat membaca jelas pada jarak baca normal
 E. mata miopi dinormalkan dengan memakai kacamata positif
13. Sebuah lensa berjarak fokus 4 cm digunakan sebagai lup. Agar mata melihat tanpa berakomodasi, maka letak benda tersebut dari lup adalah
 A. 2 cm D. 6 cm
 B. 3 cm E. 8 cm
 C. 4 cm
14. Seseorang yang mempunyai titik dekat 25 cm ingin melihat sebuah benda dengan lup. Apabila orang tersebut saat berakomodasi maksimum menginginkan terjadinya perbesaran sebesar 6 kali, jarak focus lup yang harus digunakan ialah ... (dalam cm).
 A. 5 D. 20
 B. 10 E. 25
 C. 15
15. Sebuah loupe mempunyai jarak fokus 5 cm, dipakai melihat sebuah benda kecil yang berjarak 5 cm dari loupe. Perbesaran anguler loupe itu adalah
- A. 2 kali D. 5 kali
 B. 4 kali E. $6\frac{1}{4}$ kali
 C. $4\frac{1}{6}$ kali
16. Lensa objektif sebuah mikroskop membentuk bayangan sebuah benda, yang oleh lensa okuler lalu diperbesar. Sifat bayangan akhir oleh lensa-lensa tadi adalah....
 A. Nyata, tegak, diperbesar
 B. Maya, terbalik, diperbesar
 C. Nyata, terbalik, diperkecil
 D. Maya, tegak, diperbesar
 E. Maya, tegak, diperkecil
17. Jarak titik api objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 1,8 cm dan 6 cm. Pada pengamatan mikro-organisme dengan menggunakan mikroskop ini oleh mata normal tidak berakomodasi, jarak antara objektif dengan okuler 24 cm. Dalam hal ini mikroorganisme terletak di muka objektif sejauh (dalam cm)
 A. 1,9 D. 2,4
 B. 2,0 E. 2,5
 C. 2,2
18. Sebuah benda mikro berada 1 cm di muka lensa obyektif mikroskop. Jarak fokus lensa obyektif 0,9 cm. Mata pengamat di belakang lensa okuler melihat bayangan benda dengan perbesaran terhadap lensa okuler = 10 kali. Perbesaran mikroskop adalah
 A. 11,9 kali D. 110 kali
 B. 90 kali E. 190 kali
 C. 100 kali
19. Jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler sebuah mikroskop masing-masing 2 cm dan 5 cm, digunakan untuk mengamati benda kecil yang terletak 2,5 cm dari lensa objektif. Jika pengamat bermata normal berakomodasi maksimum, maka perbesaran yang dihasilkan mikroskop adalah
 A. 20 x D. 50 x
 B. 24 x E. 54 x
 C. 25 x
20. Sebuah teropong dipakai untuk melihat bintang yang menghasilkan perbesaran anguler 6 kali. Jarak lensa obyektif terhadap lensa okuler 35 cm. Teropong digunakan dengan mata tidak berakomodasi. Jarak fokus okulernya adalah
 A. 3,5 cm D. 10 cm
 B. 5 cm E. 30 cm
 C. 7 cm

BAB

7

KALOR SEBAGAI ENERGI



Sumber : penerbit cv adi perkasa

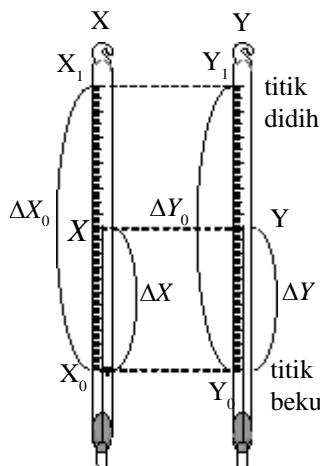
Perhatikan gambar di atas. Seseorang sedang memasak air dengan menggunakan kompor listrik. Kompor listrik itu mengubah energi listrik menjadi panas. Energi panas inilah yang dinamakan kalor. Apakah yang akan terjadi jika air itu terus dipanaskan? Bagaimanakah jika yang dipanaskan mulai dari air yang masih pada (es)? Bagaimanakah pengaruh kalor pada zat itu (air dari padat hingga berikutnya)? Bagaimanakah hubungan energi listriknya dengan kalor yang dihasilkan? Dan satu lagi pertanyaan yang dapat timbul: Bagaimana kalor itu bisa menembus wadahnya sehingga airnya juga menjadi panas?

Semua pertanyaan di atas itu dapat kalian pelajari pada bab ini, sehingga setelah belajar kalian diharapkan dapat:

1. menentukan hubungan skala termometer sebagai pengukur suhu,
2. menentukan pengaruh kalor pada benda,
3. menentukan keadaan benda (zat) jika diberikan kalor,
4. menerapkan azas Black dalam percampuran dua benda atau lebih,
5. menjelaskan perpindahan kalor.

A. Pengaruh Kalor pada Zat

1. Suhu dan Termometer



Gambar 7.1
Kesetaraan termometer

Untuk memahami konsep-konsep kalor, terlebih dahulu perlu belajar tentang suhu dan termometer. Sudah tahukah kalian tentang suhu dan termometer itu? Dalam kehidupan sehari-hari kalian sering mendengar tentang suhu misalnya pada musim panas kalian dapat mengetahui suhunya tinggi. Pada kejadian lain kalian dapat mendinginkan suatu ruangan dengan menurunkan suhu AC (pendingin) yang digunakan. Penggunaan kata-kata itu sudah tepat. Suhu merupakan ukuran panas dinginnya suatu benda. Sedangkan termometer adalah alat ukur suhu.

Kalian perlu mengetahui bahwa termometer telah banyak dirancang oleh ilmuwan diantaranya ada tiga skala termometer yang perlu kalian ketahui, yaitu termometer *Celcius*, *Reamur* dan *Fahrenheit*. Termometer-termometer itu dirancang dengan menggunakan sifat pemuaian suatu zat. Jika bahan yang digunakan sama maka pemuaian yang terjadi juga sama, tetapi karena skala yang digunakan berbeda akibatnya perlu penyesuaian. Dengan sifat pemuaian yang digunakan maka kesetaraan skala termometer dapat dilakukan dengan cara membandingkan. Perbandingan tiap skala akan sama. Perhatikan *Gambar 7.1*. Pada termometer X dan Y berlaku perbandingan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta X}{\Delta X_0} = \frac{\Delta Y}{\Delta Y_0} \quad \dots \dots \dots (7.1)$$

CONTOH 7.1

Termometer X dirancang dapat mengukur air membeku pada skala -40° dan air mendidih pada skala 160° . Jika suatu benda diukur termometer Celcius menunjukkan nilai $25^\circ C$ maka tentukan nilai yang ditunjuk saat diukur dengan termometer X!

Penyelesaian

Titik beku air $0^\circ C$ atau $-40^\circ X$

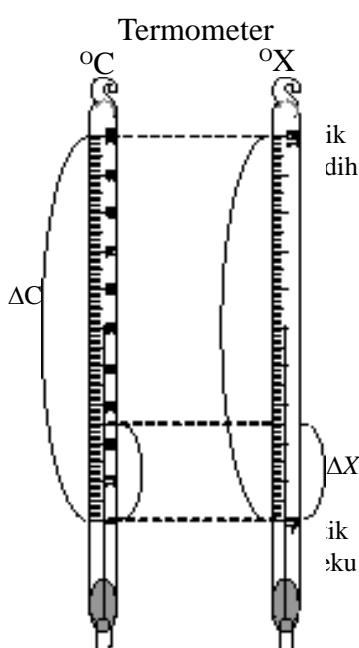
Titik didih air $100^\circ C$ atau $160^\circ X$

$$t_c = 25^\circ C \rightarrow t_x = ?$$

Perhatikan perbandingan skala pada *Gambar 7.2*. Dari gambar itu diperoleh perbandingan:

$$\frac{\Delta X}{\Delta X_0} = \frac{\Delta C}{\Delta C_0}$$

$$\frac{X - (-40)}{160 - (-40)} = \frac{25 - 0}{100 - 0}$$



Gambar 7.2
Kesetaraan termometer X dengan Celcius

$$\frac{X+40}{200} = \frac{25}{100}$$

$X + 40 \equiv 50$ berarti $X \equiv 10^\circ$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Termometer A dan B menunjukkan angka 20 dan -30 saat mengukur air membeku. Saat mengukur air mendidih masing-masing menunjuk 130 dan 220. Jika suatu benda dapat terukur suhunya sebesar 50° A maka berapakah penunjukannya saat diukur dengan termometer B?

Skala termometer yang perlu kalian ketahui ada empat yaitu skala *Celcius*, *Reamur*, *Fahrenheit* dan *Kelvin*. Tiga skala yang pertama ini memiliki titik beku air, titik didih air dan perbandingan terlihat seperti pada Gambar 7.3. Sedangkan hubungannya dengan skala Kelvin dapat menggunakan persamaan berikut.

Satuan suhu dengan skala Kelvin ini disebut juga suhu mutlak.

2. Kalor Pengubah Suhu Zat

Pernahkah kalian mengamati sebuah besi yang diberi kalor, misalnya dibakar? Tentu kalian sering mengamatinya. Besi tersebut akan menjadi lebih panas. Lebih panas ini berarti suhunya naik. Contoh ini membuktikan bahwa kalor dapat mengubah suhu zat. Pengaruh ini banyak penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya memasak air, memanasi besi untuk melubangi kayu atau karet dan memanaskan benda waktu pagi pada terik matahari.

Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat ini dipengaruhi oleh massa benda m, kenaikan suhu Δt dan jenis zat. Jenis zat diukur dengan besaran yang dinamakan kalor jenis dan disimbulkan c. Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap zat bermassa 1 gr untuk menaikkan suhu sebesar 1°C . Hubungan besaran-besaran ini dapat dituliskan sebagai berikut.

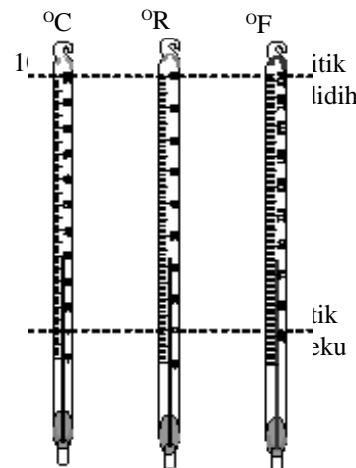
dengan : Q = Kalor yang diserap benda (kal)

m = massa benda (gr)

c = kalor jenis (kal/gr°C)

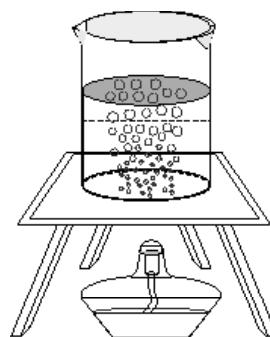
Δt = kenaikan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Perkalian massa dan kalor jenisnya disebut kapasitas kalor C dan dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 7.3

Perbandingan skala termometer



Gambar 7.4
Kalor dapat menaikkan suhu air

dengan : C = kapasitas kalor (kal/ $^{\circ}$ C)
 m = massa benda (gr)
 c = kalor jenis (kal/gr. $^{\circ}$ C)

CONTOH 7.2

Batang logam bermassa 2 kg memiliki suhu 25°C . Untuk menaikkan suhunya menjadi 75°C dibutuhkan kalor sebesar 5.10^4 kal. Jika suhunya dinaikkan menjadi 125°C maka berapakah kalor yang dibutuhkan?

Penyelesaian

$$\Delta t_1 = 75 - 25 = 50^\circ\text{C} \rightarrow Q_1 = 5 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

$$\Delta t_2 = 125 - 25 = 100^\circ\text{C} \rightarrow Q_2 = ?$$

Kalor jenis benda dapat ditentukan dari keadaan pertama.

$$\begin{aligned} Q_1 &= m c \Delta t_1 \\ 5 \cdot 10^4 &= 2000 \cdot c \cdot 50 \\ c &= 5 \text{ kcal/gr}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Berarti kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu Δt , sebesar:

$$Q_2 = m c \Delta t_2 \\ = 2000 \cdot 5 \cdot 100 = 10^5 \text{ kal}$$

Konsep kesebandingan

Kalor untuk menaikkan suhu sebanding dengan ke-naikan suhunya.

$$Q \sim \Delta t$$

berarti dapat diperoleh:

$$Q_2 = \frac{100}{50} \cdot 5 \cdot 10^4 = 10^5 \text{ kal}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Zat cair A bermassa 300 gr ingin dinaikkan suhunya sebesar 50°C dan zat cair B bermassa 200 gr ingin dinaikkan suhunya sebesar 25°C . Jika kedua zat cair itu sejenis maka berapakah perbandingan kalor yang dibutuhkan?

3. Kalor Pengubah Wujud Zat

Kalian pasti sudah mengetahui bahwa wujud zat ada tiga yaitu *padat*, *cair* dan *gas*. Pernahkah kalian melihat es yang mencair atau air yang sedang menguap? Ternyata perubahan wujud zat itu membutuhkan kalor. Banyaknya kalor untuk mengubah wujud 1 gr zat dinamakan *kalor laten*. Kalor laten ada dua jenis, pertama: *kalor lebur* untuk mengubah dari padat ke cair. Kalor lebur zat sama dengan kalor bekunya. Kedua: *kalor uap* yaitu kalor untuk mengubah dari cair menjadi gas. Kalor uap zat sama dengan kalor embun. Kalor laten ini disimbulkan L.

Dari penjelasan di atas maka dapat ditentukan kalor yang dibutuhkan zat bermassa m untuk mengubah wujudnya yaitu sebagai berikut:

dengan : Q = kalor (kal)

m = massa benda (gr)
 L = kalor laten (kal/g)

CONTOH 7.3

Di atas piring terdapat 100 gr es bersuhu 0°C . Kalor lebur es diketahui sebesar 80 kal/gr. Jika pada es tersebut diberikan kalor sebesar 6000 kal maka berapa persenkah es yang sudah melebur?

Penyelesaian

$$m_0 = 100 \text{ gr}$$

$$L^0 = 80 \text{ kal/gr}$$

$$Q = 6000 \text{ kal}$$

Massa es yang melebur dapat ditentukan sebagai berikut.

$$Q = m L$$

6000 = m . 80

m = 75 gr

Massa es yang melebur adalah 75 gr berarti prosentasenya sebesar:

$$\frac{m}{m_o} = \frac{75}{100} \times 100 \% = 75 \%$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Terdapat sejumlah es dalam suatu bejana. Kalor jenis es 80 kal/gr. Pada saat diberikan kalor 2000 kal ternyata dalam bejana itu terdapat es dan air dengan massa yang sama. Berapakah massa awal es tersebut?

Aktiflah

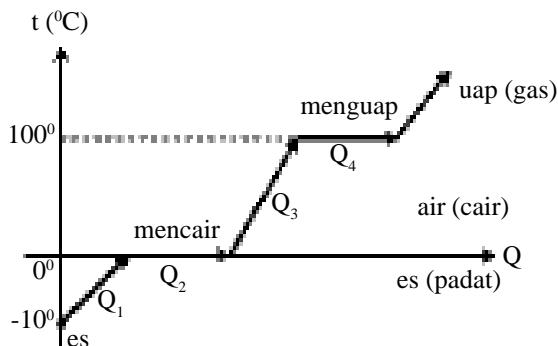
Setiap benda yang berubah suhunya maka wujudnya akan tetap. Sebaliknya saat wujudnya berubah suhunya pasti tetap. Coba kalian tentukan turun atau naiknya suhu es yang sedang mencair?

Penting

- ◆ Sesuai dengan kalor jenis, dalam sistem SI, kalor latent dapat didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk mengubah wujud 1kg zat.
 - ◆ Kalor jenis air:
 $1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C} = 4200 \text{ joule/kgK}$
 - ◆ Kalor lebur es:
 $80 \text{ kal/gr} = 3,36 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$

4. Perubahan suhu dan wujud benda

Baru saja kalian telah belajar bahwa kalor dapat merubah suhu atau wujud zat. Berarti jika suatu benda diberi kalor yang cukup dapat terjadi kedua perubahan itu. Perubahan benda ini dapat digambarkan dengan bantuan grafik $Q - t$. Contoh perubahan ini dapat digunakan perubahan air dari bentuk padat (es) hingga bentuk gas (uap). Grafik $Q - t$ nya dapat dilihat pada *Gambar 7.5*.



Gambar 7.5.

Grafik $Q - t$ perubahan pada air karena menyerap kalor

Pada *Gambar 7.5*, terlihat bahwa air dapat mengalami tiga kali perubahan suhu dan dua kali perubahan wujud. Pada saat mencair (Q_2) dan menguap (Q_4) membutuhkan kalor perubahan wujud $Q = m L$. Sedangkan kalor Q_1 , Q_3 dan Q_5 merupakan kalor perubahan suhu $Q = m c \Delta t$.

Untuk lebih memahami perubahan zat karena pengaruh kalor dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 7.4

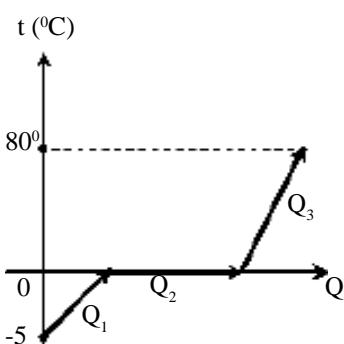
20 gr es bersuhu -5°C dan tekanan 1 atm diberi kalor hingga menjadi air bersuhu 80°C . Kalor jenis air 1 kal/gr $^{\circ}\text{C}$, kalor jenis es 0,5 kal/gr $^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es 80 kal/gr. Berapakah kalor yang diberikan pada es tersebut?

Penyelesaian

Pada tekanan 1 atm air mencair pada suhu 0°C dan menguap pada suhu 100°C . Berarti untuk menghitung kalornya dapat dibuatkan grafik $Q - t$ seperti pada *Gambar 7.6*.

Kalor yang dibutuhkan sebesar:

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
 &= m_s c \Delta t_s + m L + m_a c_a \Delta t_a \\
 &= 10 \cdot 0,5 \cdot (5^{\circ}) + 20 \cdot 80 + 20 \cdot 1 \cdot (80^{\circ}) \\
 &= 50 + 1600 + 1600 \\
 &= 3250 \text{ kal}
 \end{aligned}$$



Gambar 7.6

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada tekanan 1 atm terdapat 100 gr es bersuhu -2°C . Es tersebut dipanaskan hingga dingin diuapkan semua. Kalor jenis es = 0,5 kal/gr $^{\circ}\text{C}$, kalor jenis air 1 kal/gr $^{\circ}\text{C}$, kalor lebur es 80 kal/gr dan kalor uap air 9000 kal/gr. Berapakah kalor yang dibutuhkan?



ATIHAN 7.1

- Pada suatu termometer X, titik beku air adalah 50°X dan titik didihnya 200°X . Jika suatu benda bersuhu 75°C maka tentukan suhu benda tersebut dalam $^{\circ}\text{X}!$
 - Suhu benda yang diukur dengan termometer Fahrenheit menunjukkan nilai 122°F . Tentukan suhu benda tersebut dalam skala:
 - Celcius,
 - Reamor,
 - Kelvin!
 - Dua benda diberi kalor yang sama. Jika benda pertama memiliki kalor jenis lebih besar dari benda kedua maka benda manakah yang lebih cepat naik suhunya? Jelaskan mengapa kalian memilih jawaban tersebut!
 - Coba kalian jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kalor jenis suatu zat!
 - Benda bermassa 5kg yang memiliki suhu 30°C diberi kalor $3,5 \cdot 10^5\text{kal}$ sehingga suhunya menjadi 90°C . Jika diberi kalor lagi sebesar $1,75 \cdot 10^5\text{kal}$ berapakah suhunya sekarang?
 - Dua zat A dan B masing-masing bermassa 400gr dan 300gr. Jika kalor lebur zat A dua kali kalor lebur zat B maka berapakah perbandingan kalor yang dibutuhkan zat A dan zat B untuk melebur semua pada titik leburnya?
 - Es bermassa 200gr memiliki suhu -40°C . Kalor jenis es = 0,5 kal/gr $^{\circ}\text{C}$, kalor jenis air 1,0 kal/gr $^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es 80 kal/gr. Berapakah kalor yang dibutuhkan untuk meleburkan separo es tersebut?
 - Es bermassa 100gr bersuhu -10°C . Kalor jenis es = 0,5 kal/gr $^{\circ}\text{C}$, kalor jenis air 1,0 kal/gr $^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es 80 kal/gr. Berapakah suhu akhir es tersebut jika diberi kalor sebesar 10.000 kal!
 - Empat gram es yang berubah suhu dan wujudnya dari suhu -5°C hingga 80°C dapat digambarkan grafik Q-t seperti di bawah.
- $t (\text{ }^{\circ}\text{C})$

 $Q (\text{kal})$
- Kalor jenis air 1,0 kal/gr $^{\circ}\text{C}$. Dari grafik di atas tentukan:
- kalor lebur es,
 - besar Q!
- Kalian tentu sering melihat air yang menguap. Apakah suhu air tersebut harus 100°C ? Jika tidak, besaran-besaran apa saja yang mempengaruhi penguapan air?

B. Azas Black dan Kekekalan Energi

1. Azas Black

Pernahkah kalian mandi dan airnya kedinginan? Kemudian kalian mencampurkan air panas pada air mandi kalian. Begitu pula sebaliknya, pernahkah kalian membuat teh manis dan terlalu panas? Untuk mendinginkan kalian tambah es kedalam teh tersebut.

Kejadian-kejadian yang pernah kalian lakukan seperti di atas ternyata sangat sesuai dengan konsep fisika. Setiap dua benda atau lebih dengan suhu berbeda dicampurkan maka benda yang bersuhu lebih tinggi akan melepaskan kalornya, sedangkan benda yang bersuhu lebih rendah akan menyerap kalor hingga mencapai keseimbangan yaitu suhunya sama. Pelepasan dan penyerapan kalor ini besarnya harus imbang. Kalor yang dilepaskan sama dengan kalor yang diserap sehingga berlaku hukum kekekalan energi. Pada sistem tertutup, kekekalan energi panas (kalor) ini dapat dituliskan sebagai berikut.

Hubungan pada persamaan 7.6 di atas pertama kali dijelaskan oleh *Joseph Black*. Kemudian persamaan itu dikenal dengan *azas Black*.

CONTOH 7.5

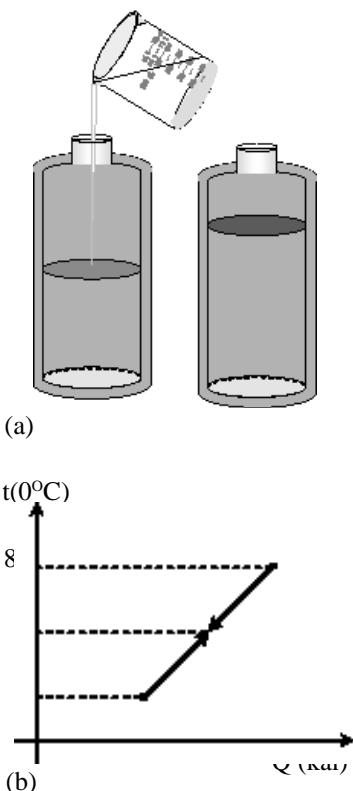
Botol termos berisi 230 gram kopi pada suhu 80°C . Kemudian ditambahkan susu sebanyak 20 gram ber-suhu 5°C . Jika tidak ada kalor pencampuran maupun kalor yang terserap botol termos dan kalor jenis kopi = susu = air = 1,00 $\text{kal/g}^{\circ}\text{C}$, maka berapakah suhu keseimbangan campuran?

Penyelesaian

$$\begin{aligned} t_K &= 80^{\circ}\text{C}, m_K = 250 \text{ gr} \\ t_s &= 5^{\circ}\text{C}, m_s = 20 \text{ gr} \\ c &= 1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Keadaan campuran kedua zat cair tersebut dapat dilihat seperti Gambar 7.7 dan untuk mempermudah perhitungan dapat digambar grafik Q - t seperti di samping. Dari grafik terlihat bahwa kopi akan lepas kalor dan susu akan menyerap kalor. Besarnya memenuhi:

$$\begin{aligned} m_s c_s \Delta t_s &= m_k c_k \Delta t_k \\ 20 \cdot 1 \cdot (t - 5) &= 230 \cdot 1 (80 - t) \\ 250 t &= 18400 + 100 \\ t &\equiv 74^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$



Gambar 7.7

- (a) percampuran kopi dan susu
 (b) Grafik Q - t

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Ke dalam sebuah bejana yang berisi air 4°C dicelupkan besi 2000 gram, suhu 90°C . Jika massa air 300 gram dan kalor jenis besi = $0,10 \text{ kal/gram}^{\circ}\text{C}$, maka tentukan suhu kesetimbangannya!

Percampuran dua benda atau lebih yang menggunakan azas Black dalam menganalisa sangat berkaitan dengan perubah suhu dan perubah wujud. Jika dalam proses percampuran terjadi perubahan wujud maka perlu perhatian yang khusus. Cermati contoh berikut untuk lebih memahaminya.

CONTOH 7.6

Dalam gelas berisi 200 cc air 40°C kemudian dimasukkan 40 gram es 0°C . Jika kapasitas kalor gelas $20 \text{ kal}/^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es adalah 80 kal/gr , maka berapakah suhu seimbangnya?

Penyelesaian

$$\begin{aligned}m_a &= 200 \text{ gr}, t_a = 40^{\circ}\text{C} \\C_g &= 20 \text{ kal}/^{\circ}\text{C}, t_g = t_a \\m_s &= 40 \text{ gr}, t_s = 0^{\circ}\text{C} \\L_s &= 80 \text{ kal/gr}\end{aligned}$$

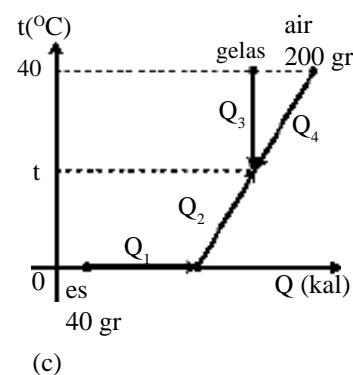
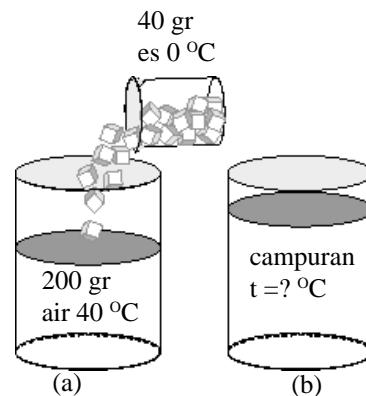
Dari massa dan suhu air dibandingkan dengan massa dan suhu es dapat diprediksi bahwa suhu akhir campuran akan melebihi 0°C , sehingga dapat digambarkan grafik Q - t seperti Gambar 7.8(c).

Pada proses tersebut berlaku azas Black sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Q_1 + Q_2 &= Q_3 + Q_4 \\m_s L_s + m_s C_a \Delta t_s &= C_g \Delta t_a + m_a C_a \Delta t_a \\40 \cdot 80 + 40 \cdot 1 \cdot (t - 0) &= 20(40 - t) + 200 \cdot 1 \cdot (40 - t) \\260 t &= 8800 - 3200 \\t &= 21,6^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

a gram es -10°C dicampur dengan b gram air ber-suhu 20°C . Jika suhu akhir yang dicapai 5°C , kalor lebur es 80 kal/g , kalor jenis es $0,5 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$, maka tentukan nilai perbandingan a/b!



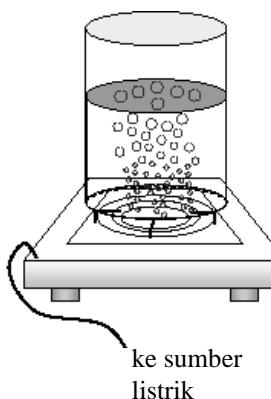
Gambar 7.8

2. Kekekalan Energi

Di SMP kalian sudah dikenalkan tentang kekekalan energi. Energi tidak dapat dimusnahkan dan tidak dapat diciptakan tetapi dapat berubah bentuk. Pernyataan ini merupakan *hukum kekekalan energi secara umum*.

Kalor merupakan salah satu bentuk energi berarti harus juga memenuhi kekekalan energi. Kalor dapat berubah menjadi bentuk lain misalnya listrik (PLTU). Begitu pula kalor dapat timbul dari energi lain misalnya cahaya dan listrik juga (strika listrik).

CONTOH 7.7



Gambar 7.9

Memanaskan air menggunakan energi listrik.

Sebuah kompor listrik yang dayanya 500 watt dan daya gunanya 40% digunakan untuk memanaskan 1 liter air yang suhu awalnya 20°C . Jika kalor jenis air adalah $4 \text{ J/g } ^{\circ}\text{C}$, maka berapakah suhu air setelah $\frac{1}{4}$ jam?

Penyelesaian

Pada pemanasan air dengan kompor listrik ini terjadi perubahan energi listrik menjadi kalor. Karena daya gunanya 40% maka dapat berlaku:

$$\begin{aligned} Q &= 40\% \text{ W} \\ m c \Delta t &= 0,4 \cdot P \cdot t \\ (1000) 4 \cdot \Delta t &= 0,4 \cdot 500 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot 3600 \right) \\ (t - 20) &= 45 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ berarti } t = 65 \text{ } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Elemen pemanas sebuah kompor listrik 110 V mempunyai hambatan 20Ω . Jika kompor ini digunakan untuk memanaskan 1 kg air bersuhu $20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ selama 7 menit dan dipasang pada tegangan 110 volt, maka tentukan suhu akhir air (kalor jenis air $1 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$)!



ATIHAN 7.2

1. Lima puluh gram es pada suhu $0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ dimasukkan ke dalam 200 gram air yang bersuhu $20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$. Jika kalor lebur es = 80 J/g dan kalor jenis air $1 \text{ J/g } ^{\circ}\text{C}$, maka berapakah suhu akhir campuran?
2. 320 gram campuran es dan air pada suhu $0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ berada dalam bejana yang kapasitas kalornya dapat diabaikan. Kemudian dimasukkan 79 gram uap air yang bersuhu $100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ke dalam bejana tersebut sehingga diperoleh suhu akhir menjadi $79 \text{ } ^{\circ}\text{C}$. Jika kalor lebur es $79,0 \text{ J/g}$ dan kalor penguapan air 540 J/g , maka hitung banyaknya air mula-mula!
3. Sebuah bejana yang massanya dapat diabaikan digunakan untuk mencampur a gram es bersuhu $-20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ dengan b air pada suhu $50 \text{ } ^{\circ}\text{C}$. Kalor jenis es = $0,5 \text{ J/g } ^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es = 80 J/g . Jika setelah diaduk ternyata semua es melebur, maka hitung perbandingan a dan b !
4. Sepotong tembaga dijatuhkan dari ketinggian 490 meter di atas lantai. Kalor yang terjadi pada proses tumbukan dengan lantai 60% -nya diserap oleh tembaga untuk menaikkan suhunya. Jika kalor jenis tembaga = $420 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$, percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 , maka berapakah kenaikan suhu tembaga?

C. Perpindahan Kalor

Apakah yang kalian rasakan saat berada di tengah lapangan jika ada terik matahari? Tentu akan merasakan panas. Panas yang kalian rasakan tersebut merupakan bukti adanya rambatan energi dari matahari menuju bumi (kalian). Bukti ini juga menunjukkan bahwa selain dapat berubah bentuknya, kalor juga dapat merambat atau berpindah.

Pada saat ini dikenal ada tiga jenis perpindahan energi yaitu *konduksi*, *konveksi* dan *radiasi*. Penjelasan ketiga jenis ini dapat kalian cermati sebagai berikut.

1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan kalor tanpa diikuti oleh mediumnya. Perpindahan energi secara konduksi ini banyak terjadi pada zat padat, sehingga didefinisikan juga konduksi adalah perpindahan kalor pada zat padat.

Cobalah masukkan sebuah sendok yang dingin kedalam air teh yang panas kemudian peganglah ujung sendok itu. Apa yang kalian rasakan? Tentu kalian akan merasakan perubahan pada ujung sendok, mula-mula dingin kemudian menjadi naik suhunya hingga menjadi panas. Kejadian inilah contoh dari proses konduksi.

Besarnya kalor yang dipindahkan secara konduksi tiap satu satuan waktu sebanding dengan luas penampang mediumnya, perbedaan suhunya dan berbanding terbalik dengan panjang mediumnya serta tergantung pada jenis mediumnya. Dari penjelasan ini dapat diperoleh perumusan sebagai berikut.



Gambar 7.10

Teh panas dapat merambatkan kalornya melalui sendok menuju ketangan dengan cara konduksi.

$$\frac{Q}{t} = k \frac{A}{\ell} \Delta T \quad \dots \dots \dots \quad (7.7)$$

dengan : \underline{Q} = kalor yang pindah tiap 1 detik (watt)

k = koefisien konduktifitas bahan

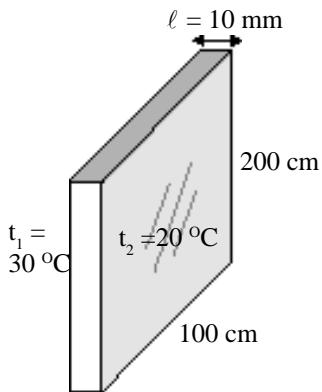
A = luas penampang (m^2)

ℓ = panjang bahan (m)

ΔT = perubahan suhu (K)

CONTOH 7.8

Sebuah jendela kaca, yang memiliki ukuran $200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ dan tebal 10 mm bersuhu 30°C pada permukaan luarnya. Jika suhu permukaan dalamnya sebesar 20°C dan koefisien konduksi kaca $10^{-5} \text{ kal/(msK)}$ maka berapakah jumlah kalor yang masuk tiap menit melalui jendela itu?



Gambar 7.11

Perpindahan kalor pada jendela

Penyelesaian

$$A = 200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 2.10^4 \text{ cm}^2 = 2 \text{ m}^2$$

$$\ell = 10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta T = 30 - 20 = 10 \text{ K}$$

$$k = 10^{-2} \text{ kal/msK}$$

$$t = 1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

Jumlah kalor yang masuk melalui jendela (konduksi) sebesar:

$$Q = \left(k \frac{A}{\ell} \cdot \Delta T \right) \cdot t$$

$$= \left(10^{-5} \cdot \frac{2}{10^{-2}} \cdot 10 \right) \cdot 60 = 1,2 \text{ kkal} = 300 \text{ } \rho \text{ kkal}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah jendela kaca suatu ruangan panjangnya 2 m lebarnya 1 m dan tebalnya 15 mm. Suhu di permukaan dalam dan permukaan luar kaca masing-masing 23°C dan 33°C . Jika konduksi termal = $8 \cdot 10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, maka berapakah jumlah kalor yang mengalir ke dalam ruangan melalui jendela itu tiap sekon?

2. Konveksi

Konveksi merupakan cara perpindahan kalor dengan diikuti oleh mediumnya. Pernahkah kalian merasakan ada angin yang panas. Angin dapat membawa kalor menuju kalian sehingga terasa lebih panas. Contoh lain adalah memasak air. Bagian air yang lebih dulu panas adalah bagian bawah, tetapi air yang lebih panas dapat bergerak keatas sehingga terlihat ada gelembung-gelembung yang bergerak. Dari contoh ini dapat menambah penilaian kita bahwa proses konveksi banyak terjadi pada medium gas dan cair.

Besarnya energi (kalor) yang dipindahkan memenuhi persamaan berikut.

dengan : $\frac{Q}{t}$ = kalor yang dipindahkan tiap detik (joule)

h = koefisien konveksi

A = luas penampang (m^2)

ΔT = perbedaan suhu (K)

CONTOH 7.9

Angin lembah terjadi saat suhu di lembah lebih kecil dibanding di puncak gunung. Jika pada suatu saat perbedaan suhunya ΔT maka angin lembah tersebut memindahkan energi per detik sebesar P . Pada saat beda suhunya $3\Delta T$ maka berapakah energi angin yang dirambatkan per detik?

Penyelesaian

Kalor yang dipindahkan pada konveksi sebanding dengan perbedaan suhunya : $P \sim \Delta T$ maka berlaku:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

$$P_2 = \frac{3T}{T} \cdot P = 3P$$

3. Radiasi

Contoh radiasi adalah panas matahari hingga ke bumi. Panas matahari hingga ke bumi tidak membutuhkan medium, perpindahan panas seperti ini dinamakan *radiasi*. Radiasi suatu benda dipengaruhi oleh suhu benda, sehingga setiap benda yang suhunya lebih tinggi dari sekelilingnya akan mengalami radiasi.

Dalam eksperimentnya Stefan Boltzman menemukan hubungan daya radiasi dengan suhunya, yaitu memenuhi persamaan berikut.

dengan : P = daya radiasi (watt)
 e = koefisien emisitas
 τ = konstanta Stefan Boltzman
 T = suhu mutlak (K)
 A = luas penampang (m^2)

CONTOH 7.9

Suatu benda hitam pada suhu 27°C memancarkan energi R J/s. Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi 327°C . Berapakah energi yang dipancarkan sekarang?

Penyelesaian

$$T_1 = 27^\circ\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$E = R J/s$$

$$T_c = 327 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 600 \text{ K}$$

Kalor yang dipancarkan benda hitam ($\epsilon=1$) memenuhi:

$$E = \sigma T^4 A \cdot t$$

◆ Untuk $T_1 = 300\text{ K}$:

$$E_1 = P \cdot t = \sigma T^4 A \cdot t$$

$$R = \sigma (300)^4 \cdot A \cdot 1$$

$$R = 81 \cdot 10^6 \cdot \sigma A$$

◆ Untuk $T_2 = 600\text{ K}$

$$E_2 = \sigma T^4 A \cdot t$$

$$= \sigma \cdot (600)^4 \cdot A \cdot 1$$

$$= 16 \cdot (81 \cdot 10^6 \sigma A) = 16 R$$

Konsep kesebandingan

Pada radiasi $E \sim T^4$ sehingga diperoleh:

$$\frac{E_2}{E_1} = \left[\frac{T_2}{T_1} \right]^4 \text{ berarti } E_2 = \left[\frac{600}{300} \right]^4 \cdot R = 16 R$$

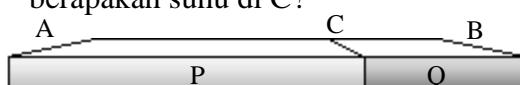
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda hitam sempurna mempunyai luas permukaan 1000 cm^2 dengan suhu 727°C . Jika konstanta Stefan – Boltzmanz = $5,5 \cdot 10^{-8}\text{ watt/m}^2\text{.K}^4$, maka berapakah besarnya energi yang dipancarkan selama 1 menit?



ATIHAN 7.3

1. Dua batang logam sejenis A dan B penampangnya berbanding 2:1, sedang panjangnya berbanding 4:3. Bila beda suhu ujung-ujung kedua batang sama, maka tentukan perbandingan jumlah rambatan kalor tiap satuan waktu pada A dan B!
2. Dua batang logam P dan Q disambungkan dengan suhu ujung-ujungnya berbeda (lihat gambar). Apabila koefisien konduktivitas logam P = $\frac{1}{2}$ kali koefisien konduktivitas logam Q, serta AC = 2 CB, maka berapakah suhu di C?
3. Lampu pijar dapat dianggap berbentuk bola. Jari-jari lampu pijar pertama adalah dua kali jari-jari lampu kedua. Suhu lampu pijar pertama dan kedua masing-masing 27°C dan 127°C . Hitung perbandingan daya lampu pertama dan daya lampu kedua!
4. Bola dengan jari-jari 2,5 cm yang berada dalam keadaan seimbang dengan kelilingnya, ternyata menyerap daya 61,44 watt dari lingkungannya. Bila tetapan Stefan-Boltzmans = $6 \cdot 10^{-8}\text{ watt/m}^2\text{.K}^4$, emisivitas $e = 1/\pi$, maka berapakah suhu bola itu?



Rangkuman Bab 7

1. Termometer adalah alat pengukur suhu jenisnya ada banyak. Hubungan antara jenisnya dapat ditentukan dari perbandingan skalanya.

$$\Delta x \sim \Delta y$$

2. Jika sebuah benda diberi sejumlah kalor maka ada dua kemungkinan perubahan yaitu:

merubah suhunya : $Q = m c \Delta t$

$$Q = C \Delta t$$

Kalor

merubah wujudnya : $Q = m L$

- Jika kalor yang diberikan cukup maka benda akan mengalami kedua perubahan tersebut tetapi saat suhunya berubah wujudnya akan tetap dan sebaliknya.

3. Azas Black

Jika ada dua benda atau lebih yang memiliki suhu berbeda dicampur maka akan terjadi perpindahan kalor dan berlaku:

$$Q_{\text{serap}} = Q_{\text{lepas}}$$

4. Kekekalan energi

Kalor termasuk jenis energi sehingga harus memenuhi kekekalan energi dan dapat berubah ke bentuk energi lain.

5. Perpindahan kalor ada tiga yaitu

- a. *Konduksi*: perpindahan kalor dengan diikuti zat perantara.

$$\frac{Q}{t} = k \frac{A}{e} \Delta t$$

- b. *Konveksi*: perpindahan kalor yang tidak diikuti zat perantaranya.

$$\frac{Q}{t} = h A \Delta t$$

- c. *Radiasi*: pancaran kalor (energi)

$$P = e \tau T^4 A$$

Evaluasi Bab 7

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Pada suatu termometer X dapat terukur, titik beku air 40°X dan titik didih air 240°X . Bila suatu benda diukur dengan termometer celcius bersuhu 50°C , maka bila diukur dengan menggunakan termometer X, suhunya sama dengan

A. 80°X	D. 140°X
B. 100°X	E. 160°X
C. 120°X	
2. Pada tekanan 1 atm, dua skala termometer menunjukkan data sebagai berikut

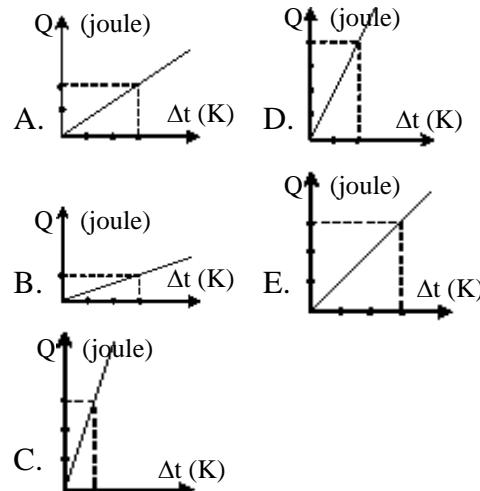
	$^{\circ}\text{F(fahrenheit)}$	$^{\circ}\text{X}$
Titik beku air	32°	-10°
Zat A	122°	40°

Jika kenaikan suhu dianggap linier, maka ketika air mendidih, temperatur X akan menunjukkan angka

- A. 70° D. 170°
- B. 90° E. 202°
- C. 110°
3. Untuk menaikkan suhu fluida 200 gr dari suhu 20°C menjadi 80°C dibutuhkan kalor sebesar 13200 kal. Kalor yang dibutuhkan oleh fluida tersebut dari suhu 40°C menjadi 70°C adalah

A. 4400 kal	D. 26400 kal
B. 6600 kal	E. 66000 kal
C. 13200 kal	

4. Dari kelima grafik hubungan kalor (Q) terhadap perubahan suhu (Δt) untuk 5 zat berikut ini, yang memiliki kapasitas terbesar diperlihatkan pada grafik

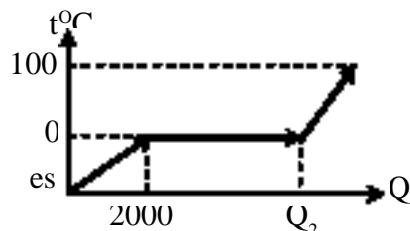


5. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda bergantung pada

A. massa benda, suhu awal, suhu akhir
B. massa benda dan jenis benda
C. jenis benda dan kenaikan suhu
D. massa benda, jenis benda dan kenaikan suhu
E. kenaikan suhu dan lama pemanasan
6. Zat padat A dan B bermassa sama berada pada titik leburnya. Untuk meleburkan zat A membutuhkan kalor 2500 joule sedangkan untuk meleburkan zat B membutuhkan 4500 joule. Perbandingan kalor lebur zat A dan B adalah

A. 5 : 9	D. 2 : 1
B. 1 : 2	E. 9 : 5B
C. 1 : 1	

7. Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara kenaikan suhu dan kalor yang diserap oleh 50 gram es. Kalor jenis es $0,5 \text{ kal.gr}^{-1}\text{.C}^{-1}$ dan kalor lebur es 80 kal.gr^{-1} , maka nilai Q_2 dalam tabel tersebut adalah



- A. 8000 kalori
B. 6000 kalori
C. 5000 kalori
D. 4000 kalori
E. 3000 kalori
8. Berapa kalori yang dibutuhkan untuk mengubah 10 gr es bersuhu -20°C menjadi uap bersuhu 120°C jika panas jenis air dan es $1 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$, panas jenis uap $5 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$, kalor lebur es 80 kal/gr dan kalor didih 600 kal/gr ?
A. 9000 kal D. 80 kkal
B. 8000 kal E. 85 kkal
C. 8500 kal
9. Dalam botol termos terdapat 230 gram kopi pada suhu 90°C . Ditambahkan susu sebanyak 20 gram bersuhu 5°C . Berapakah suhu campuran? (misalkan tidak ada kalor pencampuran maupun kalor yang terserap botol termos dan kalor jenis kopi = susu = air = $1,00 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$)
A. 5°C D. 83°C
B. 20°C E. 90°C
C. 47°C

(UMPTN, 1989)

10. Lima puluh gram es pada suhu 0°C dimasukkan ke dalam 200 gram air yang bersuhu 20°C . Jika kalor lebur es = 80 kal/g dan kalor jenis air $1 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$, suhu akhir campuran adalah
A. 0°C D. $3,3^\circ\text{C}$
B. $1,8^\circ\text{C}$ E. 5°C
C. 2°C

11. 320 gram campuran es dan air pada suhu 0°C berada dalam bejana yang kapasitas kalornya dapat diabaikan. Kemudian dimasukkan 79 gram uap air yang bersuhu 100°C kedalam bejana tersebut sehingga diperoleh suhu akhir menjadi 79°C . Jika kalor lebur es $79,0 \text{ kal/gram}$ dan kalor penguapan air 540 kal/gram , maka banyaknya air mula-mula adalah (gram)....
A. 4 D. 65
B. 10 E. 79
C. 35

(SPMB, 2002)

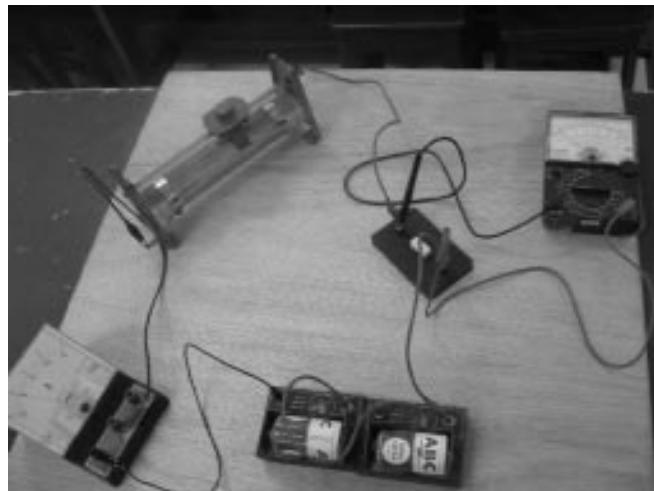
12. Sepotong es yang massanya 1 kg, suhunya -40°C dimasukkan ke dalam 2 liter air bersuhu 20°C . Jika diketahui kalor jenis es $0,5 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$ dan kalor lebur es = 80 kal/gr , maka dapat disimpulkan bahwa
A. es dapat cepat mencair semua dengan suhu akhir 0°C
B. 25% es mencair dan suhu akhir 0°C
C. temperatur akhir -20°C
D. 25% air membeku dan suhu akhir 0°C
E. suhu akhir 70°C

13. Ke dalam sebuah bejana yang berisi a gram air 30°C dimasukkan b gram es -2°C . Setelah isi bejana diaduk, ternyata semua es melebur. Bila massa bejana diabaikan, kalor jenis es $0,5 \text{ kJ/g}^\circ\text{C}$ dan kalor lebur es 80 kJ/g , maka besarnya perbandingan a dan b
- A. $27 : 10$ D. $3 : 8$
 B. $8 : 3$ E. $1 : 30$
 C. $10 : 27$
14. Sebuah benda bermassa 840 gram jatuh dari ketinggian 10 m. Jika seluruh energi potensial batang logam dapat diubah menjadi kalor (1 kalori = $4,2$ joule) maka energi kalor yang terjadi (dalam kalori) adalah
- A. 5 D. 20
 B. 10 E. 30
 C. 15
15. Elemen pemanas sebuah kompor listrik 110 V mempunyai hambatan 20Ω . Jika kompor ini digunakan untuk memanaskan 1 kg air bersuhu 20°C selama 7 menit dan dipasang pada tegangan 110 volt, maka suhu akhir air (kalor jenis air $1 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$)
- A. $23,7^\circ\text{C}$ D. $80,5^\circ\text{C}$
 B. $43,7^\circ\text{C}$ E. $94,0^\circ\text{C}$
 C. $60,5^\circ\text{C}$
16. Dua batang logam sejenis A dan B penampangnya berbanding $2:1$, sedang panjangnya berbanding $4:3$. Bila beda suhu ujung-ujung kedua batang sama, maka jumlah rambatan kalor tiap satuan waktu pada A dan B berbanding
- A. $2 : 3$ D. $3 : 8$
 B. $3 : 2$ E. $1 : 1$
 C. $8 : 3$
17. Sebuah jendela kaca, yang memiliki ukuran $200 \text{ cm} \times 150 \text{ cm}$ dan tebal 6 mm bersuhu 30°C pada permukaan luarnya. Jika suhu permukaan dalamnya sebesar 20°C dan koefisien konduksi kaca $\rho \text{ J/(m s K)}$ maka jumlah kalor yang masuk tiap menit melalui jendela itu adalah
- A. $5\rho \text{ kJ}$ D. $200\rho \text{ kJ}$
 B. $50\rho \text{ kJ}$ E. $300\rho \text{ kJ}$
 C. $100\rho \text{ kJ}$
18. Dua batang logam A dan B yang mempunyai ukuran sama disambung satu sama lain pada salah satu ujungnya. Jika suhu ujung bebas logam A dan ujung bebas logam B berturut-turut adalah 210°C dan 30°C serta koefisien konduksi kalor logam A = 2 kali koefisien konduksi kalor logam B, maka suhu pada sambungan tersebut adalah
- A. 160°C D. 100°C
 B. 150°C E. 80°C
 C. 120°C
19. Jumlah kalor yang dipancarkan oleh sebuah benda suhunya lebih besar dari 0 K , berbanding lurus dengan
- A. suhunya
 B. pangkat dua dari suhunya
 C. suhu sekelilingnya
 D. massa benda itu
 E. luas permukaan benda
20. Energi yang diradiasi per detik oleh benda hitung pada suhu T_1 besarnya 16 kali energi yang diradiasi pada detik pada suhu T_0 ; maka $T_1 = \dots$
- A. $2 T_0$ D. $4 T_0$
 B. $2,5 T_0$ E. $5 T_0$
 C. $3 T_0$

B A B

8

LISTRIK DINAMIS



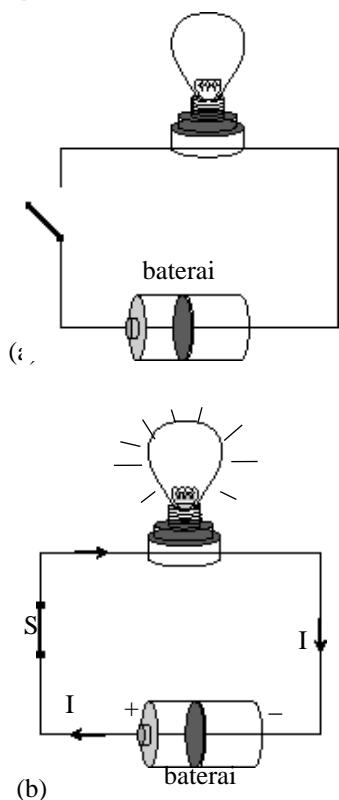
Sumber : penerbit cv adi perkasa

Kalian tentu tidak asing dengan bab ini, yaitu tentang listrik. Listrik sudah menjadi sumber energi banyak bidang. Di rumah, di sekolah, di kantor, di mol dan di jalan raya pun kalian banyak melihat pemanfaatan energi listrik dari PLN. Pernahkah kalian berfikir, bagaimana listrik bisa mengalir? Bagaimana rangkaian-rangkaian elektronika dapat bekerja? Sifat apakah yang digunakan? Bagaimanakah rangkaian listrik di rumah-rumah? dan Seberapa besar energi listrik yang terpakai? Serta data-data alat listrik apa saja yang perlu diperhatikan?

Semua pertanyaan di atas itulah yang dapat kalian pelajari pada bab ini, sehingga setelah belajar kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan hukum Ohm dalam rangkaian listrik sederhana,
2. membedakan sifat-sifat rangkaian hambatan seri dan paralel,
3. mengaplikasikan hukum Ohm dan sifat rangkaian dalam kehidupan sehari-hari,
4. menjelaskan energi dan daya listrik yang diserap oleh hambatan,
5. menggunakan data-data alat listrik dalam penyelesaian masalah sehari-hari.

A. Hukum Ohm dan Hambatan



Gambar 8.1
Rangkaian Listrik

1. Arus Listrik

Coba kalian perhatikan *Gambar 8.1*. Pernahkah kalian membuat rangkaian seperti itu? Ada baterai, lampu dan penghantar (kabel). Pada saat saklar S terbuka ternyata pada rangkaian tidak terjadi apa-apa. Tetapi pada saat saklar S tertutup ternyata lampu dapat menyala. Nyala lampu inilah bukti bahwa pada rangkaian itu ada *arus listrik*.

Arus listrik adalah aliran muatan-muatan listrik pada suatu rangkaian tertutup. Dari konversi yang ada arus listrik digunakan arah seperti aliran muatan positif (kebalikan aliran elektron). Dalam bahasa yang lain arus listrik dapat timbul karena ada beda potensial pada dua titik dan arahnya dari potensial tinggi ke potensial yang lebih rendah.

Besarnya arus listrik dinamakan *kuat arus listrik* dan *didefinisikan* sebagai *banyaknya muatan positif yang melalui suatu titik tiap satu satuan waktu*. Dari definisi ini, kuat arus listrik dapat di rumuskan sebagai berikut.

$$I = \frac{Q}{t} . \quad \dots \dots \dots (9.1)$$

dengan : I = kuat arus (A)

Q = jumlah muatan (C)

t = selang waktu (s)

Satuan kuat arus listrik adalah selang waktu ampere di singkat A, untuk mengenang jasa ilmuwan fisika bernama *Andre M. Ampere* (1775-1836). Dan kuat arus listrik ini dapat diukur dengan alat yang dinamakan *amperemeter*.

CONTOH 8.1

Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus yang melewati sebuah resistor ternyata menunjukkan nilai 1,5 A. Berapakah muatan yang mengalir melalui resistor tersebut dalam waktu setengah menit?

Penyelesaian

$$I = 1,5 \text{ A}, t = 0,5 \text{ menit} = 30 \text{ s}$$

Banyaknya muatan listrik memenuhi:

$$Q = I \cdot t = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ C}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada suatu titik dalam rangkaian listrik dapat mengalir muatan sebesar 150 C setiap satu menitnya. Berapakah kuat arus yang mengalir?

2. Hukum Ohm

Masih ingat dengan hukum Ohm? Sewaktu di SMP kalian telah belajar tentang hukum Ohm. Hukum ini mempelajari tentang hubungan kuat arus dengan beda potensial ujung-ujung hambatan.

George Simon Ohm (1787-1854), inilah nama lengkap ilmuwan yang pertama kali menjelaskan hubungan kuat arus dengan beda potensial ujung-ujung hambatan. Seperti penjelasan di depan, jika ada beda potensial antara dua titik dan dihubungkan melalui penghantar maka akan timbul arus listrik. Penghantar tersebut dapat diganti dengan resistor misalnya lampu. Berarti jika ujung-ujung lampu diberi beda potensial maka lampu itu dialiri arus. Perhatikan *Gambar 8.2*.

Dalam eksperimennya, Ohm menemukan bahwa setiap beda potensial ujung-ujung resistor R dinaikkan maka arus yang mengalir juga akan naik. Bila beda potensial diperbesar $2x$ ternyata kuat arusnya juga menjadi $2x$ semula. Apakah hubungan yang terjadi? Dari sifatnya itu dapat ditentukan bahwa beda potensialnya sebanding dengan kuat arus yang lewat. Hubungan ini dapat dirumuskan:

$$V \sim I$$

Hubungan V dan I yang diperoleh Ohm ini sesuai dengan grafik V-I yang diperoleh dari eksperimen, polanya seperti pada *Gambar 8.3*. Agar kesebandingan di atas sama, Ohm menggunakan konstanta perbandingannya sebesar R (resistivitas = hambatan), sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

Persamaan 8.2 inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum Ohm, dengan R = besar hambatan dan diberi satuan *Ohm* disimbulkan Ω .

Buktikan persamaan 8.2 dari hukum Ohm ini dengan melakukan kegiatan 8.3.

CONTOH 8.2

Pada ujung-ujung sebuah resistor diberi beda potensial 1,5 volt. Saat diukur kuat arusnya ternyata sebesar 0,2 A. Jika beda potensial ujung-ujung resistor diubah menjadi 4,5 volt maka berapakah kuat arus yang terukur?

Penyelesaian

V_b = 1,5 volt

$$I_1 = 0.2 \text{ A}$$

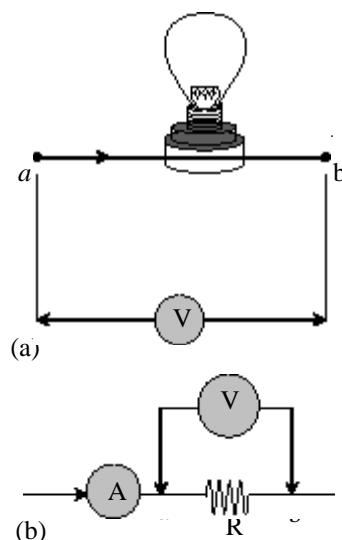
$V_2 = 4,5$ volt

Dari keadaan pertama dapat diperoleh nilai hambatan R sebesar:

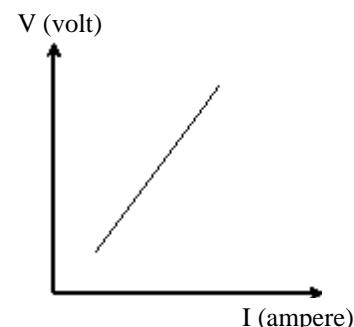
$$V \equiv L/R$$

$$V_1 = I_1 \cdot R$$

$$R = 75 \Omega$$



Gambar 8.2



Gambar 8.3

Grafik V - I dari hukum Ohm

Dari nilai R ini dapat ditentukan I_2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}V_2 &= I_2 \cdot R \\4,5 &= I_2 \cdot 7,5 \\I_2 &= 0,6 \text{ A}\end{aligned}$$

Konsep Keseimbangan

Dari hukum Ohm juga dijelaskan bahwa pada suatu hambatan berlaku:

$$V \sim I$$

Berarti berlaku:

$$\begin{aligned}\frac{I_2}{I_1} &= \frac{V_2}{V_1} \\I_2 &= \frac{4,5}{1,5} \cdot 0,2 = 0,6 \text{ A}\end{aligned}$$

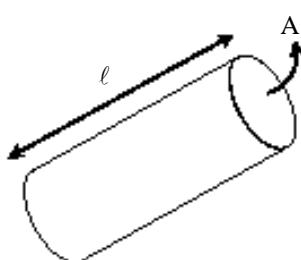
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah resistor dialiri arus sebesar 300 mA, kemudian ujung-ujung resistor diukur beda potensialnya dengan voltmeter dan hasilnya 2 volt. Berapakah beda potensial ujung-ujung resistor itu jika kuat arus yang mengalir menjadi 100 mA?

3. Hambatan Penghantar

Dari pendefinisian besaran R (hambatan) oleh Ohm itu dapat memotivasi para ilmuwan untuk mempelajari sifat-sifat resistif suatu bahan dan hasilnya adalah semua bahan di alam ini memiliki hambatan. Berdasarkan sifat resistivitasnya ini bahan dibagi menjadi tiga yaitu *konduktor*, *isolator* dan *semikonduktor*. Konduktor memiliki hambatan yang kecil sehingga daya hantar listriknya baik. Isolator memiliki hambatan cukup besar sehingga tidak dapat menghantarkan listrik. Sedangkan semikonduktor memiliki sifat diantaranya.

Dari sifat-sifat yang dimiliki, kemudian konduktor banyak digunakan sebagai penghantar. Bagaimana sifat hambatan penghantar itu? Melalui eksperimen, hambatan penghantar dipengaruhi oleh tiga besaran yaitu sebanding dengan panjangnya ℓ , berbanding terbalik dengan luas penampangnya A dan tergabung pada jenisnya ρ . Dari besaran-besaran ini dapat dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 8.4
Penghantar

$$\begin{aligned}R &\sim \ell \\R &\sim \frac{\ell}{A} \\R &\sim \rho\end{aligned} \quad \boxed{R = \rho \frac{\ell}{A}} \quad \dots \dots \dots \quad (8.3)$$

dengan : R = hambatan penghantar (Ω)

ℓ = panjang (m)

A = luas penampang penghantar (m^2)

ρ = hambatan jenis (Ωm)

CONTOH 8.3

Sebuah penghantar terbuat dari tembaga memiliki panjang 2 m dan luas penampang $1,5 \text{ mm}^2$. Hambatan penghantar itu sebesar 200Ω . Jika ada penghantar lain yang panjangnya 6 m dan luas penampang 3 mm^2 maka berapakah hambatan penghantar itu?

Penyelesaian

$$\ell_1 = 2 \text{ m}, A_1 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2, R_1 = 200 \Omega$$

$$\ell_2 = 6 \text{ m}, A_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2, R_2 = ?$$

Dari kawat pertama dapat dihitung hambat jenis penghantar sebagai berikut.

$$R_1 = \rho \frac{\ell_1}{A_1}$$

$$200 = \rho \cdot \frac{2}{1,5 \cdot 10^{-6}}$$

$$\rho = 1,5 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$$

Kawat kedua sejenis dengan kawat pertama berarti ρ sama sehingga hambatannya dapat diperoleh:

$$R_2 = \rho \frac{\ell_2}{A_2}$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{6}{3 \cdot 10^{-6}} = 300 \Omega$$

Konsep kesebandingan

Penghantar sejenis berarti berlaku hubungan :

$$R \sim \frac{\ell}{A}$$

Berarti dapat diperoleh:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \frac{A_1}{A_2} \rightarrow R_2 = \frac{6}{2} \cdot \frac{1,5}{3} \cdot 200 = 300 \Omega$$

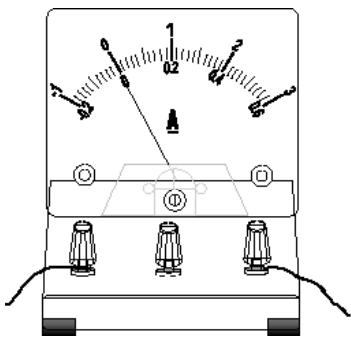
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Penghantar yang panjangnya 1,5 m dan diameternya 1,2 mm memiliki hambatan 150Ω . Berapakah hambatan dari penghantar sejenis yang panjangnya 6 m dan diameternya 0,6 mm?

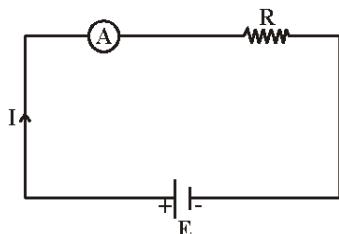
Tabel 8.1

Hambatan jenis beberapa konduktor.

Bahan	$\rho (\Omega m)$
Tembaga	$1,68 \cdot 10^{-8}$
Alumunium	$2,65 \cdot 10^{-8}$
Tung Sten	$5,60 \cdot 10^{-8}$
Seng	$9,71 \cdot 10^{-8}$
Air raksa	$48 \cdot 10^{-8}$

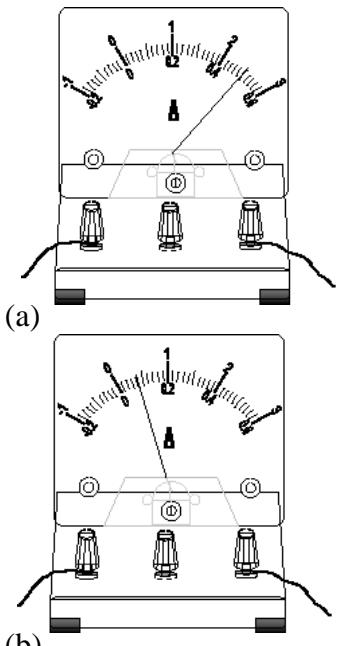


Gambar 8.5 Amperemeter



Gambar 8.6

Amperemeter di pasang seri dengan R



Gambar 8.7
Penunjukan amperemeter

4. Alat Ukur Listrik

Alat ukur listrik yang dibahas pada bab ini ada dua yaitu *amperemeter* dan *voltmeter*. Seperti penjelasan di depan, amperemeter dapat digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Sedangkan voltmeter adalah alat untuk mengukur beda potensial antara dua titik (tegangan listrik).

a. Amperemeter

Coba kalian perhatikan *Gambar 8.5*. Gambar itulah salah satu contoh dari amperemeter. Pada alat itu memiliki dua bagian utama yaitu skala pengukuran dengan jarum penunjuknya dan batas ukur. Pembacaan hasil pengukurannya disesuaikan dengan batas ukur yang digunakan. Misalnya seperti pada gambar itu, jika batas ukur yang digunakan 3A dan skala maksimumnya ada yang 3A maka hasil pengukurannya sama dengan nilai skala yang ditunjuk jarumnya. Tetapi jika batas ukur dan skala maksimumnya tidak sama maka menggunakan persamaan berikut.

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{a}}{b} \times \mathbf{c} \quad \dots \dots \dots \quad (8.4)$$

dengan : a = skala yang ditunjuk jarum

b = skala maksimum yang digunakan

c = batas ukur yang digunakan

Pengukuran kuat arus dengan amperemeter harus dipasang secara seri contohnya seperti pada *Gambar 8.6*.

CONTOH 8.3

Ulla dan Dedi sedang mengukur kuat arus listrik yang melewati sebuah hambatan. Penunjukan posisi batas ukur dan jarumnya terlihat seperti pada *Gambar 8.7(a)*. Berapakah kuat arus listrik yang terukur itu?

Penyelesaian

Dari Gambar 8.7(a) terlihat:

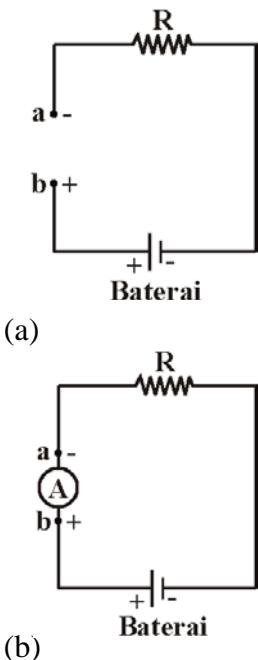
batas ukur : $c = 3 \text{ A}$

skala maksimum : b = 3

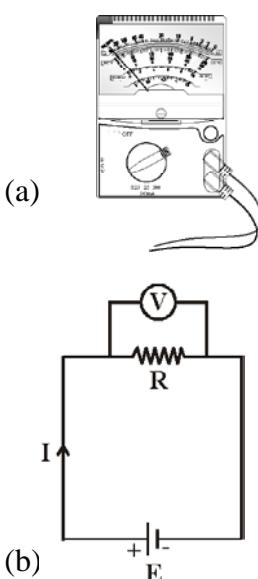
penunjuk jarum : $a = 2,5$

$$I = \frac{a}{b} \times c$$

$$= \frac{2,5}{3} \cdot 3 = 2,5 \text{ A}$$



Gambar 8.8



Gambar 8.9

Multitester dan pemasangannya untuk voltmeter

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Amperemeter yang digunakan untuk mengukur arus menunjukkan keadaan seperti Gambar 8.7(b). Berapakah kuat arus listrik yang diukur?

Kegiatan 8.1

Ampermeter

Tujuan : Mempelajari cara mengukur kuat arus dengan ampermeter.

Alat dan bahan : Resistor, baterai, ampermeter, dan kabel.

Kegiatan :

1. Buatlah rangkaian sederhana seperti pada gambar 8.8 (a).
2. Aturlah batas ukur Ampermeter yang sesuai (misalkan 0,6 A).
3. Pasanglah Ampermeter secara seri dengan R. Pada gambar 8.8, Ampermeter dapat dipasang pada titik a dan b.

Perhatikan kutub-kutubnya.

Tugas :

Bacalah penunjukan Ampermeter dengan menggunakan persamaan 8.4.

Buatlah simpulan.

b. Voltmeter

Tegangan listrik maupun kuat arus listrik dapat diukur dengan alat yang dinamakan *Multitester* seperti pada Gambar 8.9(a). Nama lainnya adalah AVO meter yaitu Ampere, Volt dan Ohm meter.

Mengukur tegangan listrik dengan voltmeter memiliki cara pembacaan yang sama dengan ampermeter. Berarti hasil pengukurannya dapat menggunakan persamaan 8.4.

Perbedaan yang perlu kalian perhatikan adalah cara merangkai alatnya. Jika ampermeter dipasang seri maka voltmeter harus kalian pasang secara pararel. Lihat Gambar 8.9(b).

CONTOH 8.4

Seorang siswa yang mengukur beda potensial ujung-ujung hambatan menggunakan voltmeter. Batas ukur yang digunakan 10 volt DC. Sedangkan posisi penunjuk jarumnya terlihat pada Gambar 8.10. Berapakah beda potensial yang diukur tersebut?

Penyelesaian

Dari *Gambar 8.10* terlihat:

penunjukan jarum: $a = 16$

skala maksimum: $b = 50$

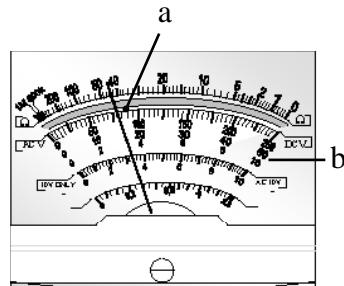
batas ukur: $c = 10$

Beda potensial yang terukur memenuhi:

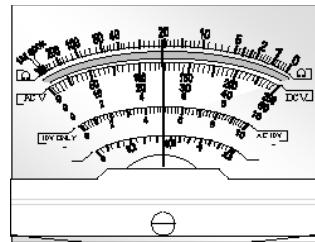
$$\begin{aligned} V &= \frac{a}{b} \cdot c \\ &= \frac{16}{50} \times 10 = 3,2 \text{ volt} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pengukuran beda potensial menggunakan batas ukur 50 dan posisi jarumnya dapat terlihat seperti *Gambar 8.11*. Berapakah beda potensial yang diukur?



Gambar 8.10
Penunjukan jarum voltmeter



Gambar 8.11

Kegiatan 8.2**Voltmeter**

Tujuan : Mempelajari cara mengukur tegangan dengan voltmeter.

Alat dan bahan : Resistor, baterai, voltmeter, dan kabel.

Kegiatan :

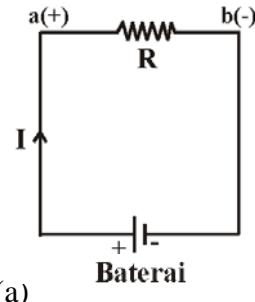
1. Buatlah rangkaian sederhana seperti pada *Gambar 8.12*. Gunakan beberapa baterai.
2. Aturlah batas ukur voltmeter yang sesuai (misalnya 2,5 volt atau 10 volt).
3. Pasanglah voltmeter secara paralel dengan R. Pada *Gambar 8.12 (a)*, voltmeter dapat dipasang pada titik a dan b.

Perhatikan kutub-kutubnya.

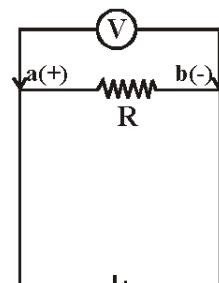
Tugas :

Bacalah penunjuk voltmeter dengan menggunakan persamaan 8.4.

Buatlah simpulan.



(a)

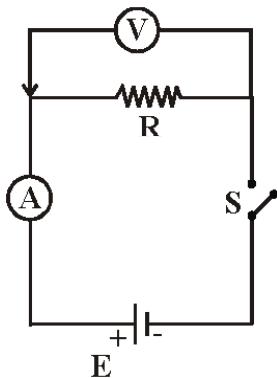


(b)

Gambar 8.12

Kegiatan 8.3

Hukum Ohm



Gambar 8.13

Tujuan : Membuktikan hukum Ohm dengan eksperimen.

Alat dan bahan : Resistor, baterai, voltmeter, ampermeter dan kabel.

Kegiatan :

1. Rangkailah alat-alat seperti gambar 8.13.
2. Aturlah batas ukur Ampermeter dan voltmeter yang sesuai. Kemudian hubungkan saklar S.
3. Amati penunjuk kuat arus dan tegangan ujung-ujung R melalui Ampermeter dan Voltmeter.
4. Ulangi langkah (2) dan (3) dengan mengubah jumlah baterai.

Tugas :

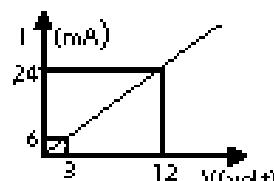
1. Tulislah data pada tabel yang berisi data tegangan ujung-ujung R (V) dan kuat arus (I).
2. Buatlah grafis hubungan V dengan I.
3. Buatlah simpulan.



ATIHAN 8.1

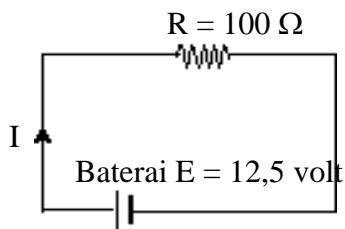
1. Kuat arus 2 ampere mengalir melalui penghantar yang ujung-ujungnya berbeda potensial 240 volt, maka berapakah besar muatan tiap menit yang mengalir melalui penghantar?
2. Sebuah lampu dilalui arus sebesar 0,8 ampere. Berapakah jumlah elektron (muatan listrik satu elektron = $1,6 \times 10^{-19}$ C) yang mengalir melalui lampu dalam satu jam?
3. Hubungan antara kuat arus (I) dan tegangan (V) pada ujung – ujung resistor diperlihatkan pada gambar di bawah. Tentukan:
 - a. besar hambatan resistor yang digunakan,

- b. beda potensial ujung – ujung resistor jika dilalui arus 48 A!



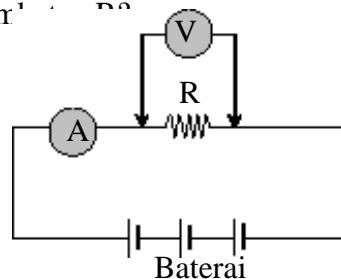
4. Sebuah resistor dihubungkan sumber tegangan yang berbeda potensial 9 volt. Kemudian diukur kuat arus listrik yang mengalir ternyata sebesar 200 mA. Berapakah kuat arus yang akan mengalir pada resistor jika sumber tegangannya diubah menjadi 27 volt?

5. Perhatikan rangkaian di bawah. Berapakah kuat arus yang mengalir pada hambatan $R = 100 \Omega$?

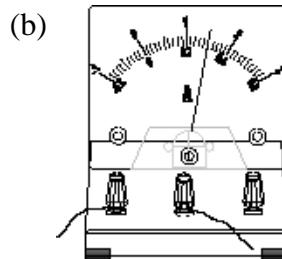
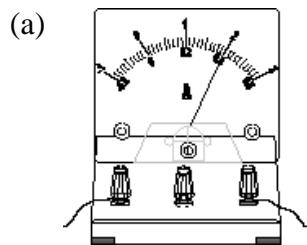


6. Kawat pertama panjangnya 5 m dan diameternya 10 mm memiliki hambatan 3Ω . Jika kawat tersebut panjangnya dijadikan dua kali semula dan diameternya dijadikan setengah dari semula, maka berapakah hambatan kawat sekarang?
7. Sebuah kawat panjangnya 4π meter, luas penampangnya $3,14 \text{ mm}^2$ dan kawat tersebut mempunyai hambatan jenis $2 \times 10^{-6} \text{ ohm meter}$. Hitunglah besar hambatan kawat!

8. Perhatikan gambar di bawah! Voltmeter menunjukkan 6 volt dan ampermeter menunjukkan 0,2 A. Berapakah besar hambatan R?



9. Andi mengukur kuat arus yang melalui sebuah resistor dengan ampermeter. Keadaan ampermeteranya dapat dilihat seperti di bawah. Tentukan kuat arus yang terukur!



B. Rangkaian Sederhana

Hukum Ohm pada persamaan 8.2 dapat diterapkan pada suatu rangkaian listrik tertutup. Rangkaian listrik tertutup dikatakan sederhana jika memenuhi syarat minimal rangkaian dan memiliki sumber tegangan pada satu loop saja. Syarat minimal rangkaian tertutup adalah ada sumber tegangan, hambatan dan penghantar. Contoh seperti pada *Gambar 8.14*.

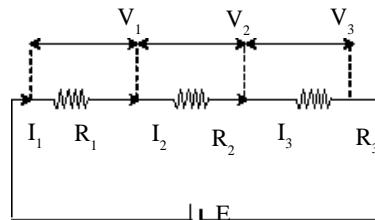
Pada rangkaian listrik sederhana akan memenuhi hukum Ohm seperti persamaan berikut.

$$E = I R \quad \dots \dots \dots \quad (8.5)$$

Rangkaian sederhana dapat dikembangkan dengan beberapa sumber tegangan dan beberapa hambatan. Rangkaian beberapa hambatan dan sumber tegangan ini dapat dibagi beberapa jenis diantaranya *seri*, *pararel* dan *campuran*. Penjelasan sifat-sifat rangkaian itu dapat dipahami seperti penjelasan berikut.

1. Rangkaian Hambatan Seri

Rangkaian seri berarti sambungan antara ujung komponen satu dengan pangkal komponen lain secara berurutan. Contoh rangkaian hambatan seri ini dapat kalian lihat pada *Gambar 8.15*.



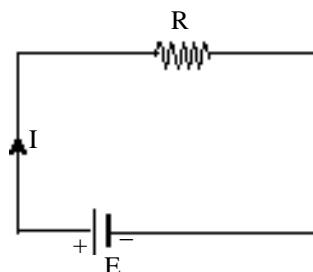
Apakah kalian sudah tahu sifat-sifat yang dimiliki rangkaian R seri? Sifat dasar yang harus kalian pahami adalah tentang kuat arusnya, beda potensial dan hambatan penggantinya.

Arus listrik adalah muatan listrik yang mengalir. Pada rangkaian hambatan seri, muatan-muatan itu akan mengalir melalui semua hambatannya secara bergantian. Berarti muatan yang melalui R_1 , R_2 dan R_3 akan sama dan kuat arusnya secara otomatis harus sama.

Karena I sama maka sesuai hukum Ohm dapat diketahui bahwa beda potensial ujung-ujung hambatan akan sebanding dengan besarnya R .

$$V \sim R$$

Bagaimana dengan sifat beda potensial tiap-tiap hambatan? Pada tiap-tiap hambatan memiliki beda potensial V_1 , V_2 dan V_3 . Karena sumbernya E maka jumlah $V_1 + V_2 + V_3$ haruslah sama dengan E . Sifat inilah yang dienal sebagai *pembagi tegangan*.



Gambar 8.14

Rangkaian tertutup mengalir arus listrik

Gambar 8.15

Rangkaian sederhana dengan R seri

Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan dua sifat rangkaian R seri sebagai berikut.

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I_3 \\ E &= V_1 + V_2 + V_3 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (8.6)$$

Beberapa hambatan yang diseri dapat diganti dengan satu hambatan. Besarnya hambatan itu dapat diturunkan dengan membagi persamaan beda potensial dengan kuat arus (I sama)

$$\begin{aligned} E &= V_1 + V_2 + V_3 \\ \frac{E}{I} &= \frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{I} + \frac{V_3}{I} \end{aligned}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \quad \dots \dots \dots \quad (8.7)$$

CONTOH 8.5

Tiga hambatan $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$ dan $R_3 = 50 \Omega$ dirangkai seri dan dihubungkan pada beda potensial 4,5 volt seperti pada Gambar 8.16. Tentukan (a) hambatan pengganti dan (b) beda potensial ujung-ujung hambatan R_2 !

Penyelesaian

- a. Hambatan pengganti seri memenuhi:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 = 20 + 30 + 50 = 100 \Omega$$

- b. Beda potensial ujung-ujung R_2 : V_2 dapat ditentukan dengan menghitung kuat arus terlebih dahulu:

$$I_2 = \frac{E}{R_s} = \frac{4,5}{100} = 0,045 \text{ A}$$

Dari nilai I_2 ini dapat dihitung beda potensial V_2 sebesar:

$$V_2 = I_2 \cdot R_2 = 0,045 \cdot 30 = 1,35 \text{ volt.}$$

Metode Kesebandingan

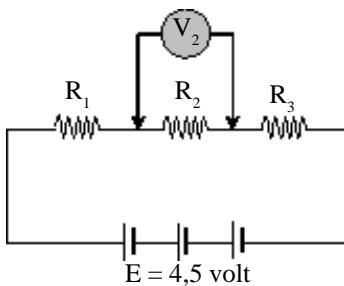
Pada rangkaian seri I sama berarti:

$$V \sim R$$

$$\frac{V_2}{E} = \frac{R_2}{R_s} \text{ berarti } V_2 = \frac{30}{100} \times 4,5 = 1,35 \text{ volt}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Diketahui tiga resistor yang dirangkai seri dengan hambatan sebesar $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$ dan $R_3 = 300 \Omega$. Ujung-ujung rangkaian itu dihubungkan pada sumber tegangannya 120 volt. Tentukan (a) beda potensial ujung-ujung R_1 dan (b) beda potensial ujung-ujung R_2 !



Gambar 8.16

2. Rangkaian Hambatan Paralel

Kalian sudah belajar rangkaian hambatan seri sekarang bagaimana dengan jenis rangkaian kedua, yaitu rangkaian hambatan paralel? Apa bedanya? Hambatan yang dirangkai paralel berarti ujungnya dihubungkan menjadi satu dan pangkalnya juga menyatu. Contoh rangkaianya seperti pada *Gambar 8.17*.

Pada *Gambar 8.17* terlihat bahwa semua ujungnya dititik yang sama yaitu *a* dan *b*. Jika diukur beda potensialnya tentunya akan memiliki hasil yang sama.

Bagaimana dengan sifat kuat arus yang lewat ke semua cabang? Aliran muatan dapat diibaratkan dengan aliran air dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah. Jika ada percabangan pada suatu titik maka aliran air itu akan terbagi. Besar aliran itu akan disesuaikan dengan hambatan yang ada pada setiap cabang. Yang terpenting pada pembagian itu adalah jumlah air yang terbagi harus sama dengan jumlah bagian-bagiannya. Sifat aliran air ini dapat menjelaskan bahwa kuat arus yang terbagi pada percabangan I harus sama dengan jumlah kuat arus setiap cabang ($I_1 + I_2 + I_3$). Sesuai hukum Ohm maka kuat arus setiap cabang berbanding terbalik dengan hambatannya.

$$I \sim \frac{1}{R}$$

Dari penjelasan di atas dapat dituliskan dua sifat utama pada rangkaian hambatan paralel pada *Gambar 8.14*, seperti berikut.

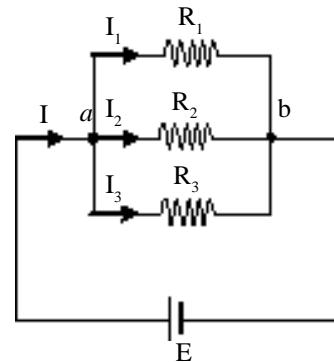
$$E = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \dots \dots \dots (8.8)$$

Sesuai dengan hambatan seri, pada beberapa hambatan yang di rangkai paralel juga dapat diganti dengan satu hambatan. Hambatan itu dapat di tentukan dari membagi persamaan kuat arus dengan besar potensial pada kedua massa seperti berikut.

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + I_3 \\ \frac{I}{E} &= \frac{I_1}{V_1} + \frac{I_2}{V_2} + \frac{I_3}{V_3} \end{aligned}$$

$$\frac{I}{R_p} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3} \quad \dots \dots \dots (8.9)$$



Gambar 8.17
Rangkaian hambatan paralel

CONTOH 8.6

Perhatikan rangkaian hambatan paralel pada *Gambar 8.18*. Tentukan:

- kuat arus yang melalui hambatan R_2 dan R_3 ,

- b. kuat arus I_1 ,
c. beda potensial V_{ab} !

Penyelesaian

- a. $I_1 = 2\text{ A}$

Pada rangkaian hambatan paralel beda potensialnya sama berarti berlaku hubungan berikut.

$$\begin{aligned}V_2 &= V_1 \\I_2 \cdot R_2 &= I_1 \cdot R_1 \\I_2 \cdot 60 &= 2 \cdot 120 \\I_2 &= 4\text{ A}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan kuat arus I_3 .

$$\begin{aligned}V_3 &= V_1 \\I_3 \cdot R_3 &= I_1 \cdot R_1 \\I_3 \cdot 20 &= 2 \cdot 120 \\I_3 &= 12\text{ A}\end{aligned}$$

Metode Kesebandingan

- a. Pada rangkaian paralel berlaku:

$$I \sim \frac{1}{R}$$

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{120} : \frac{1}{60} : \frac{1}{20} = 1 : 2 : 6$$

$$\text{Berarti } I_2 = \frac{2}{1} \cdot I_1 = 4\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{6}{1} \cdot I_1 = 12\text{ A}$$

- b. Kuat arus I dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}I &= I_1 + I_2 + I_3 \\&= 2 + 4 + 12 = 18\text{ A}\end{aligned}$$

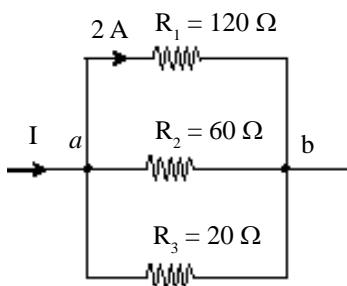
- c. Beda potensial V_{ab} memenuhi:

$$V_{ab} = I_1 \cdot R_1 = 2 \cdot 120 = 240\text{ volt}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Tiga buah hambatan $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 3\Omega$ dan $R_3 = 2\Omega$ dirangkai paralel. Kemudian ujung-ujungnya dihubungkan sumber tegangan sehingga pada R_1 dilalui arus 0,5 A. Tentukan:

- a. kuat arus yang melalui R_2 dan R_3 ,
b. beda potensial sumber tegangan!



Gambar 8.18

3. Rangkaian Campuran

Rangkaian campuran menunjukkan gabungan dari rangkaian hambatan seri dan paralel. Sifat-sifat rangkaian ini adalah gabungan dari keadaan sifat rangkaian tersebut. Untuk lebih memahaminya cermati contoh berikut.

CONTOH 8.7

Beberapa hambatan dirangkai seperti pada Gambar 8.19. Jika ujung-ujung AB dihubungkan pada beda potensial 30 volt maka tentukan:

- hambatan pengganti AD,
- beda potensial V_{BC} ,
- kuat arus yang melalui 2Ω !

Penyelesaian

- Rangkaian pada Gambar 8.19 adalah campuran maka penyelesaiannya dapat bertahap dengan melihat dan menyelesaikan bagian-bagian yang dapat ditentukan seri atau parallelnya.

Pertama: dapat ditentukan R_{S1} sehingga rangkaian menjadi seperti Gambar 8.20(a).

$$R_{S1} = 4\Omega + 6\Omega + 2\Omega = 12\Omega$$

Kedua: R_{S1} dan 6Ω tersusun paralel berarti diperoleh $R_{BC} = R_p$ dan susunan menjadi Gambar 8.20(b).

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_p} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{R_{S1}} \\ &= \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4} \\ R_{BC} &= R_p = 4\Omega\end{aligned}$$

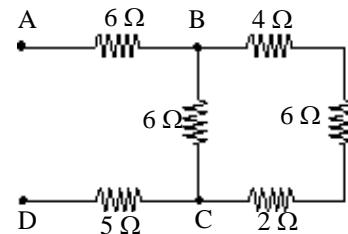
Ketiga: R_p , 6Ω dan 5Ω tersusun seri berarti R_{total} memenuhi:

$$\begin{aligned}R_{tot} &= R_p + 6 + 5 \\ &= 4 + 6 + 5 = 15\Omega\end{aligned}$$

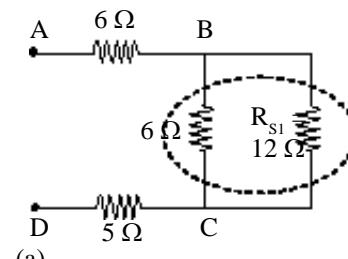
- Dari nilai R_{tot} dapat ditentukan kuat arus yang lewat rangkaian, yaitu memenuhi:

$$I = \frac{V_{ab}}{R_{tot}} = \frac{30}{15} = 2\text{ A}$$

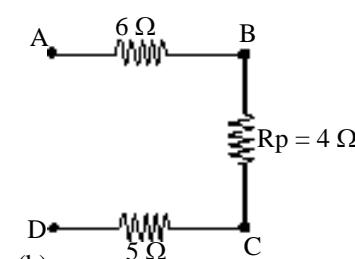
Sehingga beda potensial V_{BC} dapat diperoleh sebesar: $V_{BC} = I \cdot R_{BC}$



Gambar 8.19

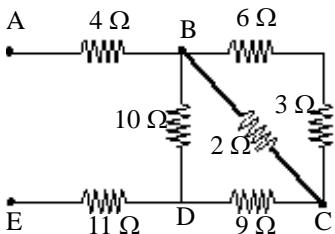


(a)



(b)

Gambar 8.20



Gambar 8.21

$$= 2 \cdot 4 = 8 \text{ volt}$$

- c. Kuat arus yang melewati hambatan 2Ω sama dengan yang melewati hambatan R_{S1} berarti dapat ditentukan sebagai berikut.

$$I_{2\Omega} = \frac{\frac{V_{BC}}{R_{S1}}}{\frac{8}{12}} = 0,75 \text{ A}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Rangkaian hambatan terlihat seperti pada *Gambar 8.21*. Jika ujung-ujung AE dihubungkan pada beda potensial 10 volt maka tentukan:

- hambatan pengganti AE,
- beda potensial V_{BC} dan V_{BD} ,
- kuat arus yang melalui hambatan 3Ω dan 10Ω !

4. Penerapan Rangkaian Sederhana

a. Perbesaran batas ukur Voltmeter dan Amperemeter

Kalian sudah mempelajari penggunaan voltmeter dan amperemeter. Pada alat itu ada batas ukurnya dan jumlahnya lebih dari satu. Batas ukur itu bisa diperbesar dengan menggunakan sifat-sifat rangkaian hambatan seri dan paralel.

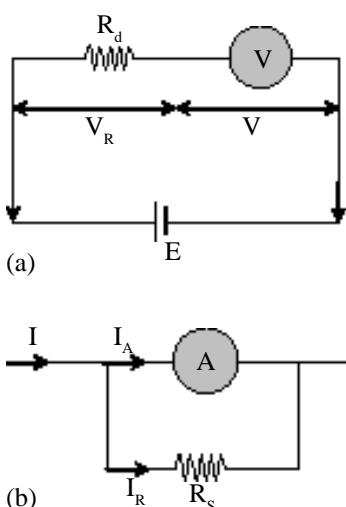
Rangkaian hambatan seri dapat membagi tegangan, sifat ini dapat digunakan untuk memperbesar batas ukur voltmeter. Perhatikan *Gambar 8.22(a)*, sebuah voltmeter mampu mengukur tegangan sebesar V . Jika voltmeter itu dirangkai seri dengan R_d maka voltmeter mampu mengukur tegangan sebesar E . Tentunya $E > V$ karena E telah terbagi menjadi $V + V_R$.

Bagaimana dengan rangkaian hambatan paralel? Rangkaian hambatan paralel dapat membagi arus, sifat inilah yang bisa digunakan untuk meningkatkan batas ukur amperemeter. Perhatikan *Gambar 8.22(b)*. Pada gambar ini terlihat arus I yang akan diukur dapat dibagi menjadi $I_A + I_R$. Karena terbagi maka berlaku $I > I_A$. Fakta ini menjelaskan bahwa amperemeter mampu mengukur lebih besar.

CONTOH 8.8

Sebuah galvanometer memiliki hambatan 20Ω dan hanya mampu dialiri arus sebesar $0,2 \text{ A}$. Alat ini akan digunakan menjadi alat ukur amperemeter dan voltmeter.

- Bagaimana cara agar galvanometer dapat menjadi voltmeter dengan batas ukur 100 volt?
- Bagaimana caranya agar galvanometer dapat menjadi amperemeter dengan batas ukur 10 A?



Gambar 8.22

Perbesaran batas ukur (a) voltmeter dan (b) amperemeter.

Penyelesaian

$$r_G = 20 \Omega$$

$$I_G = 0,2 \text{ A}$$

a. Voltmeter

Untuk menjadi voltmeter dan batas ukurnya bertambah maka galvanometer harus dirangkai seri dengan hambatan (membagi tegangan). Perhatikan Gambar 8.23. Dari rangkaian itu dapat ditentukan nilai R_d (hambatan depan) dengan sifat berikut.

$$E = V_R + V_G$$

$$E = I_G R_d + I_G \cdot r_G$$

$$\begin{aligned} 100 &= 0,2 R_d + 0,2 \cdot 20 \\ 96 & \\ R_d &= \frac{96}{0,2} = 480 \Omega \end{aligned}$$

Jadi caranya: dipasang hambatan sebesar 480Ω secara seri dengan galvanometer.

b. Amperemeter

Untuk menjadi amperemeter dan batas ukurnya bertambah maka galvanometer harus dirangkai paralel dengan hambatan (membagi arus). Perhatikan Gambar 8.24. Dari rangkaian itu dapat ditentukan nilai R_s (hambatan Shunt) dengan sifat berikut.

$$\begin{aligned} I &= I_G + I_R \\ 10 &= 0,2 + I_R \quad \text{berarti } I_R = 9,8 \text{ A} \end{aligned}$$

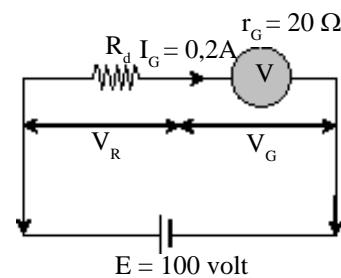
Dan beda potensial ab memenuhi:

$$\begin{aligned} V_{ab} &= I_R R_s = I_G \cdot r_G \\ 9,8 \cdot R_s &= 0,2 \cdot 20 \\ R_s &= \frac{4}{9,8} = 0,408 \Omega \end{aligned}$$

Jadi caranya: dipasang hambatan sebesar $0,408 \Omega$ secara paralel terhadap galvanometer.

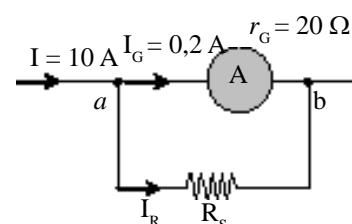
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Sebuah amperemeter memiliki hambatan dalam $0,015 \Omega$ hanya mampu mengukur arus maksimum $0,4 \text{ A}$. Bagaimana caranya agar amperemeter itu mampu mengukur kuat arus 20 A ?
2. Galvanometer yang memiliki hambatan dalam $1,2 \Omega$ dan mampu mengukur beda potensial hingga $0,4 \text{ volt}$. Bagaimana caranya agar galvanometer itu dapat dijadikan voltmeter dan memiliki batas ukur 200 volt ?



Gambar 8.23

Perbesaran voltmeter



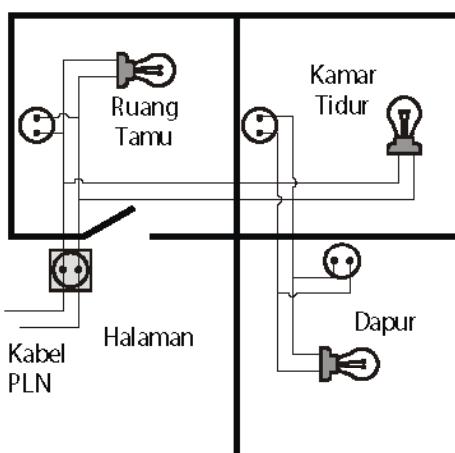
Gambar 8.24

Perbesaran amperemeter

b. Rangkaian alat-alat listrik di rumah

Setiap ada rangkaian listrik kalian mungkin mengingat listrik yang ada di rumah kalian. Sumber energi listrik di rumah berasal dari PLN. Kemudian dari sumber PLN itu disalurkan ke rumah-rumah dan dapat disambungkan di berbagai alat listrik, misalnya lemari es, lampu, televisi dan kipas angin. Bagaimana rangkaian yang harus dibuat untuk alat-alat listrik sebanyak itu?

Alat-alat listrik di rumah biasanya telah memiliki data tegangan yang dibutuhkan misalnya 220 volt. Karena kebutuhan beda potensial alat sama maka harus dipilih rangkaian yang memiliki beda potensial sama yaitu paralel. Contoh cara merangkai alat-alat listrik di rumah ini dapat kalian lihat seperti pada *Gambar 8.25*. Sebuah rumah memiliki tiga ruang. Tiap ruang ada satu lampu satu stop kontak.



Gambar 8.25

Contoh rangkaian listrik di rumah

Kegiatan 8.4

Merancang Instalasi Listrik Rumah

Coba kalian rancang rangkaian alat-alat listrik di sebuah rumah.

Rumah tersebut memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

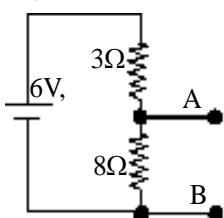
1. Memiliki 4 ruang : Ruang tamu, dua kamar tidur dan dapur.
2. Setiap ruang ada satu lampu dan satu stop kontak.
3. Di ruang tamu dipasang kipas angin dan televisi.
4. Di dapur dipasang lemari es.

Cobalah kembangkan imajinasi kalian!

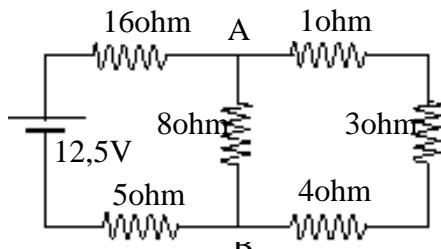


ATIHAN 8.2

1. Tentukan tahanan yang paling besar dan yang paling kecil yang dapat diperoleh oleh kombinasi 4 buah tahanan yang masing-masing besarnya 10 ohm, 20 ohm, 25 ohm dan 50 ohm!
2. Dua hambatan yang dipasang seri dihubungkan pada baterai seperti gambar. Berapakah beda potensial titik A dan B?



3. Perhatikan rangkaian di bawah.

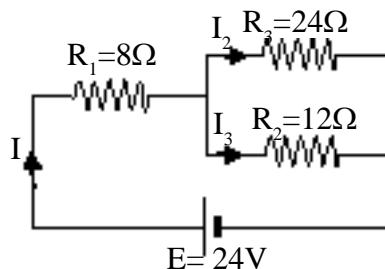


- a. Hitunglah hambatan total rangkaian!

- b. Berapakah beda potensial ujung-ujung AB?

- c. Berapakah beda potensial pada hambatan 4 ohm?

4. Rangkaian listrik dapat dilihat seperti di bawah. Tentukan kuat arus I , I_2 dan I_3 !



5. Sebuah galvanometer berhambatan dalam 18 ohm mempunyai batas ukur 1,8 volt.

- a. Bagaimanakah caranya agar dapat dijadikan sebagai voltmeter yang mampu mengukur tegangan 100 volt?

- b. Bagaimana pula caranya agar galvanometer dapat digunakan sebagai ampermeter yang dapat mengukur kuat arus maksimum 5 A?

C. Energi dan Daya Listrik

1. Definisi

Energi Listrik

Jika kalian membahas tentang listrik maka tidak bisa lepas dari sumber arus. Misalnya baterai, akumulator atau generator (PLN). Sumber arus itu sering juga disebut sumber tegangan dan sebenarnya merupakan sumber energi. Energinya adalah energi listrik. Energi listrik adalah energi yang mampu menggerakkan muatan-muatan listrik pada suatu beda potensial tertentu.

Masih ingat sewaktu di SMP? Energi untuk memindahkan muatan sebesar Q dari satu titik ke titik lain yang berbeda potensial V memenuhi hubungan berikut.

$$\mathbf{W} = \mathbf{Q}^\top \mathbf{V}$$

Pada persamaan 8.1 kalian dapat mengetahui hubungan Q dengan kuat arus I . $Q = I t$. Dengan substitusi nilai Q ini diperoleh persamaan energi listrik seperti di bawah.

dengan : W = energi listrik yang diserap hambatan (joule)

V = beda potensial ujung-ujung hambatan (volt)

I = kuat arus yang mengalir pada hambatan (A)

$t = \text{waktu aliran}$ (s)

Masih ingatkah dengan hukum Ohm? Coba kalian substitusikan $V = IR$ pada persamaan 8.10 atau substitusi-

kan $I = \frac{V}{R}$! Hasilnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$W = I^2 R t$$

$$W = \frac{V^2}{R} t \quad \dots \dots \dots \quad (8.11)$$

Daya listrik

Pernahkah kalian mengamati data-data pada lampu, alat-alat listrik lain atau bahkan pada meteran PLN. Dari data-data itu kalian akan mendapatkan besaran yang bersatuhan *watt*. Misalnya data lampu 100 watt/220 volt. Besaran yang bersatuhan watt inilah yang dinamakan *daya*.

Daya listrik merupakan besarnya energi yang mengalir atau diserap alat tiap detik. Definisi lain, *daya* didefinisikan sebagai *laju aliran energi*. Dari definisi ini daya listrik dapat dirumuskan seperti di bawah.

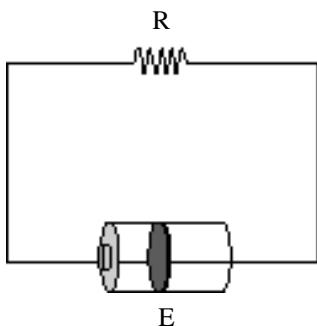
$$P = \frac{W}{t} \quad \dots \dots \dots \quad (8.12)$$

Jika kalian substitusikan nilai W dari persamaan 8.10 dan 8.11 pada persamaan daya itu dapat diperoleh hubungan berikut.

$$P = V I$$

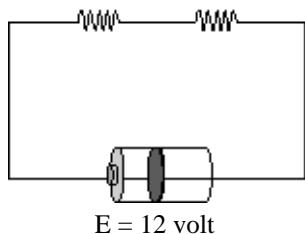
$$P = I^2 R$$

$$P \equiv \frac{V^2}{R}$$

**Gambar 8.26**

Rangkaian listrik sederhana

$$R_1 = 6 \Omega \quad R_2 = 4 \Omega$$

**Gambar 8.27**

Rangkaian listrik sederhana dengan R seri

CONTOH 8.9

Sebuah hambatan 20Ω dihubungkan pada baterai yang bertegangan 6 volt seperti *Gambar 8.26*. Tentukan:

- daya yang diserap hambatan,
- energi yang diserap hambatan selama setengah menit!

Penyelesaian

$$R = 20 \Omega$$

$$V = 6 \text{ volt}$$

$$t = 0,5 \text{ menit} = 30 \text{ s}$$

- Daya yang diserap memenuhi:

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow \frac{6^2}{20} = 1,8 \text{ watt}$$

- Energi yang diserap sebesar:

$$\begin{aligned} W &= P \cdot t \\ &= 1,8 \cdot 30 = 54 \text{ joule} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perhatikan rangkaian pada *Gambar 8.27*.

- Berapakah daya yang diserap hambatan $R_2 = 4 \Omega$?
- Berapakah energi yang dialirkan baterai tiap menit?

2. Data Komponen Listrik

Di depan telah dibahas sedikit bahwa setiap alat-alat listrik (komponen listrik) memiliki data-data tertentu. Data yang umum adalah diketahui daya yang diperlukan dan tegangan yang diperbolehkan.

Contoh data tersebut adalah P watt/ V volt. Apakah arti data tersebut? Arti data tersebut diantaranya sebagai berikut.

- Daya maksimum yang diserap alat sebesar P watt pada saat dipasang pada tegangan maksimum V volt.
- Arus maksimum yang diperbolehkan lewat pada alat itu sebesar:

$$I_{\max} = \frac{P}{V} \text{ (ampere)} \quad \dots \dots \dots \quad (8.14)$$

- Hambatan alat tersebut relatif tetap sebesar:

$$R = \frac{V^2}{P} \text{ (\Omega)} \quad \dots \dots \dots \quad (8.15)$$

CONTOH 8.10

andi diminta orang tuanya untuk membeli lampu yang memiliki data 110 watt/ 220 volt. Sifat-sifat apakah yang dimiliki lampu tersebut?

Penyelesaian

Lampu 110 watt/220 volt memiliki sifat-sifat:

- Tegangan maksimum yang diperbolehkan adalah 220 volt sehingga daya normalnya 110 watt.
- Kuat arus maksimum yang diperbolehkan sebesar:

$$I_{\max} = \frac{P}{V} = \frac{110}{220} = 0,5 \text{ ampere}$$

- Hambatan lampu sebesar:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{110} = 440 \Omega$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sewaktu Dhania akan menyetrika bajunya dia sempat melihat data yang tertulis yaitu 350 watt/220 volt. Sifat-sifat apakah yang dimiliki setrika listrik itu?

3. Kekekalan Energi Listrik

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi. Berarti energi listrik juga memiliki sifat umum dari energi. Sifat umum itu adalah kekekalan energi. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi bisa berubah ke bentuk lain. Pada kekekalan energi listrik ini dapat kalian pelajari perubahan energi listrik ke energi kalor atau energi potensial dan sebaliknya. Perhatikan persamaan-persamaan energi berikut.

Energi listrik : $W = V I t$

Energi panas : $Q = m c \Delta t$ atau $Q = m L$

Energi potensial : $E_p = m g h$

CONTOH 8.11

Ke dalam 100 liter air yang bersuhu 6 °C dialirkan arus listrik melalui kawat yang direntangkan (lihat gambar). Diinginkan air yang keluar dari kran K bersuhu 30 °C. Kuat arus yang digunakan ternyata 2 A dan pemanasan berlangsung selama 50 menit. Bejana dianggap tidak menyerap kalor dan 1 joule = 0,24 kal, maka untuk maksud tersebut kita harus memasang kawat yang berhambatan R. Tentukan nilai R tersebut!

Penyelesaian

$$V = 100 \text{ liter}$$

$$\text{berarti } m = 100 \text{ kg} = 10^5 \text{ gr}$$

$$\Delta t = 30 - 6 = 24^\circ\text{C}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$t = 50 \text{ menit} = 3000 \text{ detik}$$

$$c_a = 1 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$$

Untuk menaikkan suhu air digunakan pemanas listrik, berarti berlaku kekekalan energi seperti berikut.

$$W = Q$$

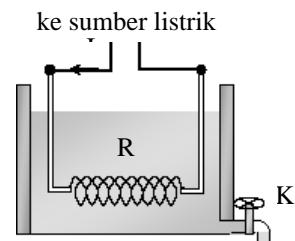
$$I^2 R t = m c \Delta t$$

$$(2^2 \cdot R \cdot 3000) \cdot 0,24 = 10^5 \cdot 1 \cdot 24$$

$$R = 830 \Omega$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Suatu kumparan yang berhambatan 12 ohm dimasukkan ke dalam 4 kg air 100°C . Jika kalor uap air $2,2 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$, ujung-ujung kumparan dipasang pada beda potensial 220 volt, maka berapakah waktu yang diperlukan untuk menguapkan air tersebut pada 100°C ?

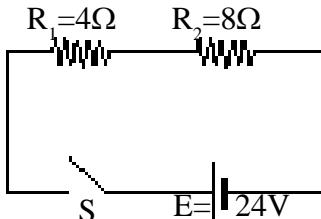


Gambar 8.28



ATIHAN 8.3

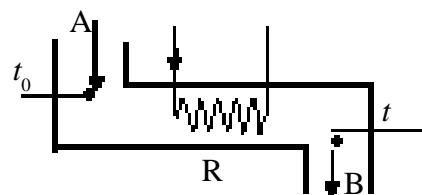
- Hambatan 20Ω dialiri arus 3 A. Jika lama mengalirinya setengah menit, maka berapakah energi yang hilang oleh hambatan tersebut?
- Perhatikan rangkaian listrik di bawah! Bila saklar S ditutup, maka hitunglah daya listrik yang digunakan hambatan R_1 .



- Sebuah lampu 24Ω dipasang paralel dengan lampu 16Ω . Apabila lampu 24Ω memancarkan daya 12 watt, maka berapakah daya yang dipancarkan lampu 16Ω ?
- Dua alat pemanas listrik, apabila dipergunakan secara sendiri-sendiri akan membutuhkan waktu masing-masing 15 dan 10 menit untuk mendidihkan air satu panci. Apabila

keduanya dihubungkan secara seri, dengan sumber GGl yang tetap sama seperti semula, maka berapakah waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air satu panci tersebut?

- Dua buah lampu masing – masing tertulis 200 watt 110 volt dan 50 watt 110 volt. Jika kedua lampu tersebut dihubungkan seri pada tegangan 110 volt, maka berapakah jumlah daya pada kedua bola lampu tersebut?
- Air mengalir masuk melalui A pada suhu $t_0 = 15^\circ\text{C}$. Kuat aliran tersebut adalah 50 g/s. Jika $R = 10 \text{ ohm}$, arus listrik (tetap) yang melaluinya adalah 10 ampere, dan 1 kalori = 4,2 joule, maka berapakah suhu t air yang meninggalkan B?



Rangkuman Bab 8

1. Kuat arus listrik adalah jumlah muatan yang mengalir tiap satu satuan waktu. $I = \frac{Q}{t}$. Arus mengalir dari titik berpotensial lebih tinggi ke titik yang berpotensial lebih rendah.
2. Hukum Ohm
 - a. Ohm menjelaskan hubungan kuat arus dan beda potensial $V = I.R$
 - b. Setiap pengantar memiliki hambatan yang besarnya memenuhi : $R = \rho \frac{1}{A}$.
3. Rangkaian hambatan sederhana ada dua jenis yaitu seri dan paralel. Ada jenis lain yaitu campurannya.
 - a. Rangkaian hambatan seri memiliki sifat - sifat:
 - kuat arus yang lewat sama
 - pembagi tegangan $E = V_1 + V_2 + V_3$
 - hambatan pengganti seri memenuhi :
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$
 - b. Rangkaian hambatan paralel memiliki sifat-sifat:
 - beda potensial ujung-ujung hambatan sama
 - pembagi arus $I = I_1 + I_2 + I_3$
 - hambatan pengganti paralel memenuhi:
$$\frac{I}{R_p} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3}$$
4. Energi listrik yang diserap oleh sebuah hambatan saat dihubungkan beda potensial V dan dialiri arus sebesar I memenuhi: $W = P.t$
 Dengan P adalah daya listrik, yaitu energi yang diserap oleh hambatan tiap satu satuan waktu.
 Besarnya memenuhi:

$$P = V I$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$
5. Energi listrik memiliki sifat-sifat seperti energi yang lain yaitu memenuhi kekekalan energi.

Evaluasi Bab 8

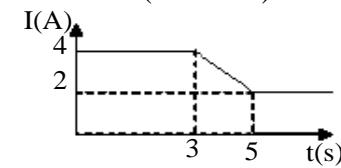
Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Jika arus 4 ampere mengalir dalam kawat yang ujung-ujungnya berselisih potensial 12 volt, maka besar muatan tiap menit yang mengalir melalui kawat....

- A. 4 coulomb D. 120 coulomb
B. 12 coulomb E. 240 coulomb
C. 60 coulomb

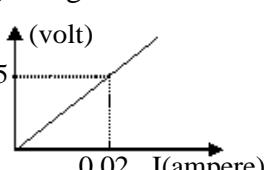
2. Grafik di bawah menunjukkan kuat arus yang mengalir dalam suatu hambatan R , sebagai fungsi waktu. Banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam hambatan tersebut selama 6 sekon pertama adalah ... (coulomb)

- A. 8 I(A)
B. 10
C. 14
D. 18
E. 20



3. Dari percobaan hubungan tegangan (V) dengan kuat arus (I) pada resistor, dihasilkan grafik V - I pada gambar di bawah. Jika $V = 5,0$ volt, maka besar kuat arus yang mengalir adalah

- A. 5 mA
B. 10 mA
C. 20 mA
D. 40 mA
E. 35 mA



4. Resistansi kawat jaringan listrik akan meningkat pada siang hari yang terik sebab:

- (1) Kawat menjadi lebih panjang
(2) Arus listrik menurun pada siang hari
(3) Hambat jenis kawat meningkat
(4) Luas tumpang lintang kawat membesar
- Yang benar adalah

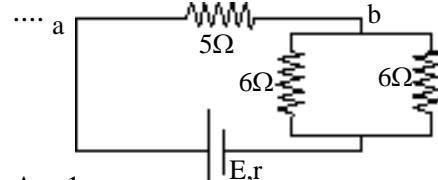
- A. (1), (2) dan (3) D. (4)
B. (1) dan (3) E. semua
C. (2) dan (4)

5. Sebuah baterai dihubungkan dengan resistor akan menghasilkan arus 0,6 A. Jika pada rangkaian ditambahkan sebuah resistor 4,0 ohm yang dihubungkan seri

dengan resistor pertama maka arus akan turun menjadi 0,5 A. Gaya gerak listrik (ggl) baterai (dalam volt) adalah

- A. 4 D. 12
B. 5 E. 24
C. 6

6. Perhatikan gambar rangkaian di samping. Jika sumber arus 18 V dengan hambatan dalam 1 Ω , maka beda potensial titik a dan b adalah



- A. 1 volt D. 30 volt
B. 15 volt E. 40 volt
C. 20 volt

7. Sebuah galvanometer yang hambatannya 50 ohm akan mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 0,01 A. Agar dapat digunakan untuk mengukur tegangan hingga 100 V, maka harus dipasang

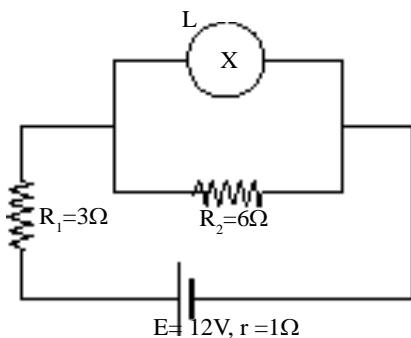
- A. Hambatan muka sebesar 9.950 ohm
B. Hambatan muka sebesar 5.000 ohm
C. Hambatan cabang sebesar 9.950 ohm
D. Hambatan cabang sebesar 5.000 ohm
E. Hambatan muka dan hambatan dalam masing-masing sebesar 2.500 ohm

8. Sebuah amperemeter mempunyai hambatan 18 ohm dan berdaya ukur 10 mA. Agar daya ukur amperemeter meningkat menjadi 100 mA, harus dipasang hambatan

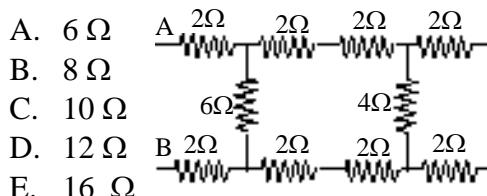
- A. 0,8 ohm seri dengan amperemeter
B. 0,8 ohm paralel dengan amperemeter
C. 2,0 ohm seri dengan amperemeter
D. 2,0 ohm paralel dengan amperemeter
E. 8,0 seri dengan amperemeter

(SPMB, 2003)

9. Perhatikan gambar di bawah. Arus yang melewati lampu (L) 12 watt, 12 volt adalah



- A. 0,02 ampere D. 1,2 ampere
 B. 0,5 ampere E. 1,5 ampere
 C. 1,0 ampere
10. Hambatan pengganti antara titik A dan B dari rangkaian hambatan pada gambar di bawah adalah

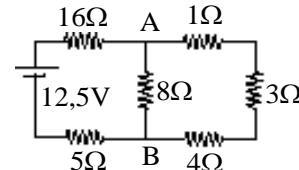


11. Sebuah generator mempunyai GGL 300 volt dan hambatan 4 ohm. Generator itu di gunakan untuk menyalakan lampu yang di susun paralel. Bila kuat arus tiap lampu harus 0,5 ampere pada tegangan 220 volt, maka banyaknya lampu yang dapat dipasang
- A. 20 D. 50
 B. 30 E. 60
 C. 40

12. Sebuah setrika listrik 350 watt digunakan selama 1 jam. Besar energi listrik yang terpakai adalah
- A. 150×10^4 joule
 B. 135×10^4 joule
 C. 130×10^4 joule
 D. 128×10^4 joule
 E. 126×10^4 joule

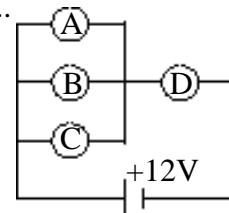
13. Perhatikan rangkaian listrik pada diagram ini. Energi yang dibebaskan setiap sekon pada hambatan 16Ω ialah

- A. 1 w
 B. 2 w
 C. 3 w
 D. 4 w
 E. 5 w



14. Pada gambar di bawah, A,B,C, dan D adalah lampu pijar masing-masing berukuran 5W, 5V. Jika lampu C putus maka yang nyalanya lebih terang adalah lampu

- A. A dan B
 B. B saja
 C. B dan D
 D. D saja
 E. D dan A



15. Sebuah lampu pijar bertuliskan 80 watt, 220 Volt dipasang pada suatu sumber tegangan 110 volt . Daya lampu pijar itu menjadi

- A. 80 watt D. 20 watt
 B. 60 watt E. 10 watt
 C. 40 watt

16. Suatu alat pemanas listrik yang hambatannya 24Ω khusus dipakai untuk beda potensial 120 volt. Bila alat tersebut digunakan untuk memanaskan 10 kg air sehingga temperaturnya naik dari 25°C menjadi 45°C , waktu yang dibutuhkan adalah

- A. 500 s D. 1400 s
 B. 700 s E. 1900 s
 C. 900 s

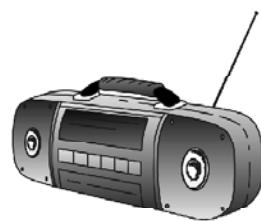
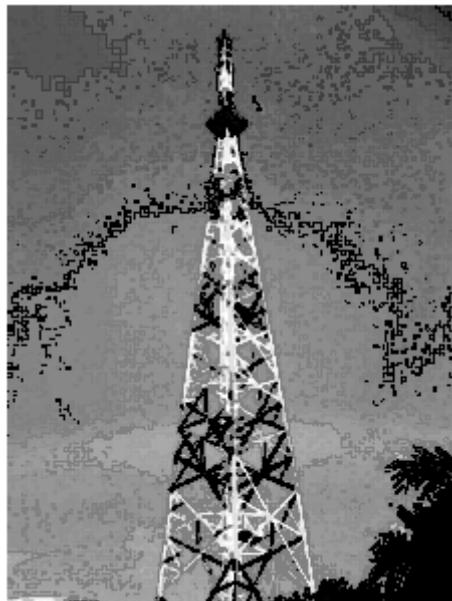
17. Sebuah alat pemanas air yang hambatannya 50 ohm dan dialiri arus listrik 1 ampere, digunakan untuk memanaskan 1 liter air bersuhu 25°C selama 10 menit. Jika dianggap hanya air yang menerima kalor, maka suhu air menjadi (1 kalori = 4,2 joule)

- A. 97°C D. $32,2^\circ\text{C}$
 B. 47°C E. 72°C
 C. $34,2^\circ\text{C}$

B A B

9

GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK



Sumber : penerbit cv adi perkasa

Pernahkan kalian berfikir bagaimana gelombang radio dapat memancar dari pemanchar radio menuju ke radio kalian? Gelombang apakah digunakan? Bagaimanakah sifat gelombang itu? Apakah ada gelombang lain yang sejenis dan apa pemanfaatannya?

Beberapa pertanyaan di atas dapat kalian pelajari pada bab ini, sehingga setelah belajar kalian diharapkan dapat:

1. menyebutkan spektrum gelombang elektromagnetik yang ada,
2. menjelaskan sifat-sifat gelombang elektromagnetik,
3. menjelaskan penerapan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.

A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

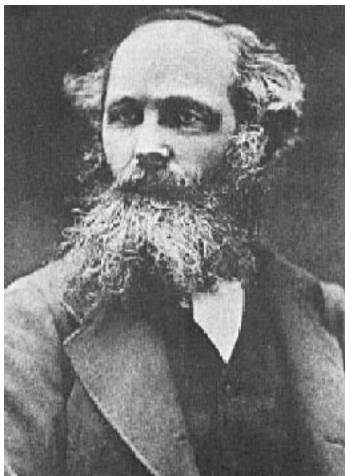
1. Timbulnya Gelombang Elektromagnetik

Seorang ilmuan fisika **James Clerk Maxwell** (1813-1879) telah menyumbangkan pengetahuan yang besar yaitu tentang gelombang elektromagnetik. Apakah yang dinamakan gelombang elektromagnetik itu? Elektromagnetik berasal dari dua kata yaitu elektro atau listrik dan magnet. Dua kata ini tentu tidak asing bagi kalian karena materi listrik statis dan magnet pernah diajarkan di SMP. Keterkaitan kedua materi inilah yang dapat menimbulkan pandangan baru mengenai gelombang elektromagnetik.

Maxwell menjelaskan empat hal penting yang dapat menjelaskan terjadinya gelombang elektromagnetik ini. Keempat dasar itu dapat kalian perhatikan seperti berikut.

1. **Disekitar muatan timbul medan listrik.**
Masih ingatkah kalian dengan materi listrik statis di kelas IX SMP? Konsep ini menjelaskan dengan lengkap tentang gaya elektrostatis dan medan listrik yang dikenal dengan hukum Coulomb.
2. **Disekitar kawat berarus listrik akan timbul medan magnet yang disebut *Induksi Magnet*.**
Di kelas IX SMP kalian juga sudah mempelajari konsep kedua ini. Gejala ini ditemukan oleh *Oersted*. Penemuan itu adalah gejala menyimpangnya jarum kompas jika diletakkan di sekitar kawat berarus listrik, berarti disekitar kawat berarus timbul medan listrik. Penemuan ini juga menjelaskan bahwa ada kaitan antara listrik dan medan magnet.
3. **Perubahan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik.**
Masih ingat tentang Induksi Elektromagnetik, contohnya generator? Generator merupakan alat yang menghasilkan sumber listrik karena perubahan *Fluks Magnet* (medan magnet). Penemuan generator menjelaskan bahwa medan magnet yang berubah dapat menimbulkan arus listrik (medan listrik).
4. **Penemuan-penemuan di atas dapat mengembangkan pandangan secara terbalik, yaitu perubahan medan listrik harus menimbulkan medan magnet.**

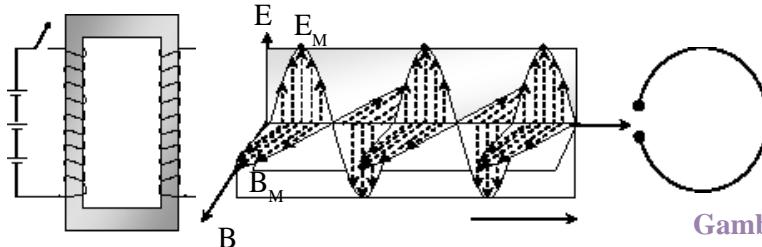
Keempat dasar di atas inilah yang oleh Maxwell dikembangkan menjadi keseimbangan alam. Menurut Maxwell energi yang tersimpan dalam bentuk medan magnet dapat berubah menjadi energi dalam bentuk medan listrik. Pembentukan ini dapat terjadi sebaliknya energi yang tersimpan dalam bentuk medan listrik dapat berubah menjadi energi dalam bentuk medan magnet, sehingga pembentukan ini dapat terjadi bolak-balik dan saling mempengaruhi dalam bentuk pancaran energi yang kemudian dinamakan *gelombang elektromagnetik*.



Gambar 9.1

James Clerk Maxwell

Dalam perkembangannya gelombang elektromagnetik dapat dibuktikan dengan penjelasan seperti pada *Gambar 9.2*.



Gambar 9.2

Gelombang elektromagnetik menjalar dengan kumparan medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus.

Pada Gambar 9.2 dapat dijelaskan bahwa saat saklar S ditutup maka akan ada arus yang mengalir pada kumparan dan sampai di plat sejajar. Pada kumparan akan timbul medan magnet dan pada plat sejajar akan timbul medan listrik. Bagaimana jika saklar S dibuka dan ditutup secara bergantian? Pada saat saklar dibuka dan ditutup secara bergantian dengan cepat seperti induktor rumkorf maka pada kumparan dan plat sejajar dapat memancarkan gelombang elektromagnetik karena ada medan listrik (E) dan medan magnet (B) yang berubah-ubah secara gantian dan terus menerus. Bukti bahwa disitu terjadi rambatan energi adalah adanya gejala resonanso yang diterima pada loop. Gejala ini pertama kali ditemukan oleh *Heinrich Hertz*. Gambaran gerak gelombang elektromagnetik tersebut dapat dijelaskan dengan komponen gelombang medan magnet dan medan listrik yang saling tegak lurus. Dari gambar itulah Maxwell dapat menemukan hubungan persamaan berikut.

$$c = \frac{E_m}{B_m} \quad \dots \dots \dots \quad (9.1)$$

dengan : c = cepat rambat gelombang elektromagnetik (m/s)

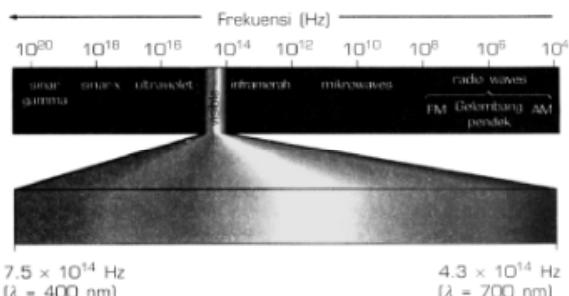
E_m = kuat medan listrik maksimum (N/C)

B_m = kuat medan magnet maksimum (tesla)

2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik ini banyak ditemukan dalam berbagai jenis dengan panjang gelombang atau frekuensi berbeda tetapi memiliki sifat-sifat yang sama. Penguraian gelombang elektromagnetik berdasarkan frekuensi atau panjang gelombangnya inilah yang dinamakan **spektrum gelombang elektromagnetik**. Pernahkan kalian mendengar tentang cahaya, gelombang radio, radar, sinar - X dan sinar ultra violet (UV). Gelombang-gelombang itu ternyata termasuk gelombang elektromagnetik. Gelombang itu memiliki sifat-sifat yang sama. Tetapi karena panjang gelombang dan frekuensinya berbeda maka gelombang-gelombang itu juga memiliki perbedaan sifat.

Berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya gelombang-gelombang elektromagnetik itu dapat diurutkan seperti pada *Gambar 9.3*.



Gambar 9.3

Spektrum gelombang elektromagnetik.

Cermati spektrum gelombang elektromagnetik pada *Gambar 9.3* itu. Pada gambar tersebut, gelombang elektromagnetik dapat diurutkan dari frekuensi terbesar: *Sinar - γ, Sinar -X, Ultraviolet, Cahaya tampak, Infra merah, Gelombang Mikro, Gelombang TV dan Radio*.

Dari spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat bahwa cahaya dapat digolongkan dalam gelombang elektromagnetik. Kecepatan cahaya besarnya sama dengan kecepatan gelombang elektromagnetik yang lain. Di ruang hampa atau udara mendekati $c = 3 \times 10^8$ m/s. Hal inilah yang mendasari teori Maxwell tentang cahaya: “*Cahaya adalah gelombang yaitu gelombang elektromagnetik*.”

3. Sifat-sifat Gelombang Elektromagnetik

Di alam ini banyak sekali jenis gelombang, misalnya menurut arah getar dan arah rambatnya, gelombang memiliki dua jenis yaitu gelombang transversal dan longitudinal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus arah getarnya. Sedangkan gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar arah getarnya.

Kemudian menurut mediumnya, gelombang juga memiliki dua jenis yaitu gelombang mekanik (membutuhkan medium) dan gelombang elektromagnetik (tidak membutuhkan medium). Dari proses pembentukannya, gelombang elektromagnetik ini memiliki keunikan dibanding gelombang-gelombang yang lain. Sehingga gelombang ini juga memiliki sifat-sifat khusus dan tidak dimiliki oleh gelombang yang lain. Sifat-sifat gelombang elektromagnetik di antaranya dapat dijelaskan seperti di bawah.

1. Gelombang elektromagnetik tidak membutuhkan medium dalam merambat. Dari sifat inilah dapat dijelaskan mengapa gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam suatu medium maupun di ruang hampa.

2. Gelombang elektromagnetik tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet. Sifat ini juga dapat membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik tidak bermassa dan tidak bermuatan karena medan magnet dan medan listrik hanya mempengaruhi partikel yang bermuatan.
3. Gelombang elektromagnetik termasuk gelombang transversal. Seperti halnya gelombang transversal lainnya, maka gelombang elektromagnetik akan memiliki sifat-sifat sebagai berikut.
 - a. dapat mengalami pemantulan (*refleksi*)
 - b. dapat mengalami pembiasaan (*refraksi*)
 - c. dapat mengalami *interferensi* (gabungan atau superposisi)
 - d. dapat mengalami *difraksi* (pelenturan)
 - e. dapat mengalami *polarisasi*
4. Semua spektrum gelombang elektromagnetik memiliki kecepatan yang sama dan hanya tergantung pada mediumnya.

Dalam hukumnya, Maxwell menemukan bahwa kecepatan gelombang elektromagnetik sama dengan kecepatan cahaya dan memenuhi persamaan berikut.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \dots \quad (9.2)$$

dengan μ_0 = permeabilitas vakum

ϵ_0 = permitivitas vakum

Seperti gelombang secara umum, kecepatan rambat gelombang elektromagnetik juga memenuhi hubungan berikut.

$$c = \lambda f \quad \dots \quad (9.3)$$

dengan c = cepat rambat gelombang elektromagnetik

di ruang hampa (udara) = 3×10^8 m/s

λ = panjang gelombang (m)

f = frekuensi (Hz)

CONTOH 9.1

Gelombang mikro memiliki frekuensi 900 MHz dipancarkan dari sebuah radar. Berapakah panjang gelombang mikro tersebut?

Penyelesaian

$$f = 900 \text{ MHz} = 9.10^8 \text{ Hz}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Panjang gelombang dari gelombang mikro ini memenuhi:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{9.10^8} = 0.33 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.

1. Sinar X memiliki panjang gelombang $0,03 \text{ A}^\circ$. Tentukan frekuensi dari Sinar X tersebut.
2. Frekuensi gelombang mikro diketahui $3 \times 10^9 \text{ Hz}$. Berapakah panjang gelombangnya?



ATIHAN 9.1

1. Coba jelaskan kembali konsep-konsep dasar yang mendukung keberhasilan hukum Maxwell! Kemudian jelaskan pula hukum Maxwell tentang gelombang elektromagnetik tersebut!
2. Carilah bukti dalam kehidupan sehari-hari bahwa gelombang elektromagnetik dapat merambat, bahkan dapat merambat tanpa medium?
3. Coba kalian jelaskan sifat-sifat gelombang elektromagnetik yang bersifat khusus dan tidak dimiliki oleh gelombang mekanik!
4. Carilah contoh-contoh dari bukti bahwa gelombang elektromagnetik dapat mengalami pemantulan dan pembiasan?
5. Kita sering mendengarkan radio. Gelombang apakah yang kita dengarkan dari radio tersebut? Mengapa kalian dapat menjelaskan seperti itu?
6. Carilah alasan mengapa gelombang elektromagnetik tidak dipantulkan oleh medan magnet maupun medan listrik? Apa dugaan kalian jika gelombang elektromagnetik dipantulkan oleh medan magnet maupun medan listrik?
7. Dari semua gelombang elektromagnetik yang berada di spektrumnya, tentukan:
 - a. gelombang yang memiliki panjang gelombang terkecil,
 - b. gelombang yang memiliki frekuensi terbesar,
 - c. gelombang yang memiliki energi terkecil,
 - d. gelombang yang memiliki cepat rambat terbesar!
8. Sinar gamma memiliki panjang gelombang $0,02 \text{ A}^\circ$. Tentukan cepat rambat dan frekuensi dari Sinar gamma tersebut!
9. Frekuensi Cahaya biru diketahui $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$, Berapakah panjang gelombang cahaya biru itu?
10. Seorang pelaut mengukur kedalaman laut dari atas kapalnya dengan mengirim gelombang elektromagnetik sampai ke dasar laut. Ternyata gelombang elektromagnetik itu kembali setelah selang waktu 10^{-5} s . Tentukan kedalaman laut tersebut!

B. Aplikasi Gelombang Elektromagnetik

Sesuai dengan spektrum yang ada maka gelombang elektromagnetik memiliki jenis yang cukup banyak. Setiap jenisnya memiliki sifat yang spesifik terutama perbedaan panjang gelombang dan frekuensinya. Perbedaan frekuensi inilah yang menyebabkan pemanfaatan gelombang elektromagnetiknya menjadi sangat luas. Beberapa contoh pemanfaatan dan penjelasan tiap-tiap jenis gelombangnya dapat dicermati pada penjelasan di bawah.

1. Sinar Gamma

Dalam spektrumnya, sinar gamma menempati tingkatan dengan frekuensi terbesar yaitu 10^{20} Hz - 10^{25} Hz. Sifat yang dimiliki sinar gamma adalah energi yang besar sehingga daya tembusnya sangat kuat.

Sinar gamma ditemukan dari radiasi inti-inti atom tidak stabil yang merupakan pancaran zat radioaktif. Sinar gamma juga dapat dihasilkan seperti sinar X yaitu tumbukan elektron dengan atom-atom berat seperti timbal (Pb).

Sinar gamma dapat digunakan sebagai sistem perunut aliran suatu fluida (misalnya aliran PDAM). Tujuannya untuk mendeteksi adanya kebocoran pipa. Jika zat radioaktif di bawah ambang batas bahaya dialirkan dalam fluida maka saat terjadi kebocoran maka radiasi Sinar gamma akan dapat dideteksi.

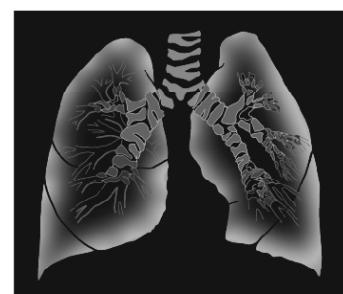
Sekarang sinar gamma banyak digunakan sebagai bahan sterilisasi bahan makanan kaleng dan mendeksi keretakan batang baja. Pernahkah kalian membeli makanan kaleng. Jika massa berlakunya masih aman maka kalian tidak usah terlalu kawatir dengan kebersihannya. Kuman atau bateri penyebab penyakitnya telah disterilisasi dengan Sinar gamma.

2. Sinar X

Urutan kedua gelombang elektromagnetik yang frekuensinya besar adalah Sinar X. Frekuensi Sinar X memiliki rentang frekuensi 10^{16} Hz - 10^{20} Hz.

Sinar X pertama kali ditemukan oleh **Wilhem Conrad Rontgen** sehingga sering di sebut juga *sinar Rontgen*. Sumber sinar X yang utama adalah dari radiasi tumbukan elektron berkecepatan tinggi pada atom-atom berat seperti timbal (Pb).

Dengan berada pada rentang frekuensinya sinar X juga memiliki daya tembus besar. Sinar X dapat dimanfaatkan dalam bidang radiologi yaitu mendeksi organ-organ tubuh seperti tulang, jantung, paru-paru, ginjal, dan organ lainnya. Pemanfaatan inilah yang kita kenal *foto Rontgen*. Perhatikan Gambar 9.4, hasil *foto Rontgen* tubuh manusia. Dari hasil foto ini dapat dianalisa hasilnya dengan membandingkannya pada hasil foto organ yang normal (sehat). Jika hasilnya tidak sesuai berarti ada kelainan atau ada penyakitnya.



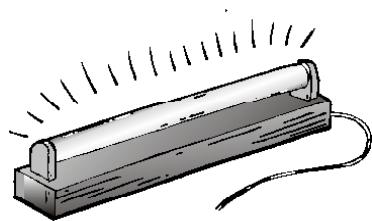
Gambar 9.4

Hasil foto Rontgen tubuh manusia

3. Sinar Ultraviolet

Sinar Ultraviolet atau sinar Ultra Ungu merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi di atas sinar tampak (sinar ungu) dan di bawah Sinar X. Rentang frekuensi adalah antara 10^{15} Hz- 10^{16} Hz.

Sinar ini selain dihasilkan oleh radiasi matahari, juga dapat dihasilkan dari tabung lucutan. Pada tabung lucutan dapat terjadi penembakan elektron pada atom-atom seperti gas Hidrogen, gas Neon, dan gas-gas mulia yang lain. Contoh yang sering kalian lihat adalah lampu TL (tabung lampu). Namun untuk lampu yang digunakan untuk penerangan telah dirancang dengan pancaran sinar Ultraviolet yang minimum.



Gambar 9.5

Lampu tabung yang dapat memancarkan cahaya, Sinar Ultraviolet dan Sinar Inframerah

Sinar Ultraviolet dapat digunakan dalam teknik spektroskopi yaitu untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada suatu bahan. Dalam perkembangannya sinar Ultraviolet diketahui dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan sel. Sisi negatifnya dapat menyebabkan kanker kulit tapi sisi positifnya dapat digunakan untuk memicu perkembangan ternak seperti babi.

4. Cahaya Tampak

Mengapa kalian dapat melihat benda-benda dengan jelas? Ternyata jawabnya bukan hanya mata kita dalam keadaan normal saja tetapi adanya cahaya merupakan faktor yang utama. Contohnya malam hari dan tidak ada lampu sama sekali, maka akan terlihat adanya kegelapan. Berarti cahaya banyak membantu kita dalam melihat benda-benda. Sebuah benda dapat terlihat karena ada cahaya yang di pantulkan oleh benda tersebut. Di bawah sinar matahari sebuah bunga merah dapat terlihat karena bunga tersebut memantulkan cahaya merah dan menyerap warna yang lain.

Cahaya tampak memiliki rentang yang pendek yaitu dengan panjang gelombang 10^{-6} cm - 10^{-7} cm atau frekuensi 3×10^{14} Hz - 10^{15} Hz. Sesuai dengan spektrum yang ada, cahaya tampak ada tujuh warna. Jika diurutkan dari frekuensi terbesar (panjang gelombang terkecil) adalah ungu, nilla, biru, hijau, kuning, jingga dan merah.

Coba kalian perhatikan Gambar 9.6. Sebuah pertunjukan musik yang spektakuler. Apakah dugaan kalian tentang apa yang akan terjadi jika lampunya mati, berarti tidak ada cahaya tampak. Tentu tidak spektakuler lagi.

5. Sinar Inframerah

Seperti halnya cahaya tampak dan sinar ultraungu, sinar inframerah dapat dihasilkan dari sumber yang sama yaitu dari tabung lucutan. Pada tabung lucutan dapat terjadi penembakan elektron pada atom-atom seperti gas hidrogen, gas neon, dan gas-gas mulia yang lain.



Gambar 9.6

Cahaya tampak dapat menentukan keberhasilan pertunjukan musik

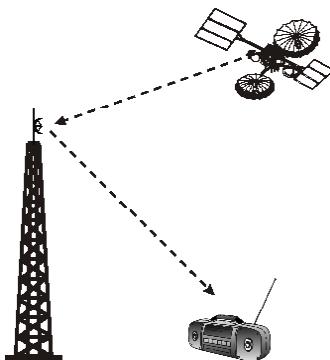
Rentang frekuensi sinar inframerah adalah 10^{11} Hz - 10^{14} Hz. Sinar inframerah dapat dimanfaatkan untuk pemotretan-pemotretan permukaan bumi dari satelit. Tumbuhan atau benda-benda tertentu dapat memancarkan sinar inframerah. Jika pemotretan menggunakan teleskop yang dapat menyerap sinar inframerah dan dilakukan malam hari maka dapat dihasilkan pola tertentu. Pola itu dapat dianalisa berdasarkan tempat-tempat yang banyak menghasilkan sinar inframerah dan tida.

6. Gelombang Mikro, Gelombang Televisi dan Gelombang Radio

Kalian tentu tidak asing dengan radio, televisi, hand phone dan radar. Alat-alat ini menggunakan gelombang yang dihasilkan dari sumber yang sama tetapi memiliki frekuensi berbeda.

Gelombang mikro, gelombang televisi, dan gelombang radio dapat dihasilkan dari rangkaian osilator RLC arus bolak-balik. Gelombang ini juga dapat dihasilkan pada radiasi matahari hanya sampai ke bumi kecil.

Gelombang mikro banyak dimanfaatkan sebagai alat pendekripsi seperti radar. Sekarang banyak dikembangkan lagi seperti pada perabot rumah tangga *mikrowave*. Sedangkan gelombang televisi dan gelombang radio banyak digunakan sebagai alat komunikasi.



Gambar 9.7

Gelombang radio dapat dipancarkan hingga jauh dengan bantuan satelit

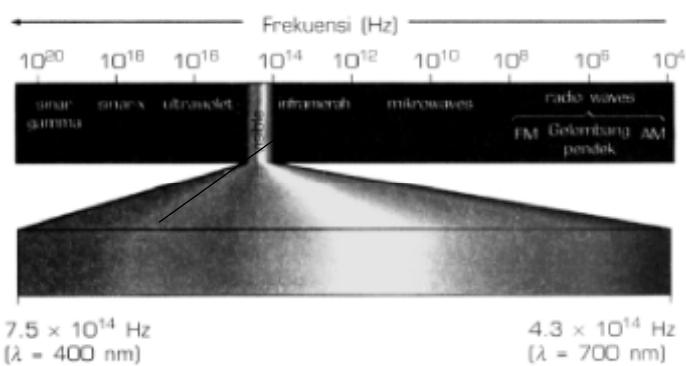


ATIHAN 9.2

1. Coba kalian jelaskan apakah dasar pemanfaatan gelombang elektromagnetik sehingga memiliki banyak manfaat?
2. Carilah sumber-sumber gelombang elektromagnetik! Adakah yang memiliki sumber yang sama? Sebutkan!
3. Coba jelaskan kembali manfaat dari masing-masing gelombang elektromagnetik!
4. Carilah contoh manfaat gelombang elektromagnetik yang belum dijelaskan di buku ini. Kemudian jelaskan lebih luas tentang pemanfaatan tersebut!
5. Apa yang telah kalian rasakan dengan pemanfaatan gelombang-gelombang berikut:
 - a. gelombang radio,
 - b. sinar X?

Rangkuman Bab 9

1. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dipancarkan karena pengaruh perubahan medan magnet menjadi medan listrik dan sebaliknya secara terus menerus.
2. Gelombang elektromagnetik memiliki spektrum dengan urutan sebagai berikut.



3. Sifat gelombang elektromagnetik:
 - a. Tidak membutuhkan medium dalam merambat.
 - b. Tidak diblokkan oleh medan listrik dan medan magnet
 - c. Merupakan gelombang transversal sehingga dapat mengalami : pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi dan polarisasi
 - d. Memiliki kecepatan yang sama dan hanya tergantung pada mediumnya.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \text{ dan } c = \lambda f$$

Evaluasi Bab 9

Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Pernyataan-pernyataan di bawah ini yang berkaitan dengan hipotesa Maxwell tentang gelombang elektromagnetik adalah
 - A. Muatan listrik menimbulkan medan magnet
 - B. Arus listrik menimbulkan medan listrik
 - C. Perubahan medan magnet menimbulkan hambatan
 - D. Perubahan medan listrik menimbulkan medan magnet
 - E. Medan magnet menimbulkan arus listrik
2. Sinar yang dipengaruhi oleh medan magnet dan medan listrik seperti di bawah

(1) sinar – X	(3) sinar gamma
(2) sinar Laser	(4) sinar katoda

 Pernyataan yang benar adalah
 - A. 1, 2, dan 3
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 4
 - D. 4 saja
 - E. 1, 2, 3, dan 4
3. Di bawah ini merupakan sifat-sifat gelombang elektromagnetik, **kecuali**
 - A. kecepatannya tak tergantung pada jenis medium
 - B. dapat mengalami peristiwa pemantulan
 - C. kecepatan tertinggi terjadi di ruang hampa
 - D. dapat mengalami peristiwa polarisasi
 - E. dapat merambat di ruang hampa
4. Yang termasuk gelombang elektromagnetik adalah
 - A. dapat didifraksikan tetapi tidak dapat dipolarisasikan
 - B. dapat dipolarisasikan tetapi tidak dapat berinterferensi
 - C. dapat berinterferensi dan difraksi
 - D. dapat diblokkan dalam medan listrik maupun medan magnet
 - E. memerlukan medium untuk perambatannya
5. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik yang benar untuk frekuensi besar ke frekuensi kecil adalah
 - A. gelombang radar, cahaya hijau, cahaya biru, gelombang radio
 - B. sinar-X, sinar gamma, cahaya biru, cahaya hijau
 - C. cahaya biru, cahaya hijau, sinar infra merah, gelombang radar
 - D. cahaya hijau, cahaya biru, sinar-X, sinar gamma
 - E. sinar inframerah, sinar ultra violet, cahaya hijau, cahaya biru
6. Yang fotonya mempunyai energi terbesar dari yang berikut adalah
 - A. sinar merah
 - B. sinar ungu
 - C. sinar gamma
 - D. sinar-X
 - E. gelombang radio
7. Suatu stasiun radio FM menyiarakan siarannya pada 100 MHz. Keadaan ini juga memiliki arti bahwa radio tersebut memancarkan gelombang dengan panjang gelombang sebesar ...

A. 300 m	D. 15 m
B. 30 m	E. 1,5 m
C. 3 m	
8. Seorang pelaut mengukur kedalaman laut dari atas kapalnya dengan mengirim gelombang elektromagnetik sampai ke dasar laut. Ternyata gelombang elektromagnetik itu kembali setelah selang waktu 5λ s. Kedalaman laut tersebut adalah

A. 1500 m	D. 75 m
B. 750 m	E. 7,5 m
C. 150 m	

Glosarium

Ampere	: satuan kuat arus listrik
Amperemeter	: alat pengukur kuat arus listrik
Cermin	: benda yang dapat memantulkan cahaya
Cross product	: perkalian silang, yaitu perkalian suatu vektor dengan proyeksi vektor lain yang tegak lurus vektor pertama
Dinamika	: cabang mekanika yang mempelajari penyebab gerak benda
Dot product	: perkalian titik, yaitu perkalian suatu vektor dengan proyeksi vektor lain yang sejajar vektor pertama
Emisivitas	: konstanta yang mempengaruhi kemampuan benda untuk melakukan radiasi
Fokus	: titik api
Frekuensi	: banyaknya getaran atau putaran yang terjadi dalam satu sekon
Hipermetropi	: cacat mata yang tidak dapat melihat benda dekat, titik dekatnya, titik dekatnya lebih dari 25 cm
Inersia	: keadaan suatu benda untuk mempertahankan diri
Isolator	: bahan yang memiliki daya hantar jelek
Kalor	: energi panas
Kalori	: satuan energi
Kalor laten	: kalor yang dibutuhkan untuk merubah wujud 1 kg zat pada titik lebur atau titik didihnya
Kinematika	: cabang mekanika yang mempelajari gerak benda tanpa memperhatikan penyebabnya
Konduktor	: bahan yang memiliki daya hantar baik
Konduksi	: perpindahan kalor tanpa diikuti perpindahan zat perantaranya
Konveksi	: perpindahan kalor dengan diikuti perpindahan zat perantaranya
Lensa	: benda bening yang dibatasi dua permukaan lengkung
Lup	: kaca pembesar
Metode Analitis	: cara penyelesaian resultan vektor dengan bantuan penguraian vektor pada arah saling tegak lurus
Metode Poligon	: cara penyelesaian resultan vektor dengan bantuan penyambungan gambar
Miopi	: cacat mata yang tidak dapat melihat benda jauh, titik jauhnya kurang dari tak hingga
Neraca	: alat pengukur massa
Ohm	: satuan hambatan listrik
Periode	: selang waktu yang dibutuhkan benda untuk berputar atau bergetar satu kali
Presbiopi	: cacat mata yang tidak dapat melihat benda dekat maupun benda jauh, titik dekatnya lebih dari 25 cm dan titik jauhnya kurang dari tak hingga
Proyeksi vektor	: penguraian vektor pada suatu arah tertentu, bisa dengan penyinaran secara tegak lurus
Radiasi	: perpindahan kalor tanpa zat perantaranya
Resultan vektor	: jumlah yang digunakan untuk besaran vektor, resultan vektor adalah penjumlahan vektor
Speedometer	: alat pengukur kecepatan sesaat dari gerak kendaraan bermotor
Stopwatch	: alat ukur waktu
Termometer	: alat pengukur suhu
Vektor	: besaran yang memiliki besar dan arah
Volt	: satuan beda potensial listrik

Ketetapan Fisika

Besaran	Simbol	Nilai tetapannya
Kecepatan cahaya	(c)	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Konstanta gravitasi	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Tetapan Stefan-Botzmann	(σ)	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/K}^4$
Tetapan Botzmann's	(k)	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Tetapan Avogadro	N _A	$6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Konstanta gas	R = N _A k	8,31 J/mol K
Hukum Coulomb's	$k = \frac{1}{4}\pi \epsilon_0$	$8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$
Muatan elektron	e	$1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Permitivitas vakum	ε ₀	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$
Permeabilitas vakum	μ ₀	$4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A} = 1,26 \times 10^{-6} \text{ T m/A}$
Tetapan planck's	h	$6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$
	h = h/2π	$1,05 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Massa atom	u	$1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV}$
Massa elektron	m _e	$9,10939 \times 10^{-31} \text{ kg} = 5,94 \times 10^{-4} \text{ u} = 0,511 \text{ MeV}$
Massa neutron	m _n	$1,67500 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,008665 \text{ u} = 939,57 \text{ MeV}$
Massa proton	m _p	$1,67565 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,007267 \text{ u} = 938,28 \text{ MeV}$

Konversi Satuan

- Massa $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$
 $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$
 $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
 $1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$
 - Panjang $1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ m}$
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
 $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} = 0,394 \text{ in}$
 $1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ km} = 3,28 \text{ ft} = 39,4 \text{ in}$
 $1 \text{ km} = 10^3 = 0,621 \text{ mi}$
 $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm} = 2,54 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $1 \text{ ft} = 0,305 \text{ m} = 30,5 \text{ cm}$
 $1 \text{ pc (parsec)} = 3,09 \times 10^{13} \text{ km}$
 - Luas $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,1550 \text{ in}^2$
 $= 1,08 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$
 $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10,76 \text{ ft}^2 = 1550 \text{ in}^2$
 $1 \text{ in}^2 = 6,94 \times 10^{-3} \text{ ft}^2 = 6,45 \text{ cm}^2$
 $= 6,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
 $1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 9,29 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
 $= 929 \text{ cm}^2$
 - Volume $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 = 3,35 \times 10^{-5} \text{ ft}^3$
 $= 6,10 \times 10^{-3} \text{ in}^3$
 $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^3 \text{ L} = 35,3 \text{ ft}^3$
 $= 6,10 \times 10^4 \text{ in}^3 = 264 \text{ gal}$
 $1 \text{ liter} = 10^3 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
 $= 0,264 \text{ gal}$
 $1 \text{ in.}^3 = 5,79 \times 10^{-4} \text{ ft}^3 = 16,4 \text{ cm}^3$
 $= 1,64 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
 $1 \text{ ft}^3 = 1728 \text{ in.}^3 = 7,48 \text{ gal}$
 $= 0,0283 \text{ m}^3 = 28,3 \text{ L}$
 $1 \text{ gal} = 231 \text{ in.}^3 = 0,134 \text{ ft}^3 = 3,785 \text{ L}$
 - Waktu $1 \text{ jam} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
 $1 \text{ hari} = 24 \text{ jam} = 1440 \text{ min}$
- Kecepatan $1 \text{ m/s} = 3,60 \text{ km/h} = 3,28 \text{ ft/s}$
 $= 2,24 \text{ mi/h}$
 $1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s} = 0,621 \text{ mi/h} = 0,911 \text{ ft/s}$
 $1 \text{ ft/s} = 0,682 \text{ mi/h} = 0,305 \text{ m/s} = 1,10 \text{ km/h}$
 $1 \text{ mi/h} = 1,467 \text{ ft/s} = 1,609 \text{ km/h} = 0,447 \text{ m/s}$
 $60 \text{ mi/h} = 88 \text{ ft/s}$
 - Gaya $1 \text{ N} = 0,225 \text{ lb}$
 $1 \text{ lb} = 4,45 \text{ N}$
 $1 \text{ kg pada permukaan bumi} = 2,2 \text{ lb} = 9,8 \text{ N}$
 $1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ N} = 2,25 \times 10^{-6} \text{ lb}$
 - Tekanan $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1,45 \times 10^{-4} \text{ lb/in.}^2$
 $= 7,5 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}$
 $1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa} = 0,02 \text{ lb/in.}^2$
 $1 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb/in.}^2 = 101,3 \text{ Pa} = 30 \text{ in.Hg}$
 $= 760 \text{ mm Hg}$
 $1 \text{ bar} = 105 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$
 - Energi $1 \text{ J} = 0,738 \text{ ft lb} = 0,239 \text{ cal}$
 $= 9,48 \times 10^{-4} \text{ Btu} = 6,24 \times 1018 \text{ eV}$
 $1 \text{ kkal} = 4186 \text{ J} = 3,968 \text{ Btu}$
 $1 \text{ kal} = 4,186 \text{ J} = 3,97 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 3,09 \text{ ft lb}$
 $1 \text{ ft lb} = 1,36 \text{ J} = 1,29 \times 10^{-3} \text{ Btu}$
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
 $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
 $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J} = 7,38 \times 10^{-6} \text{ ft lb}$
 - Daya $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0,738 \text{ ft lb/s}$
 $= 1,34 \times 10^{-3} \text{ hp} = 3,41 \text{ Btu/h}$
 $1 \text{ ft lb/s} = 1,36 \text{ W} = 1,82 \times 10^{-3} \text{ hp}$
 $1 \text{ hp} = 550 \text{ ft lb/s} = 745,7 \text{ W}$
 $= 2545 \text{ Btu/h}$

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, Arthur. 1990. *Konsep Fisika Modern*. Edisi keempat (terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Poon B. Sc., Danny, Dip. Ed. 1996. *Living Physics, MC Problems For HKCEE*. Hongkong: Goodman Publisher.
- Halliday, David. Resnick, Robert. 1996. *Fisika*. Jilid 1 &2 (terjemahan). Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pendidikan Nasional. 1989 - 2005. *Soal-soal UMPTN dan SPMB Fisika*. Jakarta.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2003. *Silabus Kurikulum Berbasis Kompetensi Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah Untuk Mata Pelajaran:Fisika*. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- J. Bueche, Frederick. Ph. D. 1992. *Seri Buku Schaum, Teori dan Soal-soal Fisika*. Edisi Ketujuh (terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Giancoli*. Jilid... (terjemahan). Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.
- Glencoe. 1999. *Glencoe PHYSICS, Principles and Problems*. New York: Mc. Graw-Hill Companies.
- Marcelo, Alonso. Edward, J. Finn. 1994. *Dasar-dasar Fisika Universitas*. Jilid... (terjemahan). Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- D. , Ken, G. , David, L. , David. 2002. *Physics*, Second Edition. London: Harper Col-lin Publishers Limited.
-2002. *The Young Oxford Library of Science Series*. New york: Oxford University Press.
-2004. *e-encyclopedia Science*. London: Dorling Kindersley Limited.

KUNCI FISIKA SMA KELAS X

Evaluasi Bab 1

- | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|
| 1. B | 4. C | 7. C | 10. E | 13. E |
| 2. A | 5. D | 8. E | 11. D | 14. E |
| 3. B | 6. C | 9. D | 12. B | 15. D |

Evaluasi Bab 2

- | | | |
|------|-------|-------|
| 1. E | 6. D | 11. C |
| 2. B | 7. A | 12. E |
| 3. D | 8. C | 13. C |
| 4. E | 9. D | 14. A |
| 5. D | 10. D | 15. D |

Evaluasi Bab 3

- | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 1. E | 6. D | 11. A | 16. E | 21. C |
| 2. D | 7. D | 12. D | 17. B | 22. C |
| 3. A | 8. C | 13. E | 18. B | 23. E |
| 4. B | 9. C | 14. A | 19. B | |
| 5. C | 10. D | 15. A | 20. D | |

Evaluasi Bab 4

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. B | 6. D | 11. D | 16. C |
| 2. A | 7. B | 12. C | 17. D |
| 3. D | 8. B | 13. B | 18. A |
| 4. E | 9. A | 14. B | 19. C |
| 5. A | 10. D | 15. D | 20. B |

Evaluasi Bab 5

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. C | 6. D | 11. A | 16. D |
| 2. A | 7. C | 12. B | 17. C |
| 3. D | 8. B | 13. B | 18. B |
| 4. D | 9. A | 14. D | 19. C |
| 5. D | 10. D | 15. C | 20. A |

Evaluasi Bab 6

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. A | 6. B | 11. E | 16. B |
| 2. D | 7. D | 12. B | 17. B |
| 3. A | 8. A | 13. C | 18. B |
| 4. B | 9. A | 14. A | 19. B |
| 5. C | 10. C | 15. D | 20. B |

Evaluasi Bab 7

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. D | 6. A | 11. E | 16. B |
| 2. B | 7. B | 12. B | 17. B |
| 3. B | 8. A | 13. A | 18. B |
| 4. C | 9. D | 14. D | 19. E |
| 5. D | 10. A | 15. D | 20. A |

Evaluasi Bab 8

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. E | 6. A | 11. C | 16. D |
| 2. E | 7. A | 12. E | 17. D |
| 3. E | 8. D | 13. D | |
| 4. B | 9. B | 14. A | |
| 5. D | 10. B | 15. D | |

Evaluasi Bab 9

- | | | | |
|------|------|------|------|
| 1. D | 3. A | 5. C | 7. C |
| 2. A | 4. C | 6. C | 8. B |

INDEKS FISIKA KELAS X

- A**
 Akomodasi, 129
 Ampermeter, 168
 Angka Penting, 3
 Arus listrik, 164
 Azaz Black, 152
- B**
 Berat, 84
 Besaran, 2
 Besaran pokok, 19
 Besaran skalar, 30
 Besaran turunan, 19
 Besaran vektor, 30
- C**
 Cahaya tampak, 196
 Cermin lengkung, 122
 Cross product, 42
- D**
 Daya listrik, 182
 Dimensi, 21
- E**
 Energi listrik, 181
- F**
 Frekuensi, 100
- G**
 Gaya gesek, 85
 Gaya gesek kinetik, 86
 Gaya gesek statis, 86
 Gaya normal, 84
 Gelombang elektromagnetik, 190
 Gelombang Mikro, 197
 Gelombang TV, 197
 Gerak jatuh bebas, 65
 Gerak melingkar horisontal, 115
 Gerak melingkar vertikal, 114
 Gerak vertikal, 65
- GLB**, 58
GLBB, 62
- H**
 Hambatan, 164
 Hambatan jenis, 167
 Hambatan paralel, 175
 Hambatan seri, 173
 Hipermetropi, 130
 Hukum aksi-reaksi, 94
 Hukum I Newton, 79
 Hukum II Newton, 82
 Hukum Ohm, 165
- I**
 Inersia, 79
 Inframerah, 196
- J**
 James Clerk Maxwell, 190
 Jangka Sorong, 11
 Jarak tempuh, 49
- K**
 Kaca mata, 129
 Kalor laten, 149
 Kapasitas kalor, 148
 Kecepatan rata-rata, 50
 Kecepatan sesaat, 50
 Kecepatan sudut, 101
 Kelajuan sesaat, 51
 Kekekalan energi, 153
 Konduksi, 155
 Konveksi, 156
- L**
 Lembam, 79
 Lensa, 125
 Lensa obyektif, 136
 Lensa okuler, 136
 Lup, 132
- M**
 Mata, 129
 Mengukur, 2
 Metode Analitis, 38
 Metode Jajaran Genjang, 36
 Metode Poligon, 37
- Mikrometer sekrup, 12
 Mikroskop, 136
 Miopi, 131
N
 Neraca, 13
 Nomius, 11
- P**
 Percepatan, 55
 Percepatan sudut, 102
 Percepatan sentripetal, 112
 Periode, 100
 Perpindahan, 48
 Presbiopi, 132
 Proyeksi vektor, 32
- R**
 Radiasi, 157
 Resultan vektor, 34
 Roda bersinggungan, 107
 Roda pusat, 107
- S**
 Satuan, 2
 Selisih vektor, 40
 Sinar Rontgen, 195
 Sinar - X, 195
 Sinar - γ , 195
 Sir Isaac Newton, 79
 Speedometer, 51
 Stopwatch, 14
 Suhu, 146
- T**
 Teropong, 139
 Teropong bintang, 139
 Teropong bumi, 140
 Teropong panggung, 140
 Termometer, 146
- U**
 Ultraviolet, 196
- V**
 Vektor segaris, 34
 Vektor tegak lurus, 34
- Voltmeter, 169

ISBN 978-979-068-166-8 (No. Jilid Lengkap)
ISBN 978-979-068-167-5

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BNSP) 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) Rp 10.767,-