

## 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:

Angka pasti = 8 gr

Angka taksiran = 0,9 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 tepat 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.



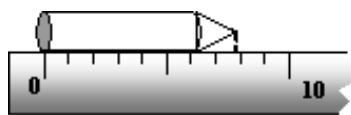
**Gambar 1.2**

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.

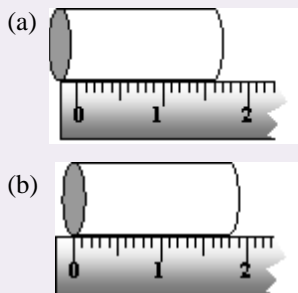




Gambar 1.3

### 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 ini 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. Simpulan apakah yang dapat kalian peroleh?

Tabel 1.1

V (ml)	m(gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
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/cm<sup>3</sup>. Jadi  $\rho$  tetap terhadap tambahan volume.

**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

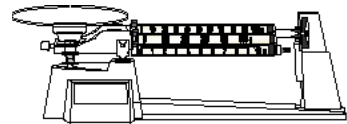
Dalam suatu pengukuran dan pengamatan sifat-sifat bayangan oleh lensa cembung diperoleh data seperti pada tabel 1.2. Coba kalian tentukan sifat-sifat yang ada dari data tersebut!

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.



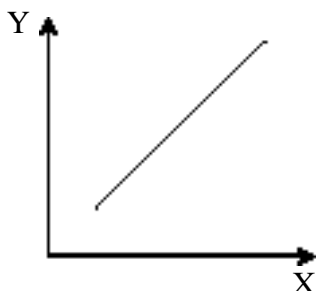
Gambar 1.4

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*.



**Gambar 1.5**  
Grafik X berbanding lurus dengan Y.

**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.

$$\begin{matrix} X & \sim & Y \\ \frac{X_1}{Y_1} & = & \frac{X_2}{Y_2} \end{matrix} \dots\dots\dots (1.1)$$

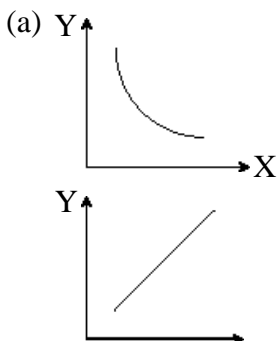
Hubungan berbanding lurus ini dapat digambarkan pada grafik dengan kurva yang linier seperti pada *Gambar 1.5*.

**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

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

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)*



**Gambar 1.6**  
Grafik Y berbanding terbalik dengan X

**CONTOH 1.3**

Sekelompok siswa 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  $\bar{V}$  dengan volt meter dan kuat arus I dengan amperemeter. 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

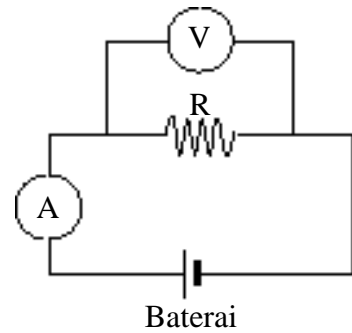
### c. Metode perhitungan statistik

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.

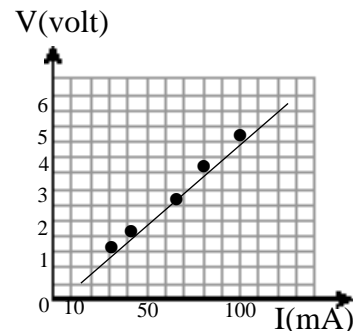
Besaran-besaran fisika ada yang dapat diukur langsung dengan alat ukur tetapi ada pula yang tidak dapat diukur langsung. Besaran yang belum memiliki alat ukur inilah yang dapat diukur dengan besaran-besaran lain yang punya hubungan dalam suatu perumusan fisika. Contohnya mengukur massa jenis benda. Besaran 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



**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		$\Sigma x$		$\Sigma  x - \bar{x} ^2$

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

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

dan  $\Delta x = \sqrt{\frac{\Sigma |x - \bar{x}|}{n(n-1)}}$  ..... (1.3)

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

$\Delta x$  = 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 di hitung nilai hambatan yang di gunakan. Tentukan nilai hambatan R tersebut!

#### Penyelesaian

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

R 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)	$R = \frac{V}{I}$ (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 pengukur

$$\frac{5}{250} = 0,02 \text{ atau } 2 \%$$

b. Rentang nilai x adalah:

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

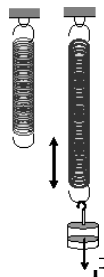
$$= 245 \text{ s.d } 255$$



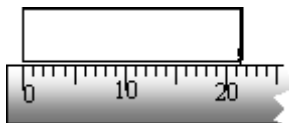
**LATIHAN 1.1**

- Seorang siswa melakukan pengukuran seperti di bawah. Coba kalian tentukan apakah besaran dan satuannya?
  - Lantai ruangnya 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!
 

a. 21,5 cm	d. 21,8 cm
b. 21,3 cm	e. 21,65 cm
c. 21,75 cm	
- 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  $\Delta x$  yang diberikan gaya  $F$  seperti pada gambar. Data yang diperoleh tertulis



No	F (N)	$\Delta x$ (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



- 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!
 

a. $302,6 \pm 0,05$ gr
b. $21,15 \pm 0,05$ gr

Lakukan pengolahan data pada tabel tersebut untuk:

- menentukan hubungan antara gaya tarik pegas  $F$  dengan perpanjangan pegasnya  $\Delta x$ ,
- menentukan konstanta pegas yaitu konstanta perbandingan antara gaya tarik  $F$  dengan perpanjangan pegas  $\Delta x$

### 3. Alat Ukur Panjang, Massa dan Waktu

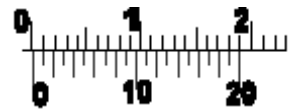
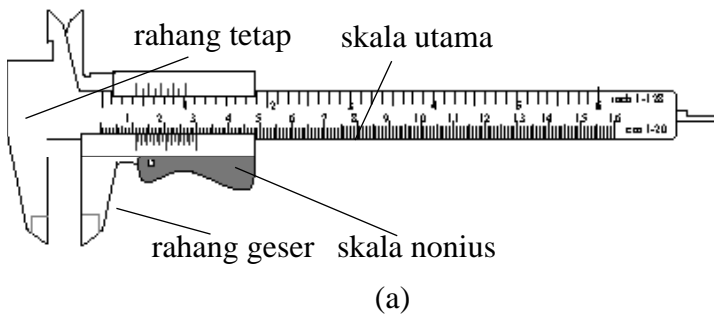
Alat ukur besaran-besaran fisika sangat banyak tetapi di kelas X SMA ini dikenalkan tiga alat ukur besaran pokok yaitu panjang, massa dan waktu. Beberapa alat ukur besaran tersebut dapat dicermati seperti berikut.

**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 sorong (geser)* yang memuat *skala nonius*.



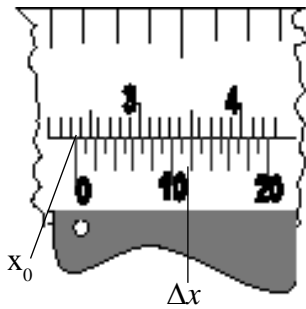
**Gambar 1.9**  
Gambar jangka sorong (a) dan ukuran skala noniusnya (b).

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  $(20-19) : 20 = 0,05$  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.

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

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:

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

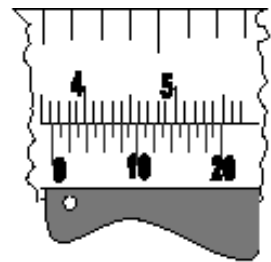
$$\Delta x = 12$$

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.*

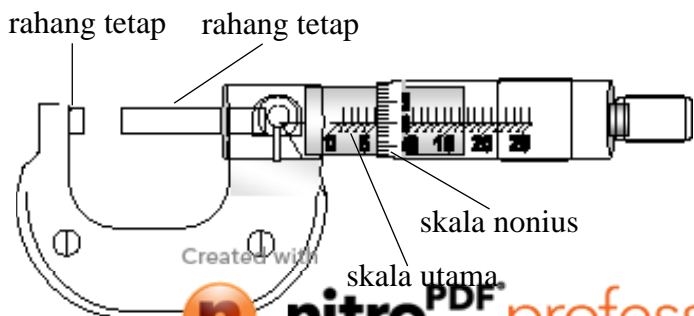
Tentukan hasil pembacaan jangka sorong yang digunakan untuk mengukur diameter kelereng seperti pada gambar.



**(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



**Gambar 1.11**  
Mikrometer

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

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

- dengan :  $x$  = hasil pengukuran
- $x_0$  = skala utama sebelum batas rahang putar
- $\Delta x$  = 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:

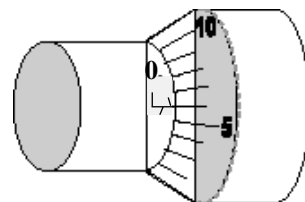
$$x_0 = 1 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 6$$

Berarti hasil pengukurannya sebesar:

$$x = x_0 + \Delta x \cdot 0,01$$

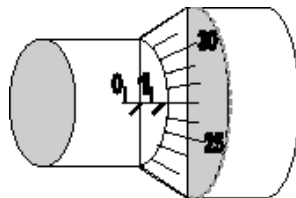
$$= 1 + 6 \cdot 0,01 = 1,06 \text{ mm}$$



**Gambar 1.12**  
Penunjukkan skala mikrometer sekrup

*Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.*

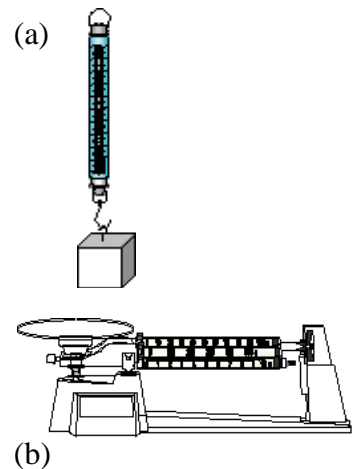
Tentukan hasil pengukuran dengan mikrometer sekrup yang tampak skalanya seperti pada gambar.



**b. Alat ukur massa**

Kalian tentu sudah tidak asing lagi dengan pengukur massa. Setiap saat kalian perlu menimbang massa kalian untuk data tertentu. Alat pengukur itu dikenal dengan nama neraca. Namun beberapa neraca yang digunakan sering dinamakan timbangan. Pada Gambar 1.13 diperlihatkan berbagai jenis neraca ; neraca badan, neraca pegas, neraca O'hauss dan neraca analitis. Neraca badan memiliki skala terkecil 1 kg, neraca pegas 1 gr, neraca O'hauss 0,1 gr sedangkan neraca analitis hingga 1 mg.

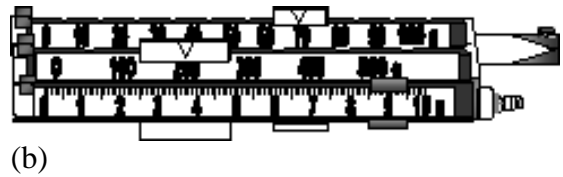
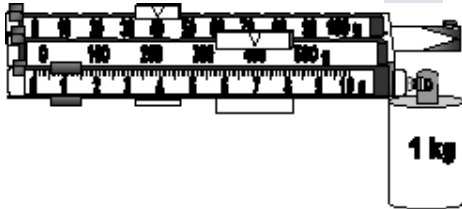
Neraca yang sering digunakan di laboratorium adalah neraca O'hauss. Hasil pengukuran dengan neraca sesuai dengan jumlah pembanding yang digunakan. Untuk memahaminya cermati contoh 1.7 berikut.



**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?



**Gambar 1.14**  
Penunjukkan skala neraca O'hauss.

**Penyelesaian**

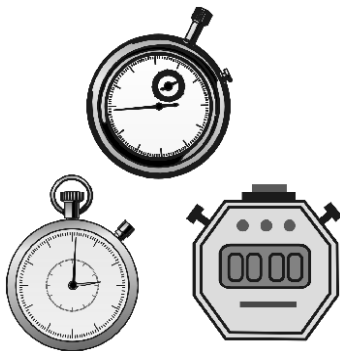
Hasil pengukuran dengan neraca O'hauss adalah jumlah dari pembanding-pembanding yang digunakan, sehingga dari *Gambar 1.14(a)* dapat diperoleh:

$$M = 1\text{kg} + 400\text{ gr} + 40\text{ gr} + 1\text{ gr}$$

$$= 1441\text{ gr} = 1,441\text{ kg}$$

*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)*.

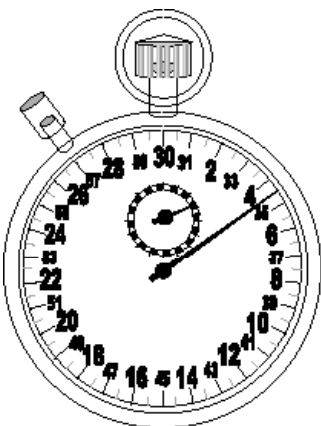


**Gambar 1.15**  
Stop watch

**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 stop watch, 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.



**Gambar 1.16**  
Penunjukan stop watch

**CONTOH 1.8**

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

**Penyelesaian**

Jarum pendek: 2 menit

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

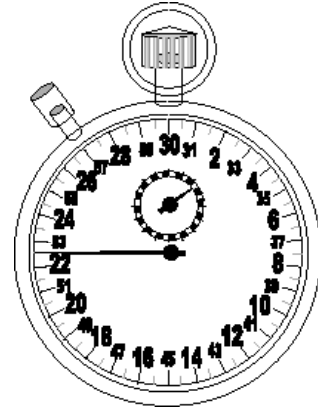
Jadi waktu yang dibutuhkan memenuhi:

$$t = 2 \text{ menit} + 34,5 \text{ detik}$$

$$= 120 \text{ detik} + 34,5 \text{ detik} = 154,5 \text{ detik}$$

*Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.*

Tentukan besar selang waktu yang ditunjukkan stop-watch 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.  $l = 3,2 \text{ cm}$ . 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.

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

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  $l = 3,2 \text{ cm} = 0,032 \text{ m}$ . Perubahan satuan ini sebaiknya dalam bentuk  $l = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . Penulisan ini tetap memiliki dua angka penting. Begitu pula dalam mm,  $l = 3,2 \cdot 10^1 \text{ mm}$  (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

$$\text{a. } X = 25, 10\underline{2} + 1, \underline{5}$$

$$\text{b. } Y = 6,27\underline{8} - 1,2\underline{1}$$

Tentukan nilai X dan Y!

#### Penyelesaian

a. Penjumlahan :

$$25, 10 \underline{2}$$

$$+ 1, \underline{5}$$

$$\hline 26, 60 \underline{2}$$

### Aktiflah

Bilangan-bilangan berikut merupakan hasil pengukuran panjang sebuah benda dengan berbagai alat ukur.

a.  $x = 2,3$  cm

b.  $x = 23,2$  mm

c.  $x = 23,24$  mm

Dari hasil pengukuran tersebut:

1. Berapakah jumlah angka penting tiap-tiap hasil pengukuran!
2. Apakah dugaan kalian tentang hubungan jumlah angka penting dengan pengukurannya?



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

b. Pengurangan:

$$\begin{array}{r} 6,278 \\ 1,21 \\ \hline 5,068 \end{array} -$$

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

**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

Tentukan nilai operasi berikut.

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

## 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.

$$\begin{array}{r} 35,1 \\ 2,6 \\ \hline 21,06 \\ 70,2 \\ \hline 91,26 \end{array} \times$$

Pembulatan :  $91$  (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

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

### Aktiflah

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

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

- Berapakah jumlah angka penting bilangan hasil pembagian tersebut? Jelaskan bagaimana kalian dapat menentukannya?
- Buktikan jawaban kalian dengan membagi bilangan tersebut!



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

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

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

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

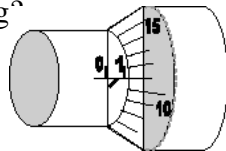
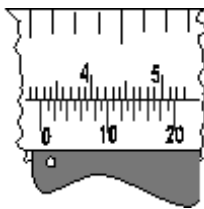
**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

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



## LATIHAN 1.2

- Dinda dan Endah melakukan pengukuran diameter tabung dengan jangka sorong. Hasilnya terlihat seperti gambar. Tentukan:
  - angka pastinya
  - angka taksirannya
  - hasil pengukurannya
- Seorang siswa yang mengukur tebal benda dengan mikrometer sekrup memperoleh keadaan seperti gambar. Tentukan hasil pengukuran tersebut! Bagaimana hubungannya dengan angka penting?



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



- Sebuah celah berukuran panjang 13,21 cm dan lebar 0,45 cm. Berapakah luas celah tersebut?
- 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?
- Selesaikan operasi-operasi angka penting berikut.
  - $x = 342,5 + 3,25$
  - $y = 63,26 - 5,7$
  - $z = 72,5 \times 1,2$
  - $u = 275,6 : 3,52$
- Coba kalian temukan cara menyederhanakan suatu hasil perkalian dan pembagian angka penting. Rumuskan cara tersebut!

Created by

## 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 satuannya 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 satuannya

No	Besaran	Lambang	Satuan
1	panjang	$\ell$	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 di tentukan berlaku secara internasional. Satuan-satuan standart itu telah mengalami perkembangan.

Contohnya:

**1 meter standart** adalah panjang jalur yang di lalui oleh cahaya pada ruang hampa udara selama selang waktu  $\frac{1}{299.792.458}$  sekon.

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

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

**Penting**

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

Contoh:

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

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 :

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

**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:

- a. Kecepatan:

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

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

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

- b. Percepatan:

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

- c. Gaya:

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

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

sama dengan newton (N)

- d. Tekanan:

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

$$= \frac{\text{kg } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \text{ sama dengan } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

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 kecepatan!

## 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  $\text{kg m s}^{-2}$ . 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	[ $\theta$ ]
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  $\vec{a}$

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

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

- Gaya  $F$

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

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

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

- Usaha  $W$

Usaha adalah gaya  $F$  kali perpindahan  $S$

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

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

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



*Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.*

- Tentukan dimensi besaran-besaran berikut.
- a. volume
  - b. massa jenis
  - c. tekanan
  - 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  $v_0^2 = 2 aS$ . Buktikan kebenaran persamaan itu dengan analisa dimensional!

#### Penyelesaian

Kalian pasti masih ingat satuan besaran-besaran tersebut.

kecepatan awal $v_0 = m/s$	→	$[v_0] = [L] [T]^{-1}$
percepatan $a = m/s^2$	→	$[a] = [L] [T]^{-2}$
jarak tempuh $S = m$	→	$[S] = [L]$

Persamaan:

$$v_0^2 = 2 a S$$

Dimensinya:

$$[v_0^2] = [a] [S]$$

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

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

Dimensi kedua ruas sama berarti persamaannya benar.

**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

Buktikan kebenaran persamaan-persamaan fisika berikut.

- a. Gaya kali selang waktu sama dengan perubahan momentum.

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

- b. Waktu jatuh suatu benda memenuhi:

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

### 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 perbandingan tidak memiliki dimensi. Misalnya:

- angka 2 pada  $v_0^2 = 2 aS$

- angka  $\frac{1}{2}$  pada  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

- angka  $2\pi$  pada  $t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

### (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 Archimides). Gaya tekan ke atas ini dipengaruhi oleh massa jenis fluida  $\rho$ , percepatan gravitasi  $g$  dan volume benda yang tercelup  $V$ . Tentukan persamaan gaya tekan ke atas tersebut!

#### Penyelesaian

Dime $\rightarrow$ i 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.

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

$$[M] [L] [T]^{-2} = \{[M] [L]^{-3}\}^x \{[L] [T]^{-2}\}^y \{[L]^3\}^z$$

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



Karena kedua ruas dimensinya harus sama maka dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Pangkat [M]} & : x = 1 \\ \text{Pangkat [T]} & : -2y = -2 \text{ berarti } y = 1 \\ \text{Pangkat [L]} & : -3x + y + 3z = 1 \\ & -3 \cdot 1 + 1 + 3z = 1 \text{ berarti } z = 1 \end{aligned}$$

Dari nilai  $x$ ,  $y$  dan  $z$  dapat diperoleh persamaan :  
 $F_A = \rho g V$

**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!



### LATIHAN 1.3

- Coba jelaskan kembali perbedaan dan hubungan besaran pokok dan besaran turunan!
- Apakah yang kalian ketahui tentang dimensi? Coba jelaskan secara singkat dan tepat.
- Tentukan satuan dan dimensi dari besaran-besaran berikut.
  - berat yaitu massa kali percepatan gravitasi,
  - tekanan hidrostatik,
  - gaya Archimedes,
  - energi potensial,
  - impuls yaitu gaya kali selang waktu!
- Setiap pegas yang ditarik dengan gaya  $F$  tertentu maka pegas itu akan bertambah panjang misalnya sebesar  $\Delta x$ . Hubungan  $F$  dan  $\Delta x$  telah dijelaskan dalam hukum Hooke yaitu  $F = k \Delta x$ .  $k$  dinamakan konstanta pegas. Tentukan dimensi dan satuan konstanta  $k$ !
- 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!
- Analisislah secara dimensional apakah persamaan berikut benar ataukah salah!
  - Setiap benda yang dipercepat secara konstan akan berlaku:  

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

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

$$F \cdot S = \frac{1}{2} m v^2$$
- 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!
- 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  $2\pi$ . 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. Analisnya dapat menggunakan grafik.

Hubungan *sebanding*:

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

Hubungan *berbanding terbalik*:

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

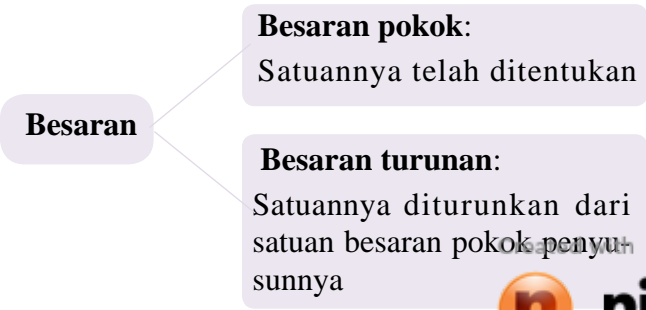
- c. Metode statistik yaitu metode pengukuran suatu besaran. Nilainya memenuhi nilai rata-rata:

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

dan ralat kesalahan mutlak:

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

- 3. Berdasarkan satuannya, besaran di bagi menjadi dua.



Y sebanding X

Y berbanding terbalik X



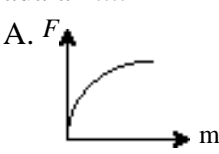
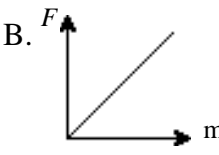
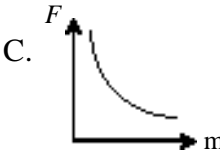
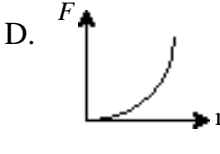
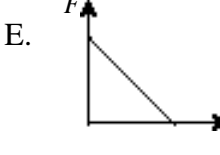
Tujuh besaran pokok, satuan dan dimensinya dapat dilihat pada tabel di bawah

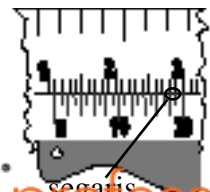
No	Besaran	Satuan	Dimensi
1	panjang	meter (m)	[ L ]
2	massa	kilogram (kg)	[ M ]
3	waktu	secon (s)	[ T ]
4	suhu	kelvin (K)	[ $\theta$ ]
5	kuat arus	ampere (A)	[ I ]
6	intensitas	candela (cd)	[ J ]
7	jumlah zat	mol	[ N ]

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

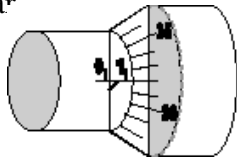
Pilihlah jawaban yang benar pada soal-soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

- 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



Created with

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’Haus 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<sup>2</sup>      D. 65,6 m<sup>2</sup>  
 B. 65,5 m<sup>2</sup>      E. 66 m<sup>2</sup>  
 C. 65,572 m<sup>2</sup>
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<sup>-1</sup> dan kg cm<sup>-1</sup>  
 B. joule.sekon<sup>-1</sup> dan dyne meter<sup>-1</sup>  
 C. newton.sekon dan g cm<sup>-3</sup>  
 D. liter dan newton cm  
 E. kg meter<sup>3</sup> 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 bersatuan newton (N) dan A = luas penampang bersatuan meter persegi (m<sup>2</sup>), maka dimensi tekanan P adalah ....
- A. MLT<sup>-1</sup>      D. ML<sup>3</sup>T<sup>-2</sup>  
 B. ML<sup>-1</sup>T<sup>-2</sup>      E. ML<sup>2</sup>T<sup>-1</sup>  
 C. ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>
13. Daya dapat ditentukan dari perkalian gaya dengan kecepatannya  $P = F.v$  Dimensi daya adalah ....
- A. MLT<sup>-3</sup>      D. ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>  
 B. MLT<sup>2</sup>      E. ML<sup>2</sup>T<sup>-3</sup>  
 C. ML<sup>2</sup>T<sup>-1</sup>
14. Besaran yang memiliki dimensi ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup> 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 ( $I = F. \Delta t$ )  
 C. daya ( $P = \frac{W}{t}$ )  
 D. energi potensial ( $E_p = mgh$ )  
 E. gaya ( $F = \frac{W}{s}$ )

# 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 (perkalian)

## 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 besarnya 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

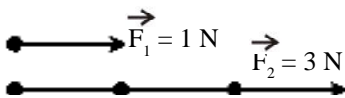
Di dalam ilmu fisika dikenal banyak sekali besaran. Masih ingat ada berapakah jenis besaran menurut satuannya? Tentu masih karena baru saja kalian pelajari bab pertama buku ini, yaitu ada dua : besaran pokok dan besaran turunan. Besaran juga dapat kalian bagi berdasarkan nilai dan arahnya. Berdasarkan 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  $\vec{F} = 20$  N ke kanan, kecepatannya  $v = 100$  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 *panah*.



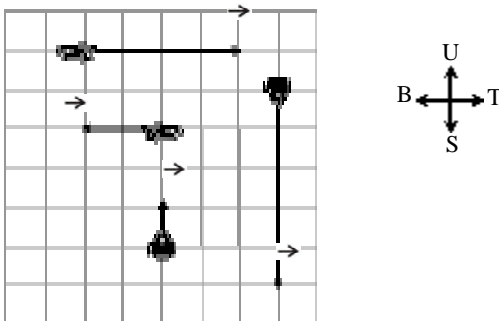
**Gambar 2.2**

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

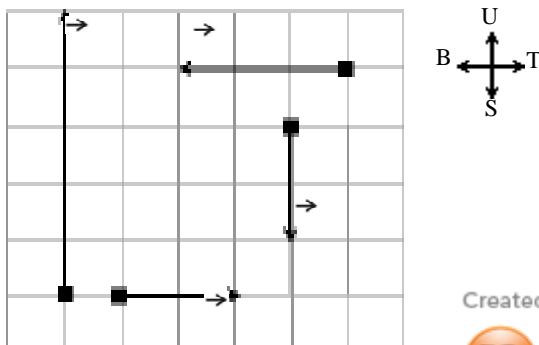
Perahu B :  $\vec{v}_B = 5$  m/s ke selatan (5 kotak)

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

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

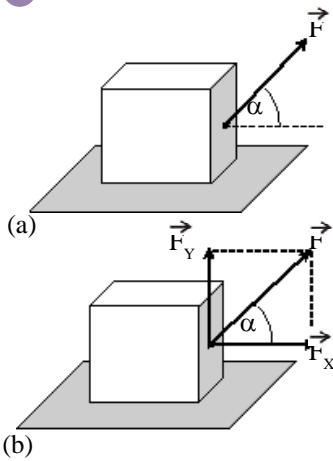
*Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.*

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



Created with

## B. Penguraian Vektor



**Gambar 2.4**  
Sebuah balok ditarik gaya  $\vec{F}$  dengan arah  $\alpha$  terhadap horisontal.

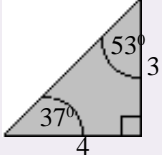
Coba kalian perhatikan sebuah balok bermassa  $m$  yang ditarik gaya  $\vec{F}$  yang membentuk sudut  $\alpha$  terhadap horisontal seperti pada *Gambar 2.4(a)*. Jika lantainya licin maka kemanakah balok akan bergerak? Tentu kalian langsung dapat memprediksikannya, yaitu ke kanan. Tetapi dapat ditanya 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  $\vec{F}_x$  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)*.

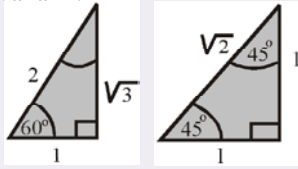
$$\begin{aligned} \vec{F}_x &= \vec{F} \cos \alpha \\ \vec{F}_y &= \vec{F} \sin \alpha \end{aligned} \dots\dots\dots(2.1)$$

**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  $v$ .

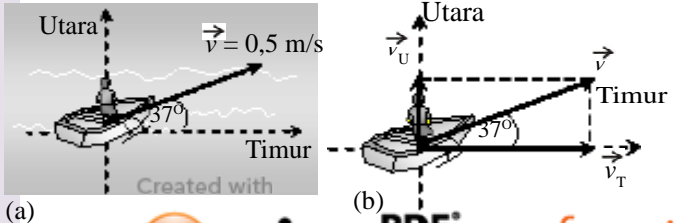
Jika diketahui dua komponen vektornya maka vektor yang diproyeksikan itu juga dapat ditentukan yaitu memenuhi dalil Pythagoras. Persamaannya sebagai berikut.

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

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!



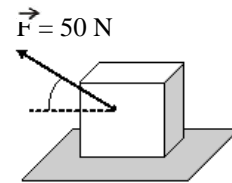
**Penyelesaian**

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

$$\begin{aligned} \vec{v}_T &= \vec{v} \cos 37^\circ \\ &= 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ m/s} \\ \vec{v}_U &= \vec{v} \sin 37^\circ \\ &= 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

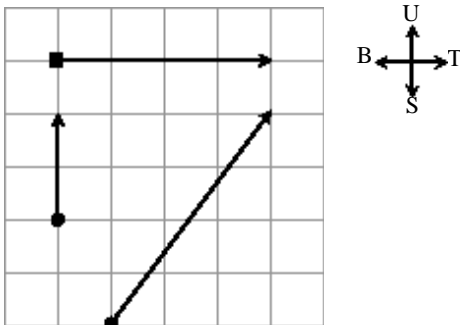
*Untuk lebih memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.*

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

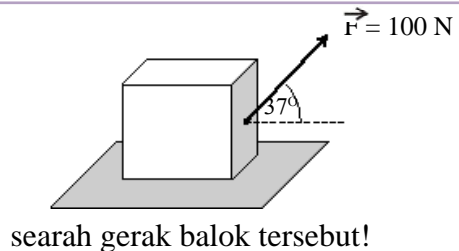


**LATIHAN 2.1**

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!

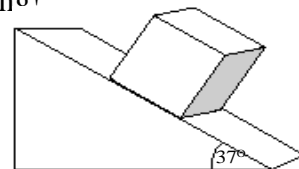


2. Sebuah benda mengalami perpindahan sejauh 50 m dengan arah  $60^\circ$  dari timur ke utara. Tentukan proyeksi perpindahan tersebut pada arah timur dan utara!
3. Balok yang cukup berat berada di atas lantai mendatar licin ditarik gaya  $F = 400 \text{ N}$  seperti pada gambar berikut. Tentukan proyeksi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



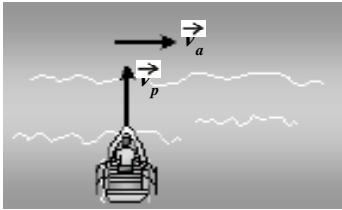
searah gerak balok tersebut!

4. 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!



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

## C. Resultan Vektor



**Gambar 2.6**

Perahu menyeberangi sungai menyalang 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 menyalang tegak lurus sungai yang airnya 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*.

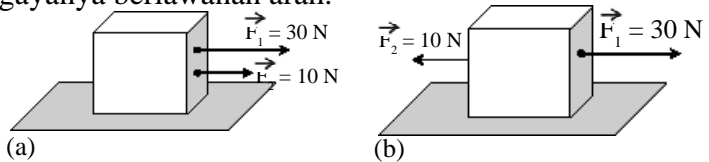
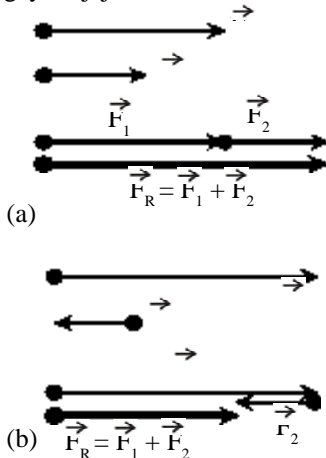
Dua vektor atau lebih yang bekerja pada suatu benda dapat memiliki arah yang bervariasi. Untuk memudahkan dalam mempelajarinya dapat dibagi menjadi vektor sejajar, vektor tegak lurus dan vektor dengan sudut tertentu. Untuk langkah selanjutnya pahami penjelasan berikut.

### 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  $(30 + 10) = 40$  N. Sedangkan pada bagian (b) : gaya yang dirasakan sebesar  $(30 - 10) = 20$  N. Perbedaan ini terjadi karena arah gaya yang tidak sama, bagian (a) gayanya searah sedangkan bagian (b) gayanya berlawanan arah.

**Gambar 2.7**

Balok yang dipengaruhi dua gaya sejajar.



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 2.8**

Resultan vektor secara grafis.

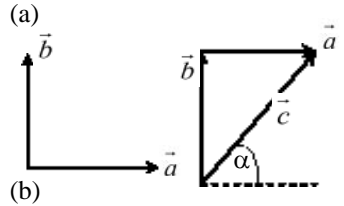
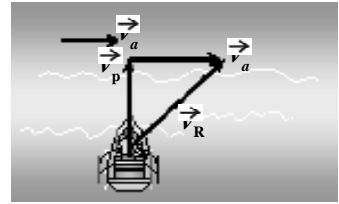


adalah miring. Resultan ini dapat digambarkan secara grafis seperti pada *Gambar 2.9*. Ternyata dua vektor yang saling tegak lurus maka resultannya dapat membentuk segitiga siku-siku. Sehingga besar vektor-vektor itu dapat memenuhi *dalil Pythagoras* seperti berikut.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{b}{a}$$

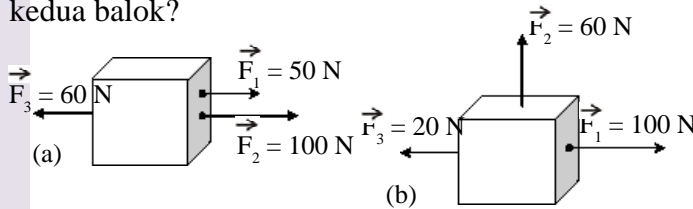
dengan :  $a, b$  = besar dua vektor yang saling tegak lurus  
 $c$  = besar resultan vektor  
 $\alpha$  = sudut resultan vektor terhadap vektor  $a$ .



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

**CONTOH 2.3**

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



**Gambar 2.10**

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

**Penyelesaian**

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

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

$$= 50 + 100 - 60 = 90 \text{ N ke kanan}$$

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

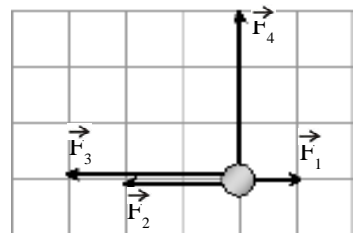
$\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  segaris berlawanan arah dan tegak lurus dengan  $\vec{F}_3$  sehingga berlaku *dalil Pythagoras*:

$$F_R = \sqrt{(F_1 - F_3)^2 + F_2^2}$$

$$= \sqrt{(100 - 20)^2 + 60^2} = \sqrt{6400 + 3600} = 100 \text{ N}$$

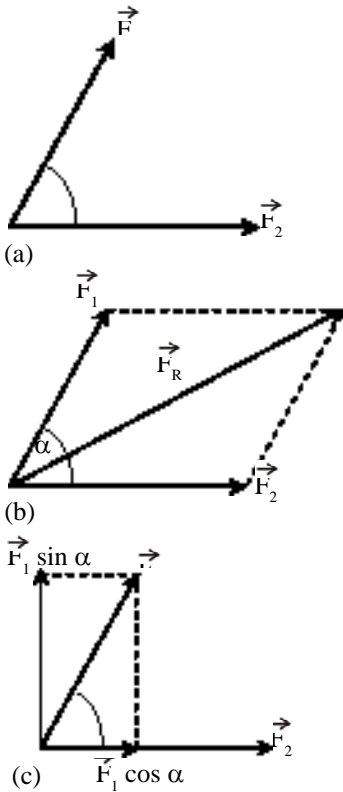
**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

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 2.11**

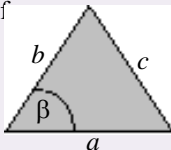
Bola ditarik empat gaya



Gambar 2.12

**Ingat**

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



Gambar 2.13

Perahu bergerak serong terhadap arah arus sungai

**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*. Pahami 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.

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

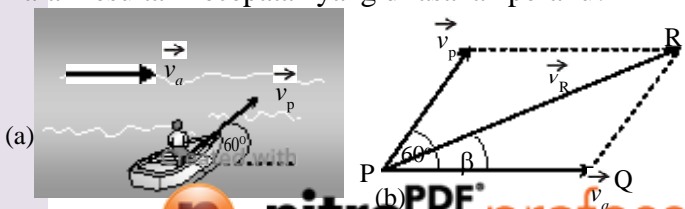
Pada pelajaran matematika kalian pasti mengenal rumus identitas  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ , sehingga resultan vektor di atas memenuhi:

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

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

**CONTOH 2.4**

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



**Penyelesaian**

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

$$v_p^2 = v_a^2 + v_p^2 + 2 v_a v_p \cos 60^\circ$$

$$= 2^2 + 3^2 + 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} = 19$$

$$v_R = \sqrt{19} = 4,4 \text{ m/s}$$

Arah resultan kecepatannya dapat digunakan rumus cosinus pada segitiga PQR.

$$v_p^2 = v_a^2 + v_R^2 - 2 v_a v_R \cos \beta$$

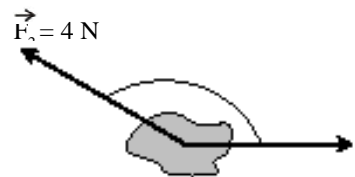
$$3^2 = 2^2 + (\sqrt{19})^2 - 2 \cdot 2 \cdot 4,4 \cos \beta$$

$$\cos \beta = \frac{-14}{17,6} = -0,8$$

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  $\vec{F}_1$ !



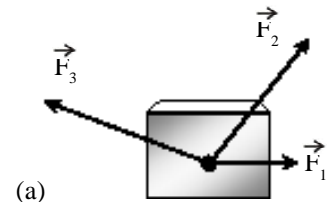
**Gambar 2.14**

**b. Metode Poligon**

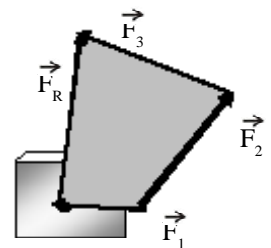
Meresultankan vektor juga bisa menggunakan metode poligon. Sudah tahukah kalian dengan metode poligon? *Metode poligon* adalah cara meresultankan vektor dengan cara menggambar. Salah satu vektor sebagai acuan dan vektor lain disambungkan dengan pangkal tepat pada ujung vektor sebelumnya. Resultan vektornya 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.



(a)

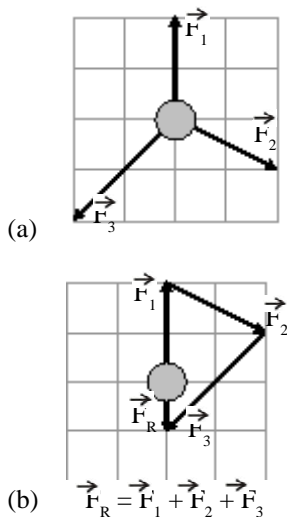


(b)

**Gambar 2.15**

**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 2.16**  
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  $37^\circ$  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.

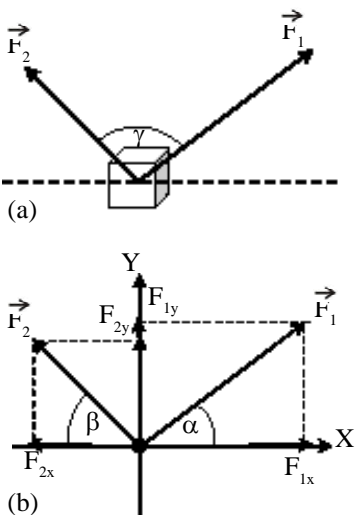
Jika beberapa vektor bekerja pada satu titik maka vektor-vektor itu dapat diproyeksikan pada dua arah yang saling tegak lurus. Vektor-vektor yang sejajar dapat ditentukan resultannya dengan cara menjumlahkan atau mengurangi. Masih ingat cara ini? Kedua resultan pada arah sejajar ini pasti saling tegak 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  $F_1$  dan  $F_2$  bekerja pada benda dengan sudut  $\gamma$ . Pada benda itu dapat dibuat sumbu X dan sumbu Y seperti pada *Gambar 2.17(b)*, sehingga besar  $F_1$  dan  $F_2$  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.

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



**Gambar 2.17**

dengan  $F_R =$  besar resultan gaya

$\theta =$  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:

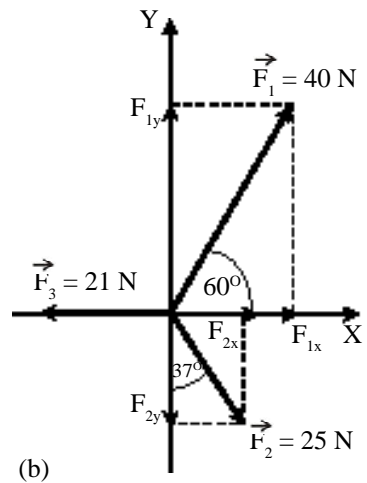
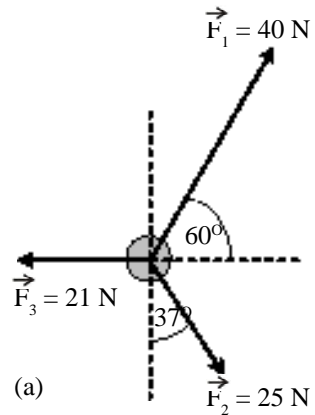
$$\begin{aligned} F_R^2 &= \Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2 \\ &= 14^2 + 14^2 = 392 \\ F_R &= \sqrt{392} = 14\sqrt{2} \text{ N} \end{aligned}$$

Dan arah  $F_R$  terhadap sumbu X memenuhi:

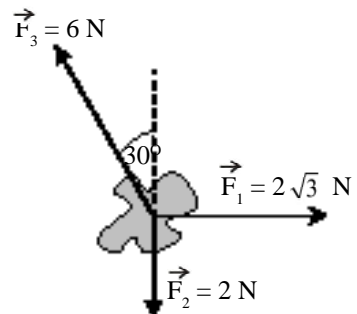
$$\begin{aligned} \text{tg } \theta &= \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} = \frac{14}{14} = 1 \\ \text{Berarti } \theta &= 45^\circ \end{aligned}$$

*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  $F_1$ ?



Gambar 2.18



Gambar 2.19

Tiga gaya bekerja pada satu titik seperti

### 4. Selisih Vektor

Kalian telah memahami tentang resultan 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:

$$\begin{aligned} \vec{c} &= \vec{a} - \vec{b} \\ \vec{c} &= \vec{a} + (-\vec{b}) \end{aligned} \dots\dots\dots(2.6)$$

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:

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

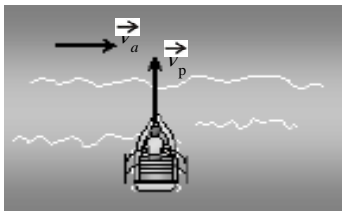
Selisih vektor kecepatan ini dapat dianggap resultan dari vektor  $v_p$  dan vektor  $(-\vec{v}_a)$ . Resultan ini dapat digambarkan seperti pada *Gambar 2.20(b)*. Dari gambar itu maka besar kecepatan relatifnya memenuhi:

$$\begin{aligned} v_{rel}^2 &= v_p^2 + v_a^2 \\ &= 4^2 + 3^2 = 25 \\ v_{rel} &= \sqrt{25} = 5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

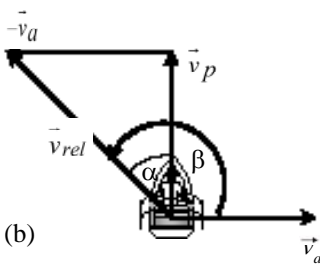
Arah kecepatan relatif itu dapat ditentukan dengan perbandingan trigonometri berikut.

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

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



(a)



(b)

Gambar 2.20

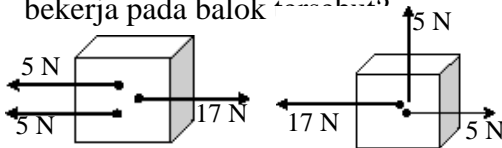
**Untuk lebih memahami contoh ini dapat kalian coba soal berikut.**

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



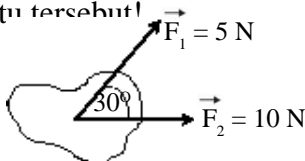
## LATIHAN 2.2

- 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!



- Sebuah perahu akan menyeberangi sungai yang airnya mengalir ke utara dengan kecepatan arus 2,4 m/s. Kemudian perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan 3,2 m/s dijalankan dengan arah tepat tegak lurus arus menuju seberang sungai. Tentukan besar dan arah kecepatan resultan perahu tersebut!

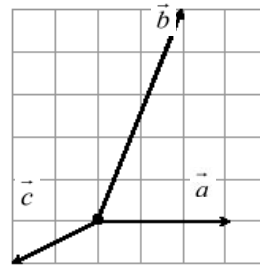
- Sebuah batu ditarik oleh dua gaya seperti pada gambar di bawah. Tentukan resultan gaya yang bekerja pada batu tersebut!



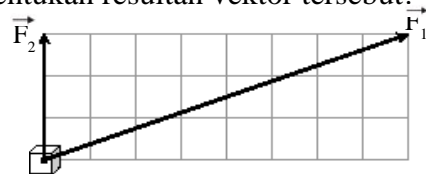
- Seseorang mengemudikan perahu dengan besar kecepatan 4 m/s menyeberangi sungai yang arusnya juga 4 m/s. Kemanakah perahu harus

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

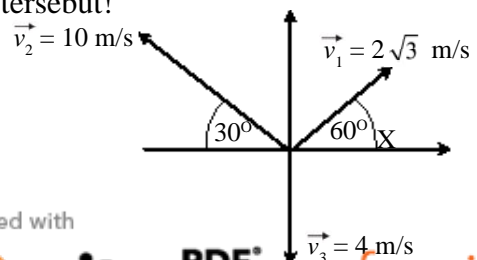
- Vektor-vektor yang bekerja dari suatu titik dapat dilihat seperti gambar. Jika satu kotak mewakili 1 satuan maka tentukan besar dan arah resultan vektor terhadap vektor  $\vec{a}$ !



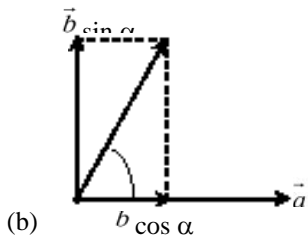
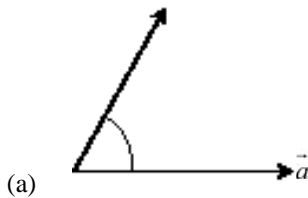
- Pada balok bekerja dua gaya yang dapat dipasang pada kertas berpetak seperti gambar di bawah. Jika satu petak mewakili 3 newton maka tentukan resultan vektor tersebut!



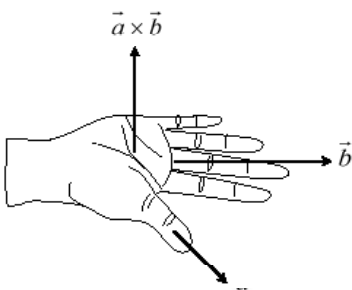
- Tiga buah vektor kecepatan bekerja dari satu titik seperti pada gambar di bawah. Tentukan resultan kecepatan tersebut!



## 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  $\alpha$ . 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.

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

dengan :  $a$  = besar vektor  $\vec{a}$   
 $b$  = besar vektor  $\vec{b}$

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

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

### CONTOH 2.8

- Balok yang berada pada bidang datar licin ditarik oleh gaya 200 N dengan arah membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap arah horisontal seperti pada Gambar 2.23. Pada saat balok berpindah 8 m maka tentukan usaha yang dilakukan oleh gaya F.

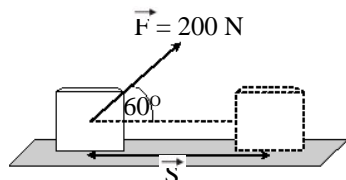
#### Penyelesaian

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



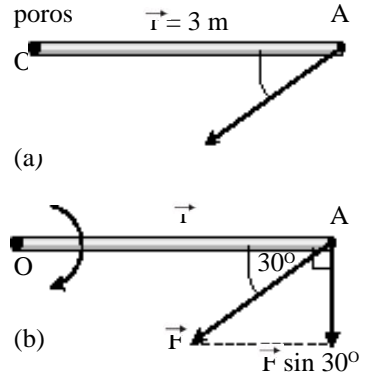
2. Perhatikan Gambar 2.24(a). Sebuah batang OA sepanjang 3 m dengan titik O sebagai poros yang dapat menjadi sumbu putar. Pada titik A ditarik gaya  $F = 50 \text{ N}$  dengan sudut  $30^\circ$ . Batang tersebut dapat berputar karena memiliki momen gaya. Momen gaya didefinisikan sebagai hasil perkalian 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  $\tau$  adalah masuk bidang gambar.



Gambar 2.24

*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.

**Ingat**

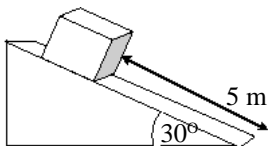
Perkalian vektor memiliki sifat seperti berikut :

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

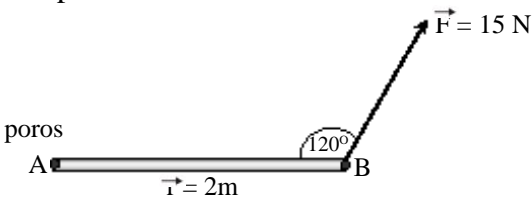


**ATIHAN 2.3**

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?

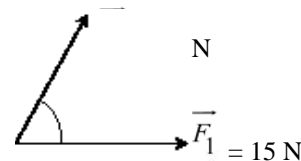


2. Perhatikan gaya yang bekerja pada batang berikut. Tentukan besar momen gaya yang bekerja pada batang dengan poros titik A. Diketahui  $\tau = \vec{r} \times \vec{F}$ .



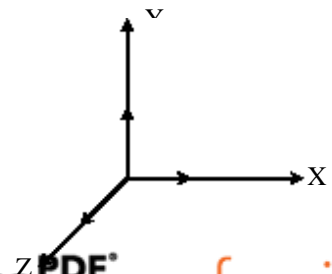
3. Dua vektor membentuk sudut  $53^\circ$  ( $\sin 53^\circ = 0,8$ ) seperti pada gambar. Tentukan nilai dari :

- a.  $\vec{F}_1 \times \vec{F}_2$
- b.  $\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2$

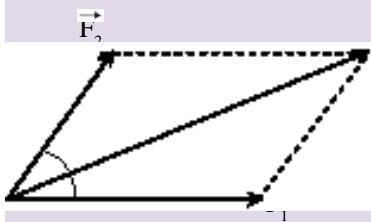
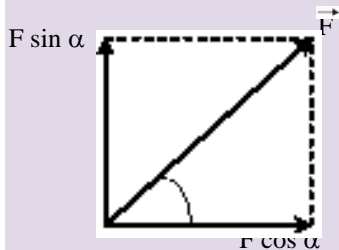
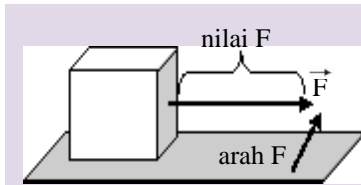


4. Vektor satuan pada arah sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z dinotasikan dengan  $i, j,$  dan  $k$  seperti pada gambar. Dengan menggunakan persamaan 2.6, tentukan:

- a.  $\vec{i} \cdot \vec{j}$
- b.  $\vec{i} \cdot \vec{j}$
- c.  $\vec{k} \cdot \vec{k}$
- d.  $\vec{i} \times \vec{j}$
- e.  $\vec{j} \times \vec{k}$
- f.  $\vec{j} \times \vec{i}$



## Rangkuman Bab 2



1. *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.
2. 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.
3. Resultan vektor sejajar atau segaris dapat langsung dijumlahkan jika searah dan dikurangkan jika berlawanan arah.
4. Dua vektor yang saling tegak lurus maka resultannya dapat digunakan metode grafis (poligon) sehingga membentuk segitiga siku-siku. Besar resultannya memenuhi *dalil Pythagoras*.
5. Jika dua vektor membentuk sudut  $\alpha$  maka resultannya dapat digunakan metode *jajaran genjang*. Gambarnya dapat dilihat di samping dan berlaku rumus aturan cosinus.
 
$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$
6. *Metode poligon* (metode grafis) merupakan cara meresultankan vektor dengan menyambungkan gambar-gambar vektor tersebut.
7. *Metode analitis* dapat dilakukan dengan langkah:
  - a. memproyeksikan vektor-vektor pada dua sumbu tegak lurus,
  - b. menentukan resultan setiap proyeksi :  $\Sigma F_x$  dan  $\Sigma F_y$ ,
  - c. resultan vektor memenuhi *dalil Pythagoras*.

$$F_R = \sqrt{\Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2} \quad \text{dan} \quad \text{tg } \alpha = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$$

8. Perkalian vektor ada dua jenis yaitu:
  - a. *Perkalian titik (dot product)*  
 $\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha \rightarrow$  hasil skalar
  - b. *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.

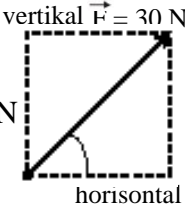
- Besaran-besaran berikut yang dipengaruhi arahnya adalah ....
  - massa
  - waktu
  - usaha
  - jarak
  - kecepatan
- Perhatikan gambar. Proyeksi vektor pada arah vertikal dan horizontal sebesar ....
  - 15 N dan  $15\sqrt{3}$  N
  - $15\sqrt{3}$  N dan 15 N
  - $15\sqrt{2}$  N dan  $15\sqrt{2}$  N
  - 30 N dan  $30\sqrt{3}$  N
  - $30\sqrt{3}$  N dan 30 N

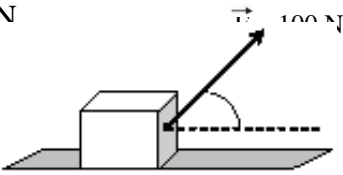
Diagram description: A vector  $\vec{F} = 30 \text{ N}$  is shown as the hypotenuse of a right-angled triangle. The vertical side is labeled 'vertikal' and the horizontal side is labeled 'horizontal'. The vector is at an angle to the horizontal.
- Sebuah balok cukup berat berada di atas lantai mendatar licin ditarik gaya seperti pada gambar.  $\text{tg } 37^\circ = 0,75$ . Komponen gaya yang searah gerak benda tersebut adalah ....
  - $50\sqrt{3}$  N
  - 80 N
  - 75 N
  - 60 N
  - 50 N

Diagram description: A rectangular block sits on a horizontal surface. A force vector  $\vec{F} = 100 \text{ N}$  is applied to the block, pulling it upwards and to the right at an angle to the horizontal surface.
- Perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan 1,2 m/s bergerak menelusuri sungai searah arusnya. Jika kecepatan arus air saat itu sebesar 0,5 m/s maka resultan vektor tersebut sebesar ....
  - 0,6 m/s
  - 0,7 m/s
  - 1,3 m/s
  - 1,7 m/s
  - 2,4 m/s
- Seseorang ingin menyeberangi sungai deras dengan perahu yang mampu bergerak dengan kecepatan 2 m/s. Kecepatan arus sungai 1,2 m/s. Supaya orang tersebut dapat menyeberang sungai secara tegak lurus arus sungai maka perahunya harus diarahkan dengan sudut  $\alpha$  terhadap arus sungai. Besar  $\alpha$  adalah ....
  - $37^\circ$
  - $53^\circ$
  - $90^\circ$
  - $127^\circ$
  - $143^\circ$
- Vektor  $\vec{a} = 3$  satuan, vektor  $\vec{b} = 4$  satuan dan  $\vec{a} + \vec{b} = 5$  satuan, besar sudut yang diapit oleh vektor  $\vec{a}$  dan  $\vec{b}$  adalah ....
  - $90^\circ$
  - $45^\circ$
  - $60^\circ$
  - $120^\circ$
  - $180^\circ$

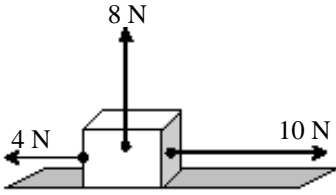
(EBTANAS, 1986)
- Sebuah balok ditarik tiga gaya seperti pada gambar. Resultan gaya yang bekerja pada balok sebesar ....
  - 2 N
  - 6 N
  - 10 N
  - 14 N
  - 22 N

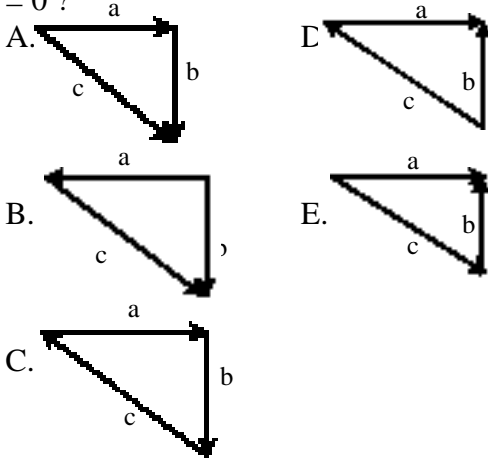
Diagram description: A rectangular block sits on a horizontal surface. Three force vectors are applied to it: a 4 N force pointing to the left, an 8 N force pointing upwards, and a 10 N force pointing to the right.
- Dua buah gaya sama besar yaitu 10 N membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain. Selisih kedua vektor tersebut adalah ....
  - 0 N
  - $10 \text{ N}$
  - $10\sqrt{2} \text{ N}$
  - $10\sqrt{3} \text{ N}$
  - 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 ....

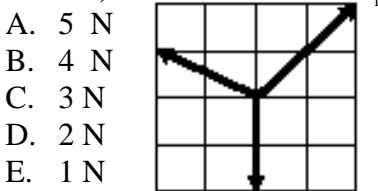
- A.  $30^\circ$
- B.  $37^\circ$
- C.  $45^\circ$
- D.  $60^\circ$
- E.  $120^\circ$

(SPMB, 2002)

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



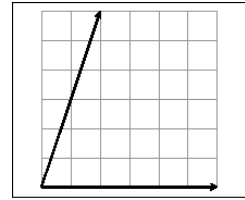
11. Tiga buah vektor gaya terlihat seperti gambar. Besar resultan ke tiga gaya tersebut adalah .... (1 skala = 1 newton)



- 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 resultan kedua vektor adalah ....

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

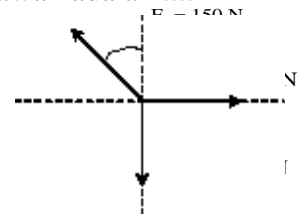


13. Tiga buah vektor diresultankan dengan metode poligon ternyata dapat membentuk segitiga. Berarti resultannya adalah ....

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

14. Besar resultan 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 resultan 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

