

# Pengukuran

A. Arkundato, S.Si., M.Si.



## PENDAHULUAN

---

Untuk dapat memahami dan mengerti fisika dengan baik, harus dimulai dari mempelajari konsep-konsep dasar yang diperlukan dalam fisika. Konsep-konsep dasar tersebut yang sangat penting adalah mengenai besaran fisis beserta satuannya, aturan-aturan bagaimana menuliskan besaran dan satuan itu, konsep analisis dimensi sampai dengan konsep pengukuran.

Pada Modul 1 ini akan disampaikan dan dijelaskan hal-hal mengenai besaran dan satuan, sampai dengan konsep pengukuran. Diharapkan setelah mempelajari modul ini Anda dapat:

1. menjelaskan arti besaran pokok dan besaran turunan dalam fisika,
2. menjelaskan arti besaran turunan beserta satuannya dalam fisika,
3. menjelaskan hasil pengukuran besaran-besaran fisika dalam sistem internasional,
4. melakukan pengukuran besaran-besaran dasar (pokok) secara teliti dengan menggunakan alat ukur yang sesuai dan sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari,
5. mengolah hasil pengukuran.

Modul 1 ini telah diusahakan untuk dapat memberikan materi kuliah yang lengkap, penting dan mudah dipelajari dan disampaikan secara *step-by-step*. Materi-materi yang diberikan dalam modul ini telah disesuaikan dengan materi-materi yang *up-to-date* berdasarkan sumber-sumber di internet dan buku-buku baru.

Selanjutnya, untuk dapat menguasai materi yang ada dalam modul ini disarankan mahasiswa membuat ringkasan sendiri setelah membaca modul ini, kemudian menyempurnakan apa yang telah dipelajari dengan membuka-buka situs-situs fisika di internet dengan mencari hal-hal baru menyangkut materi yang sedang dipelajari.

**Selamat Belajar!**

## KEGIATAN BELAJAR 1

## Besaran Pokok dan Besaran Turunan

Di dalam Fisika kita berusaha menggunakan metode ilmiah untuk menemukan prinsip-prinsip dasar yang mengatur cahaya (gelombang) dan materi (partikel), dan mencari implikasi dari hukum-hukum itu. Dengan sains (ilmu) fisika kita berusaha menerangkan bagaimana lingkungan bekerja dan apa efeknya pada kita. Fisika juga merupakan ilmu eksperimental (*experimental science*) di mana hukum-hukumnya dirumuskan berdasarkan data-data (fakta-fakta) yang diperoleh dari pengukuran-pengukuran secara eksperimen. Oleh karena itu, keunggulan dari fisika adalah apakah hukum-hukumnya dapat diterapkan dengan baik pada situasi baru dan memprediksi apa yang akan (dapat) terjadi?

Mengapa semua ilmuwan memerlukan pengetahuan tentang fisika? Ini karena prinsip-prinsip dan hukum-hukum fisika pada umumnya dapat diterapkan untuk semua hal. Sebagai contoh, penggunaan pasif dari hukum-hukumnya untuk **menerangkan** berbagai fenomena-fenomena dalam biologi, kedokteran, geologi, kimia, lingkungan dan berbagai hal lainnya. Sementara itu penggunaan aktif dari hukum-hukum ini adalah dapat digunakan untuk **memecahkan** problem-problem dalam sains itu sendiri.

Penelitian ilmiah dapat dinyatakan dalam dua tahap: (1) Pengembangan generalisasi yang muncul dari pengamatan-pengamatan (observasi) fenomena fisis yang diulang dan (2) bagaimana menerangkan generalisasi yang didapat menggunakan logika-logika yang masuk akal. Selanjutnya penelitian-penelitian tersebut dapat menghasilkan (dirumuskan) hipotesis, teori, postulat dan hukum. Kerja eksperimental yang berkaitan dengan pengambilan data-data eksperimen tidak hanya melulu bagaimana membuat **pengukuran-pengukuran besaran** (besaran fisis), namun seharusnya lebih dari itu juga menguji teori dan hukum fisika yang muncul sehingga selalu ada perbaikan yang terus-menerus pada hukum/teori fisika yang ada, yang secara tidak langsung akan memperbaiki metode-metode pengukuran itu sendiri.

Pada Kegiatan Belajar 1 ini saudara akan mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan konsep pengukuran dan besaran fisis dalam fisika. Termasuk juga dalam hal ini satuan-satuan yang digunakan untuk menyatakan nilai besaran fisis tersebut. Hal-hal ini adalah hal yang perlu diketahui sebelum kita belajar fisika lebih jauh.

## A. PENGUKURAN, BESARAN DAN SATUAN

Pengukuran-pengukuran besaran fisis di atas dapat mencakup berbagai besaran seperti kecepatan, temperatur, gaya, arus listrik, waktu dan ratusan besaran fisis yang lain. Tentu saja pengukuran besaran yang barangkali sering saudara lakukan adalah mengukur panjang benda seperti buku misalnya. Dalam mengukur panjang buku saudara biasanya menggunakan alat ukur yang disebut penggaris. Dalam penggaris ada skala-skala panjang tertentu. Hasil ukur panjang buku yang saudara ukur adalah berupa angka yang terbaca pada penggaris. Dalam hal ini besaran fisis yang saudara ukur adalah panjang. Secara umum **besaran** (besaran fisis) adalah sesuatu yang dapat dinyatakan keberadaannya dengan suatu angka atau nilai. Sedangkan **pengukuran** adalah proses mengukur suatu besaran, yaitu membandingkan nilai besaran yang sedang kita ukur dengan besaran lain sejenis yang dipakai sebagai acuan. Dalam hal pengukuran panjang buku di atas kita membandingkan *panjang* (besaran) buku dengan *panjang* (besaran sejenis) penggaris sebagai acuan. Apakah ada sesuatu yang bukan besaran? Sesuatu yang dapat diwakili dengan angka adalah sesuatu yang dapat diukur dengan alat ukur. Keindahan, kesenangan apa dapat diukur dengan alat? Tampaknya keindahan bagi seseorang belum tentu sama indahnya bagi orang lain. Jadi keindahan sangat relatif dan tidak dapat diukur eksak. Jadi keindahan bukan besaran fisis. Demikian juga manakala kita mengukur, maka acuan ukuran yang digunakan dapat berbeda. Mengukur panjang meja dengan meteran kita bisa mengatakan panjangnya 100 cm (baca: centimeter) misalnya. Sebaliknya jika acuan kita adalah sebatang pensil maka panjang meja itu kita katakan misalnya 6 pensil. Jadi kita perlu mendefinisikan apa yang disebut **satuan** sebagai ukuran terkecil apa nilai besaran fisis itu dinyatakan. Jadi panjang meja jika kita nyatakan dalam satuan cm, misalnya disebutkan 100 cm. Karena itu kita perlu mem-**baku**-kan satuan yang digunakan supaya dapat diterima di mana-mana oleh semua orang. Artinya jika kita menyatakan panjang buku adalah 30 cm maka orang lain yang kita beri tahu akan mengerti makna dari 30 cm tersebut. Coba jika saudara memberi tahu pada orang tersebut bahwa panjang buku adalah 3 pensil! Apakah orang tersebut mengerti?

## B. BESARAN DAN SATUAN BAKU (STANDAR)

### 1. Besaran dan Satuan Dasar (Pokok)

Sampai di sini kita sudah mengetahui bahwa dalam fisika kita memerlukan *satuan baku* untuk menyatakan nilai suatu besaran supaya dapat dimengerti oleh komunitas fisika. Fisikawan seharusnya menggunakan satuan internasional yang definisinya disetujui oleh sebuah komite saintis internasional. (<http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>).

Untuk menyatakan satuan baku (standar) ada berbagai cara, misalnya dua yang dikenal luas adalah:

- a. Satuan MKS (Meter, Kilogram and Second) atau juga sistem Metrik.
- b. Satuan CGS (Centimeter, Gram and Second). Sering disebut juga sistem Gaussian.

Satuan SI sering digunakan dalam fisika, sedangkan satuan CGS sering digunakan dalam kimia, meskipun ini tidak mutlak. Namun kedua sistem satuan ini banyak digunakan secara internasional.

Ada juga sistem satuan British yang populer digunakan sedikit negara seperti di Amerika Serikat, Inggris, Myanmar dan Liberia:

- Satuan British (panjang dalam feet (ft), massa dalam slug dan waktu dalam detik (s)).

Sistem MKS menggunakan satuan meter untuk panjang, kilogram untuk massa benda dan detik (*second*) untuk waktu. Sedangkan sistem CGS menggunakan satuan centimeter untuk panjang, gram untuk massa dan detik untuk waktu. Sistem British menggunakan satuan feet untuk panjang, slug untuk massa dan detik untuk waktu. Pilihan sistem mana yang digunakan dalam hal ini tidak ada keharusan, namun sistem MKS adalah yang banyak digunakan secara luas.

Kita lihat meskipun antara sistem MKS dan CGS sangat mirip, namun dalam kajian listrik-magnet (elektrodinamika) persamaan-persamaan yang digunakan di kedua sistem bentuknya cukup berbeda. Tentu saja antar ketiga sistem satuan ada konversi satu sama lain. 1 kg (MKS) = 1000 gram (CGS) =

$$\frac{1}{14,59} \text{ slug (British)}. \quad 1 \text{ meter (MKS)} = 100 \text{ cm (CGS)} = 3,281 \text{ feet (British)}.$$



Gambar 1.1.  
Perbandingan Massa dalam Slug dan dalam Kilogram

Untuk sistem MKS, sejak Tahun 1960 melalui Konferensi Internasional untuk berat dan ukuran, telah memasukkan satuan ampere (A) sebagai satuan dasar (pokok). Sehingga menjadi sistem MKSA (meter-kilogram-second-ampere). Sistem satuan internasional, SI ("systeme international" menurut bahasa Perancis) adalah versi modern dari sistem matriks melalui konvensi internasional. Dengan sistem SI ini maka ada 7 **besaran dasar (pokok)** dan besaran lain yang dapat diturunkan dari besaran dasar (pokok), disebut **besaran turunan**, melalui persamaan matematik yang sesuai. Satuan besaran Oleh karena itu, ada yang **satuan dasar (pokok)** dan juga **satuan turunan**. Ketujuh besaran dasar (pokok) seperti: panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus, intensitas cahaya dan jumlah zat. Pada Tabel 1.1 memperlihatkan 7 buah besaran dasar (pokok) beserta satuannya dalam sistem SI. Kita juga memerlukan simbol yang biasa digunakan untuk menyatakan satuan.

Tabel 1.1  
Tujuh Besaran Fisis Dasar (pokok) Dalam Fisika

Besaran Dasar (pokok)	Simbol Besaran	Satuan (MKS)	Simbol Satuan
Panjang	$l$ atau $L$	meter	m
Massa	$m$ atau $M$	kilogram	kg
Waktu	$t$	second	s
Suhu (absolute)	$T$	kelvin	K
Jumlah Zat	$N$	mol	mol
Arus listrik	$i$ atau $I$	ampere	A
Intensitas cahaya	$I$	candela	cd

Berdasarkan Tabel 1.1 di atas maka kita dapat menyatakan dengan lebih baik, misalnya sebuah meja mempunyai panjang  $\ell = 100$  cm dan massa  $m = 80$  kg.

Jumlah besaran turunan dalam hal ini banyak sekali bahkan sampai ratusan jumlahnya, namun pada dasarnya semua besaran turunan diperoleh dengan menggunakan besaran-besaran dasar (pokok) melalui persamaan matematik tertentu. Contoh besaran turunan adalah,

- a. Kecepatan ( $\vec{v}$ ) yang merupakan perbandingan antara perubahan perpindahan ( $\Delta\vec{r}$ ) terhadap selang waktu ( $\Delta t$ ), dengan satuan  $\frac{m}{det}$ , yaitu  $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ . Perpindahan dan waktu adalah besaran dasar (pokok).
- b. Rapat massa ( $\rho$ ), yaitu perbandingan antara massa benda ( $m$ ) dengan volumenya ( $V$ ), yaitu  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Pemberian simbol besaran dan satuan di atas sifatnya adalah konvensi internasional yang disepakati. Sebenarnya saudara boleh memilih simbol yang lain sejauh saudara *konsisten mendefinisikan* sebuah simbol dan satuan yang digunakan. Simbol besaran fisis yang sering digunakan adalah berdasarkan huruf Yunani seperti Tabel 1.2 di bawah ini.

Tabel 1.2.  
Huruf-huruf Yunani untuk Simbol Besaran Fisis

Huruf Yunani	Huruf kecil	Huruf besar	Huruf Yunani	Huruf kecil	Huruf besar
alpha	$\alpha$	A	nu	$\nu$	N
beta	$\beta$	B	xi	$\xi$	$\Xi$
gamma	$\gamma$	$\Gamma$	omicron	$o$	O
delta	$\delta$	$\Delta$	pi	$\pi$	$\Pi$
epsilon	$\epsilon$	E	rho	$\rho$	P
zeta	$\zeta$	Z	sigma	$\sigma$	$\Sigma$
eta	$\eta$	H	tau	$\tau$	T
theta	$\theta$	$\Theta$	upsilon	$u$	Y
iota	$i$	I	phi	$\phi$	$\Phi$
kappa	$\kappa$	K	chi	$\chi$	X
lambda	$\lambda$	$\Lambda$	psi	$\psi$	$\Psi$
mu	$\mu$	M	omega	$\omega$	$\Omega$

## 2. Definisi Satuan Baku (Standar)

Saudara telah mengerti perlunya satuan dalam menyatakan hasil pengukuran, demikian juga pilihan sistem satuan yang digunakan. Namun saudara belum mendefinisikan satuan-satuan itu sendiri. Tabel 1.3 di bawah ini memberikan definisi-definisi untuk besaran dasar (pokok).

Tabel 1.3  
Definisi Satuan Dasar (pokok) Dalam SI

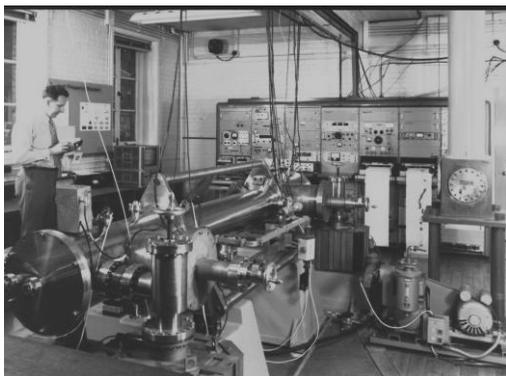
Satuan panjang	meter	1 meter adalah panjang lintasan yang ditempuh sebuah sinar dalam ruang hampa selama waktu $\frac{1}{299\,792\,458}$ detik.
Satuan massa	kilogram	1 kilogram adalah massa sebuah prototip internasional terbuat dari bahan platinum iridium
Satuan waktu	detik	1 detik adalah waktu untuk terjadinya 9.192.631.770 vibrasi radiasi di antara dua tingkat hyperfine dari tingkat dasar atom cesium-133.
Satuan arus listrik	ampere	1 ampere adalah arus konstan yang jika dijaga dalam dua konduktor lurus sejajar panjang tak hingga, dengan tampang lintang lingkaran diabaikan, terpisah 1 meter satu sama lain dalam ruang hampa, akan menghasilkan gaya $2 \times 10^{-7}$ newton per meter di antara kedua kawat.
Satuan suhu	kelvin	1 kelvin adalah satuan temperature termodinamik, besarnya adalah fraksi $1/273.16$ dari temperature termodinamik dari titik triple air.
Satuan jumlah zat	mole	1. The mole is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12; its symbol is "mol." 2. When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.
Satuan intensitas cahaya	candela	The candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency $540 \times 10^{12}$ hertz and that has a radiant intensity in that direction of $\frac{1}{683}$ watt per steradian.

Gambar 1.2 dan 1.3 adalah acuan baku untuk massa dan waktu. Semua ukuran massa dan ukuran waktu harus sesuai dengan acuan baku ini yang berlaku secara internasional.



Gambar 1.2.

1 Kg adalah Massa Prototip Silinder Platinum Iridium. Disimpan di International Bureau of Weights and Measures, di Sevres Prancis



Gambar 1.3

Satuan Waktu Standard, Menggunakan Jam Atom Cesium-133

### 3. Besaran dan Satuan Turunan

Kita sudah membahas besaran dan satuan dasar (pokok). Tabel 1.4 adalah untuk besaran yang diturunkan dari besaran dasar (pokok), beserta satuannya.

Tabel 1.4.  
Besaran (SI) Turunan dan Satuannya

Besaran Turunan		Satuan Turunan	
Nama	Simbol	Nama	Simbol
Luas	$A = \ell^2$ (bujur sangkar)	meter kuadrat	$m^2$
volume	$V = \ell^3$ (kotak)	meter kubik	$m^3$
Laju, kecepatan	$v, \vec{v}$	meter per detik	$\frac{m}{s}$
Percepatan (sesaat)	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	meter per detik kuadrat	$\frac{m}{s^2}$
Bilangan gelombang	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	per meter	$m^{-1}$
Rapat massa	$\rho = \frac{m}{V}$	kilogram per meter kubik	$\frac{kg}{m^3}$
Rapat arus		ampere per meter kuadrat	$\frac{A}{m^2}$
Kuat medan magnet	$\vec{H}$	ampere per meter	$\frac{A}{m}$
Dan lain-lain			

Selain besaran di atas, ada juga besaran turunan yang diberi nama khusus, seperti pada Tabel 1.5 di bawah ini.

Tabel 1.5.  
Besaran (SI) Turunan dan Satuannya dengan Nama Khusus

Besaran Turunan, Simbol	Satuan Turunan			
	Nama	Simbol	Satuan dalam SI	Simbol dalam satuan dasar (pokok)
Sudut bidang, $\theta$	radian	rad	-	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$
Sudut ruang, $\Omega$	steradian	sr	-	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$
Frekuensi, $f$	hertz	Hz	-	$\text{s}^{-1}$
Gaya, $\vec{F}$	newton	N	-	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Tekanan, $P = \frac{F}{A}$	pascal	Pa	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Energi $E$ , Usaha $W$	joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Muatan listrik, $Q$	coulomb	C	-	$\text{s} \cdot \text{A}$
Beda potensial listrik, $V$	volt	V	$\frac{W}{A}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
Kapasitansi, $C$	farad	F	$\frac{C}{V}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
Hambatan listrik, $R$	ohm	$\Omega$	$\frac{V}{A}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
Fluks magnet	weber	Wb	$V \cdot \text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Rapat fluks magnet	tesla	T	$\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Induktansi	henry	H	$\frac{\text{Wb}}{A}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
Dan lain-lain				

Telah dijelaskan juga bahwa ada beberapa sistem satuan, yaitu MKS, CGS dan British. Tabel di bawah ini adalah besaran fisis dan satuannya dalam sistem satuan yang berbeda.

Tabel 1.6.  
Perbedaan Satuan Turunan dalam CGS dan SI  
(Beberapa dengan Nama Khusus)

Satuan CGS	Besaran	Dalam Satuan SI
barye (ba)	Tekanan	0.1 pascal (Pa)
biot (Bi)	Arus listrik	10 amperes (A)
calorie (cal)	Energi Panas	4.1868 joule (J)
darcy	Permeabilitas	$0.98692 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
debye (D)	Momen dipol listrik	$3.33564 \times 10^{-30} \text{ (C}\cdot\text{m)}$
dyne (dyn)	Gaya	$10^{-5} \text{ newton (N)}$
emu	Momen dipole magnet	$0.001 \text{ (A}\cdot\text{m}^2)$
erg	Usaha	$10^{-7} \text{ joule (J)}$
franklin (Fr)	Muatan Listrik	$3.3356 \times 10^{-10} \text{ coulomb (C)}$
galileo (Gal)	Percepatan	$0.01 \text{ (m s}^{-2})$
gauss (G)	Rapat Fluks magnet	$10^{-4} \text{ tesla (T)}$
kayser (K)	Bilangan gelombang	100 per meter ( $\text{m}^{-1}$ )
lambert (Lb)	Intensitas	3183.099 candelas ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )
line (li)	Fluks magnet	$10^{-8} \text{ weber (Wb)}$
oersted (Oe)	Kuat medan magnet	$79.577\ 472 \text{ (A}\cdot\text{m}^{-1})$
phot (ph)	illumination	$10^4 \text{ lux (lx)}$
poise (P)	dynamic viscosity	$0.1 \text{ pascal second (Pa}\cdot\text{s)}$

### C. PREFIKS UNTUK SATUAN

Kita akan sering, dalam perhitungan-perhitungan fisika, melibatkan bilangan-bilangan yang sangat besar atau sangat kecil. Jika bilangan-bilangan itu disebutkan apa adanya maka kurang lugas kurang enak didengar.

Misalkan kita mengatakan, sebuah jalan raya panjangnya 10.000 m. Dalam banyak hal penyebutan ini kurang enak didengar dan dimengerti. Akan lebih baik jika dinyatakan, Sebuah jalan raya panjangnya 10 km (baca: kilometer, dengan kilo sebagai prefiks). Jadi dalam hal ini kita mempunyai:

$$10.000 \text{ m} = 10 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$$

Atau misalnya disebutkan panjang bakteri yang terlihat pada mikroskop adalah 0,000006 m. Tentu saja akan lebih baik jika disampaikan panjang bakteri adalah 6 mikron (micrometer), jadi:

$$0,000006 \text{ m} = 6 \mu\text{m} = 6 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Ada banyak cara untuk menyederhanakan penyebutan sebuah nilai besaran. Tabel 1.6 memberikan aturan untuk menyebutkan sebuah jumlah dengan cara lain.

Tabel 1.7.  
Prefiks dalam Satuan

Prefiks	Simbol	Pangkat 10	Prefiks	Simbol	Pangkat 10
kilo	k	$10^3$	milli	m	$10^{-3}$
mega	M	$10^6$	micro	$\mu$	$10^{-6}$
giga	G	$10^9$	nano	n	$10^{-9}$
tera	T	$10^{12}$	pico	p	$10^{-12}$
peta	P	$10^{15}$	femto	f	$10^{-15}$
			centi	c	$10^{-2}$

Untuk membantu satuan SI dapat diterapkan ke fenomena yang lebih luas maka pada pertemuan ke-19 the General Conference on Weights and Measures, pada Tahun 1991, menambahkan prefiks yotta sampai yocto, yaitu:

Tabel 1.8.  
Penambahan prefiks pada Tahun 1991

Prefiks	Simbol	Pangkat 10	Pembacaan umum
yotta	Y	$10^{24}$	1 septillion
zetta	Z	$10^{21}$	1 sextillion
exa	E	$10^{18}$	1 quintillion
atto	a	$10^{-18}$	seper quintillion
zepto	z	$10^{-21}$	seper sextillion
yocto	y	$10^{-24}$	seper septillion

*Contoh Soal:*

Nyatakan 0,00034 m dalam satuan micron! Nyatakan  $8,31 \times 10^{-14}$  detik dalam pico detik?

*Penyelesaian:*

Berdasarkan Tabel 1.5 di atas maka kita mempunyai  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ,  $1 \text{ p.s} = 10^{-12} \text{ s}$ . Jadi kita boleh melakukan konversi berikut:

$$0,00034 \text{ m} = 0,00034 \times (1 \text{ m} = 10^6 \mu\text{m}) = 0,00034 \times 1000000 \mu\text{m} = 345 \mu\text{m}.$$

$$8,31 \times 10^{-14} \text{ s} = 8,31 \times 10^{-14} \times (1 \text{ s} = 10^{12} \text{ p.s}) = 8,31 \times 10^{-2} = 0,0832 \text{ p.s}.$$

#### D. ATURAN DAN KONVENSI CARA PENULISAN BESARAN DAN SATUAN

Besaran dan satuan mempunyai aturan dalam penulisan. Jadi jika saudara menuliskan simbol besaran dan satuan, baik dalam sebuah persamaan maupun secara sendirian perlu mengikuti aturan yang disepakati.

1. Besaran fisika (simbol) dituliskan dalam bentuk miring
2. Satuan dituliskan satu spasi kosong di belakang nilai besaran fisis. Kecuali untuk satuan derajat ( $^{\circ}$ ), menit ( $'$ ) dan detik ( $''$ ) yang menyatakan suatu sudut dituliskan tidak terpisah antara nilai dan satuan yang mengikutinya.

Contoh. Sudut bidang  $\alpha = 30^{\circ}22'8''$ .  $T = 30.2^{\circ}\text{C}$  bukan  $T = 30.2^{\circ}\text{C}$  atau  $t = 30.2^{\circ}\text{C}$ . Jadi untuk derajat yang menyatakan suhu dituliskan terpisah satu spasi di belakang nilai besaran fisis.

3. Nilai besaran fisis dituliskan tegak
4. Satuan (simbol) dituliskan tegak. Jika satuan diperoleh dari nama seseorang maka huruf pertama satuan adalah huruf besar.

Contoh: satuan ditulis tegak. mL (milliliter) pm (picometer) G $\Omega$  (gigaohm) THz (terahertz).

Contoh: panjang  $\ell = 10$  m, gaya  $\vec{F} = 10$  N (dari Newton), Tekanan  $P = 1$  Pa (dari Pascal), Beda tegangan  $V = 10$  V (dari Volt), dan sebagainya.

5. Jika satuan sebuah besaran adalah perkalian dari satuan yang lain maka cara penulisan dengan memberikan baik tanda titik tengah atau juga spasi kosong.

Contoh: Usaha  $W$  yang dilakukan oleh gaya  $F_x = 10$  N untuk sebuah benda yang bergerak sejauh  $x = 10$  m adalah  $W = 20$  N·m atau  $W = 20$  N m.

6. Simbol untuk satuan yang diperoleh dari pembagian ditunjukkan dengan garis miring ( $/$ ), garis bagi datar atau juga pangkat negatif.

Contoh:  $m/s$ ,  $\frac{m}{s}$ , or  $m \cdot s^{-1}$ . Namun demikian tanda garis miring

sebaiknya tidak diulang untuk menghindari salah arti. Contoh:  $\frac{m}{s^2}$  atau

$m \cdot s^{-2}$  dan tidak  $\frac{m}{\frac{s}{s}}$

$\frac{m \cdot kg}{(s^3 \cdot A)}$  atau  $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$  dan bukan  $\frac{m \cdot kg}{\frac{s^3}{A}}$

7. Nama satuan dan simbol satuan tidak boleh digunakan bersama-sama.  
Contoh:
  - a.  $\frac{C}{kg}$  dan bukan dituliskan dengan coulomb/kg.
  - b.  $C \cdot kg^{-1}$  atau coulomb per kilogram dan bukan C/kilogram.
  - c.  $C \cdot kg^{-1}$  atau coulomb per kilogram dan bukan coulomb  $\cdot kg^{-1}$ .
  - d.  $C \cdot kg^{-1}$  atau coulomb per kilogram dan bukan coulomb/kilogram.
8. Karena simbol dan nama satuan umumnya sudah diterima secara internasional, maka tidak dianjurkan untuk menuliskan simbol atau nama satuan dari singkatan simbol atau nama satuannya.  
Contoh:
  - a. Satuan waktu adalah s, tidak dituliskan sec singkatan dari second.
  - b. Satuan arus listrik adalah A, tidak dituliskan dengan amps singkatan dari ampere.
  - c. Satuan kecepatan adalah  $\frac{m}{s}$  atau  $m \cdot s^{-1}$ , tidak dituliskan dengan mps singkatan dari meter per second.
  - d. Satuan massa atom adalah u, tidak dituliskan dengan AMU singkatan dari atomic mass unit.
9. Prefiks satuan tidak boleh diapit dengan prefiks satuan yang lain, karena sebenarnya masih dapat disederhanakan.  
Contoh: nm (nanometer) tidak boleh dituliskan m $\mu$ m (millimicrometer).
10. Untuk satuan yang merupakan satuan turunan hasil pembagian, yang baik pembilang maupun penyebut mengandung prefiks maka dapat

membingungkan arti. Oleh karena itu, lebih baik diusahakan hanya ada satu prefiks di pembilang.

Contoh:  $10 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}$  sebenarnya dapat diterima namun akan lebih baik jika

dinyatakan dalam  $10 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$  karena hanya ada satu buah prefiks.

11. Satuan turunan hasil dari perkalian satuan lain dengan lebih dari satu prefiks mungkin akan membingungkan. Jadi  $10 \text{ MV}\cdot\text{ms}$  akan lebih baik jika dinyatakan dengan  $10 \text{ kV}\cdot\text{s}$

Catatan: Meskipun demikian untuk besaran turunan yang menyertakan kilogram aturan (10) dan (11) ini tidak bisa diterapkan. Contoh,

$0,13 \frac{\text{mmol}}{\text{g}}$  tidak lebih disukai juga dinyatakan dengan  $0,13 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}$ . Ini

karena ukuran kg biasanya untuk ukuran massa besar, sedangkan konsep mol biasanya digunakan pada lingkungan atom.

12. Prefiks satuan tidak boleh berdiri sendiri dilekatkan ke bilangan 1.

Contoh: rapat atom  $P_b$  adalah  $\frac{5 \times 10^6}{\text{m}^3}$  tidak boleh dinyatakan dengan

$$\frac{5M}{\text{m}^3}.$$

13. Karena alasan historis, bahwa satuan kilogram adalah satuan dasar untuk sistem SI, maka tidak boleh dinyatakan dengan prefiks lain seperti contoh berikut.

Contoh:  $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$  (1 milligram) bukan  $10^{-6} \text{ kg} = 1 \mu\text{kg}$  (1 mikrokilogram)

14. Penulisan prefiks tidak dipisahkan dengan satuan yang mengikutinya.

Contoh: milligram bukan milli-gram, kilopascal bukan kilo-pascal.

15. Perkalian nilai/bilangan milik besaran fisis dinyatakan dengan tanda silang (x).

Contoh:

$25 \times 60,5$  bukan dituliskan dengan cara  $25\cdot 60,5$ .

$52 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 10,2 \text{ s}$  bukan dituliskan dengan cara  $52 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10,2 \text{ s}$ .

16. Satuan dituliskan satu spasi kosong dibelakang nilai besaran fisis. Kecuali untuk satuan derajat ( $^\circ$ ), menit ( $'$ ) dan detik ( $''$ ) yang menyatakan

suatu sudut dituliskan tidak terpisah antara nilai dan satuan yang mengikutinya.

Contoh. Sudut bidang  $\alpha = 30^\circ 22' 8''$ .  $T = 30.2^\circ\text{C}$  bukan  $T = 30.2^\circ\text{C}$  atau  $t = 30.2^\circ\text{C}$ . Jadi untuk derajat yang menyatakan suhu dituliskan terpisah satu spasi di belakang nilai besaran fisis.

## E. DIMENSI DAN ANALISIS DIMENSI

### 1. Dimensi

Kita tidak dapat membandingkan dan mengatakan bahwa luas lebih besar daripada panjang, volume lebih besar daripada luas dan kita juga tidak dapat mengatakan bahwa 1 detik lebih lama daripada  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Meskipun

demikian antara volume dan luas mempunyai keterkaitan yang erat. Antara waktu dan kecepatan ada hubungan yang erat. Jika yang kita tinjau adalah sebuah kotak dengan panjang  $p$ , lebar  $\ell$  dan tinggi  $t$  maka volumenya adalah  $V = p \times \ell \times t$  dan luasnya adalah  $V = 2(p \times \ell) + 2(p \times t) + 2(t \times \ell)$ .

Meskipun kita tidak dapat membandingkan volume dengan luas namun kita dapat melihat bahwa baik  $p$ ,  $\ell$  maupun  $t$  dalam volume dan luas ketiganya mempunyai **dimensi** yang sama yaitu *panjang*. Kita juga dapat menyatakan satuan untuk  $p$ ,  $\ell$  maupun  $t$  dalam satuan MKS, CGS atau yang lain, namun ketiganya tetap memiliki dimensi yang sama yaitu panjang. Simbol dimensi untuk panjang adalah L. Jadi dapat kita nyatakan:

$$\dim V = [V] = [p \times \ell \times t] = [p] \times [\ell] \times [t] = L \cdot L \cdot L = L^3$$

$$\dim A = [A] = [2(p \times \ell) + 2(p \times t) + 2(t \times \ell)] = L^2$$

Jadi meskipun kita tidak dapat membandingkan bahwa volume  $V$  lebih besar dari luas  $A$  namun kita dapat membandingkan bahwa dimensi volume,  $L^3$ , adalah lebih besar dari dimensi luas,  $L^2$ .

Dalam hal ini ada sejumlah dimensi dasar untuk besaran fisis, di mana dimensi besaran yang lain dapat diturunkan. Dimensi dasar tersebut adalah: L untuk panjang, M untuk massa, T untuk waktu, I untuk arus listrik,  $\Theta$  untuk temperatur, N untuk jumlah zat dan J untuk intensitas cahaya.

Dengan ketujuh dimensi dasar ini maka dimensi sembarang besaran dapat ditelusuri. Untuk dapat mengetahui dimensi besaran turunan, kita perlu mengetahui satuan besaran tersebut atau paling tidak rumus besaran tersebut.

*Contoh Soal:*

Carilah dimensi dari gaya  $F$ !

*Penyelesaian:*

Kita misalkan saja untuk gaya  $F = ma$ , yaitu gaya sama dengan massa benda kali percepatan benda.

$$\text{Jadi [gaya]} = [\text{massa}] \cdot [\text{percepatan}] = M \cdot \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = M \cdot [\text{m}] \cdot [\text{s}]^{-2} = \text{MLT}^{-2}$$

## 2. Analisis Dimensi

Mengetahui dimensi sebuah besaran adalah penting. Dua buah besaran dapat dijumlahkan jika dimensinya sama. Demikian juga sebuah persamaan dalam fisika harus mempunyai dimensi yang sama pada kedua ruas persamaan, yaitu ruas kiri harus sama dimensinya dengan ruas kanan. Jadi, tidak masalah sistem satuan apa yang digunakan dalam persamaan, maka hubungan matematis antar besaran-besaran terkait harus benar secara dimensi. Jadi karena persamaan-persamaan yang digunakan dalam fisika harus benar secara dimensi, maka analisis dimensi dapat digunakan untuk:

- a. Menguji apakah sebuah persamaan bentuknya sudah benar.
- b. Memprediksi rumus untuk suatu besaran fisis tertentu.

*Contoh Soal:*

Tunjukkan bahwa persamaan berikut adalah benar secara dimensi?

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

Dengan  $x$  adalah jarak,  $v_0$  adalah kecepatan,  $t$  adalah waktu,  $a$  adalah percepatan.

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} [x] &= [v_0] \cdot [t] + \frac{1}{2} [a][t]^2 \\ \text{L} &= [\text{ms}^{-1}] \cdot \text{T} + \frac{1}{2} [\text{ms}^{-2}] \cdot \text{T}^2 \end{aligned}$$

$$L = LT^{-1} T + \frac{1}{2} LT^{-2} T^2$$

$$L = L + \frac{1}{2} L = \frac{3}{2} L$$

Kita lihat bahwa kecuali hanya berbeda faktor  $\frac{3}{2}$ , maka dimensi kedua

ruas adalah sama yaitu L.

Kegunaan analisis dimensi juga dapat untuk memprediksi rumus tertentu, yang memberikan hubungan antar besaran-besaran fisis. Pada dasarnya, sembarang besaran turunan (SI)  $Q$  misalnya, dapat dinyatakan dalam besaran-besaran yang lain

$$Q \propto \alpha^a \beta^b \gamma^c \dots \quad (1.1)$$

Dengan  $a, b, c, \dots$  adalah bilangan-bilangan yang disebut *eksponen dimensi* yang harus ditentukan dan  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  adalah besaran-besaran fisis lain yang ingin diasumsikan memberi kontribusi pada  $Q$ . Untuk dapat menentukan berapa  $a, b, c, \dots$  perlu menyamakan dimensi antara kedua ruas persamaan.

*Contoh Soal:*

Frekuensi vibrasi  $f$  sebuah massa  $m$  yang diikat oleh sebuah pegas dengan tetapan pegas  $k$ , diduga hanyalah fungsi dari variabel  $m$  dan  $k$ . Tentukan rumus vibrasi tersebut?

*Penyelesaian:*

Frekuensi vibrasi adalah banyaknya vibrasi (gerak bolak-balik) yang terjadi selama 1 detik. Jadi dimensinya adalah  $[f] = T^{-1}$ . Tetapan  $k$  untuk pegas diketahui mempunyai dimensi  $[k] = MT^{-2}$ .

Dari soal di atas maka kita asumsikan hubungannya adalah (menurut pers.(1.1)):

$$f \propto m^a k^b$$

Kita analisis dimensinya untuk persamaan ini yaitu,

$$[f] = [m]^a [k]^b \rightarrow T^{-1} = M^a M^b T^{-2b} = M^{a+b} T^{-2b}$$

Jika kita bandingkan kedua ruas maka kita mempunyai relasi:

$$M^0 = M^{a+b} \text{ atau } a + b = 0 \quad T^{-1} = T^{-2b} \text{ atau } -1 = -2b \text{ atau } b = \frac{1}{2}$$

Dengan  $b = \frac{1}{2}$  maka  $a = -\frac{1}{2}$ , jadi  $f \approx \sqrt{\frac{m}{k}} = C \sqrt{\frac{m}{k}}$ .  $C$  dalam hal ini adalah tetapan kesebandingan yang dapat dicari secara eksperimen.

## F. NOTASI ILMIAH

Kebanyakan fenomena-fenomena yang menarik di alam ini tidaklah pada skala manusia, yang mudah dilihat dan dirasakan. Sebagai contoh perlu 1.000.000.000.000.000.000 bakteri agar massanya sama dengan massa tubuh manusia. Panjang gelombang cahaya juga dalam orde yang sangat kecil untuk dilihat oleh mata manusia, sebagai contoh cahaya tampak yang dalam orde nanometer. Bilangan-bilangan yang sangat besar atau sangat kecil ini kalau dituliskan apa adanya menjadi kurang praktis, apalagi dalam perhitungan-perhitungan. Diperlukan cara menuliskan yang lebih praktis dan elegan untuk bilangan-bilangan tersebut, yaitu menggunakan **notasi ilmiah**. Notasi ilmiah berarti menuliskan sebuah bilangan dalam bentuk hasil kali suatu bilangan (antara 1 sampai dengan 10) dengan bilangan  $10^n$ , dengan  $n$  adalah bilangan sembarang yang sesuai. Jadi kita boleh menuliskan bilangan-bilangan berikut dalam notasi ilmiah,

$$12.000.000 = 1,2 \times 10^7$$

$$0,0000056 = 5,6 \times 10^{-6}$$



### LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebuah benda mempunyai massa 14,59 kg. Konversikan dalam sistem (British setara dengan berapa slug)!
- 2) Tunjukkan bahwa persamaan  $v^2 = v_0^2 + 2ax$  adalah benar secara dimensi!
- 3) Tunjukkan dimensi dari energi kinetik  $E = \frac{1}{2} mv^2$ !
- 4) Nyatakan dalam notasi ilmiah bilangan 0,0000000033!
- 5) Satuan gaya dalam SI adalah  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , nyatakanlah satuan gaya tersebut dalam sistem British!

*Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Konversi:  $1 \text{ kg (MKS)} = \frac{1}{14,59} \text{ slag (British)}$ . Jadi  $14,59 \text{ kg} = 1 \text{ slag}$ .
- 2) Untuk ruas kiri maka  $[v^2] = [m \text{ s}^{-1}]^2 = L^2 T^{-2}$ . Jadi kita lihat untuk ruas kanan apakah dimensinya sama dengan ruas kiri.
- 3)  $[\frac{1}{2} mv^2] = \frac{1}{2} [m][v]^2 = \frac{1}{2} ML^2T^{-2}$  atau  $ML^2T^{-2}$ .
- 4)  $0,0000000033 = 3,3 \times 10^{-9}$
- 5)  $\text{slug}\cdot\text{ft}\cdot\text{s}^{-2}$

**RANGKUMAN**

Secara umum **besaran** (besaran fisis) adalah sesuatu yang dapat dinyatakan keberadaannya dengan suatu angka atau nilai. Sedangkan **pengukuran** adalah proses mengukur suatu besaran, yaitu membandingkan nilai besaran yang sedang kita ukur dengan besaran lain sejenis yang dipakai sebagai acuan.

Dalam fisika kita memerlukan *satuan baku* untuk menyatakan nilai suatu besaran supaya dapat dimengerti oleh komunitas fisika. Fisikawan seharusnya menggunakan satuan internasional yang definisinya disetujui oleh sebuah komite saintis internasional. (<http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>).

Untuk menyatakan satuan baku (standar) ada berbagai cara, misalnya dua yang dikenal luas adalah:

1. Satuan MKS (meter, kilogram and second) atau juga sistem Metrik.
2. Satuan CGS (Centimeter, Gram and second). Sering disebut juga sistem Gaussian.

Satuan SI sering digunakan dalam fisika, sedangkan satuan CGS sering digunakan dalam kimia, meskipun ini tidak mutlak. Namun kedua sistem satuan ini banyak digunakan secara internasional.

Ada juga sistem satuan British yang populer digunakan sedikit negara seperti di Amerika Serikat, Inggris, Myanmar dan Liberia:

- Satuan British (panjang dalam feet (ft), massa dalam slug dan waktu dalam detik (s)).

Sistem MKS menggunakan satuan meter untuk panjang, kilogram untuk massa benda dan detik (second) untuk waktu. Sedangkan sistem

CGS menggunakan satuan centimeter untuk panjang, gram untuk massa dan detik untuk waktu. Sistem British menggunakan satuan feet untuk panjang, slug untuk massa dan detik untuk waktu. Pilihan sistem mana yang digunakan dalam hal ini tidak ada keharusan, namun sistem MKS adalah yang banyak digunakan secara luas.

Kita lihat meskipun antara sistem MKS dan CGS sangat mirip, namun dalam kajian listrik-magnet (elektrodinamika) persamaan-persamaan yang digunakan di kedua sistem bentuknya cukup berbeda. Tentu saja antar ketiga sistem satuan ada konversi satu sama lain. 1 kg

$$(MKS) = 1000 \text{ gram (CGS)} = \frac{1}{14,59} \text{ slag (British)}. \quad 1 \text{ meter (MKS)} =$$

$$100 \text{ cm (CGS)} = 3,281 \text{ feet (British)}.$$



### TES FORMATIF 1 \_\_\_\_\_

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Dengan analisis dimensi, manakah persamaan berikut yang salah? Catatan:  $\lambda$  adalah panjang gelombang,  $v$  kecepatan ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $t$  adalah waktu,  $h$  tinggi,  $g$  percepatan gravitasi bumi ( $\text{ms}^{-2}$ ),  $F$  adalah gaya ( $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) ....
  - A.  $\lambda = vt$
  - B.  $h = \frac{v^2}{2g}$
  - C.  $v = \sqrt{2gh}$
  - D.  $F = \frac{m}{a}$
  
- 2) Jika  $s$  adalah jarak dan  $t$  adalah waktu, jika  $s = \frac{1}{2} Ct^2$  maka dimensi  $C$  adalah ....
  - A.  $\text{LT}^{-2}$
  - B.  $\text{LT}$
  - C.  $\text{L}^{-1} \text{T}^{-2}$
  - D.  $\text{L}^{-2} \text{T}^{-1}$

- 3) Penulisan satuan yang disarankan adalah sebagai berikut *kecuali* ....
- $\frac{m \cdot kg}{(s^3 \cdot A)}$
  - $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
  - $kg^{-1}$
  - $\frac{m \cdot kg}{\frac{s^3}{A}}$
- 4) Penulisan satuan yang disarankan adalah sebagai berikut *kecuali* ....
- coulomb per kilogram
  - $\frac{\text{coulomb}}{\text{kilogram}}$
  - meter per second
  - $m \cdot s^{-1}$
- 5) Penulisan satuan yang disarankan adalah sebagai berikut *kecuali* ....
- 10 millimicrometer
  - $5 \times \frac{10^6}{m^3}$
  - 15 miligram
  - $10 \frac{MV}{m}$
- 6) Momentum adalah besaran turunan yang dapat diperoleh dari perkalian massa benda dan kecepatan. Dimensi dari momentum kuadrat adalah ....
- $kg^2 m^2 s^{-2}$
  - $M^2 L^2 T^{-2}$
  - $MLT$
  - $kg m s^{-1}$
- 7) Besaran yang mempunyai dimensi  $M L^2 T^{-2}$  adalah ....
- momentum
  - gaya
  - energi
  - torka

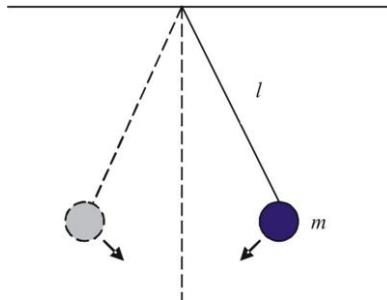
- 8) Sebuah benda massa  $m$  diikat dengan sebuah tali panjang  $l$  lalu ujung tali yang lain diikatkan pada langit-langit. Sistem lalu disimpangkan dengan sudut tertentu lalu dilepas sehingga berosilasi ke kiri ke kanan. Tentukan frekuensi vibrasi dengan analisis dimensi? Sebuah benda massa  $m$  diikat dengan sebuah tali panjang  $l$  lalu ujung tali yang lain diikatkan pada langit-langit. Sistem lalu disimpangkan dengan sudut tertentu lalu dilepas sehingga berosilasi ke kiri ke kanan. Tentukan frekuensi vibrasi dengan analisis dimensi?

A.  $f \propto \sqrt{\frac{lm}{g}}$

B.  $f \propto m \sqrt{\frac{l}{g}}$

C.  $f \propto g \sqrt{\frac{l}{m}}$

D.  $f \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$



Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

- Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
- 80 - 89% = baik
- 70 - 79% = cukup
- < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

## KEGIATAN BELAJAR 2

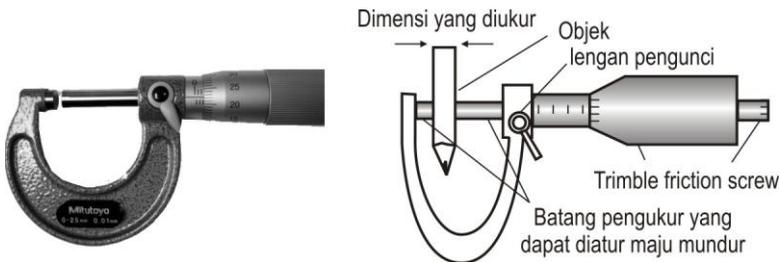
## Pengukuran Dasar

Kita sudah mempelajari konsep besaran dan satuan. Sekarang kita pelajari konsep pengukuran yaitu proses mendapatkan nilai besaran fisis dan cara menuliskan hasil pengukuran. Untuk Kegiatan Belajar 2 ini kita bahas bagaimana mengukur besaran-besaran pokok dan berbagai hal tentang alat ukur itu sendiri.

## A. PENGUKURAN PANJANG BENDA

## 1. Mikrometer

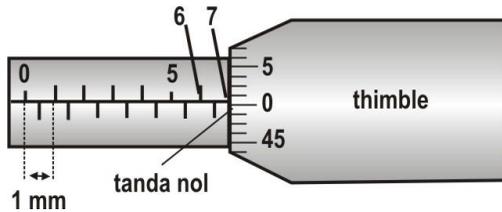
Mengukur panjang suatu objek dapat menggunakan berbagai jenis alat ukur. Jenis-jenis yang digunakan bergantung objek apa yang ingin kita ukur. Untuk mengukur jarak bintang ke bumi, jarak kota ke kota, panjang sebuah buku, tebal sebuah sampul buku, sampai yang lebih kecil lagi ukuran bakteri tentu menggunakan jenis alat ukur yang berbeda. Sekarang kita akan mempelajari alat ukur panjang yang cocok untuk mengukur tebal suatu objek yang tidak terlalu besar, di mana alat ini mempunyai ketelitian hasil ukur yang sangat baik sebagai alat mekanik. Alat ini banyak digunakan di laboratorium-laboratorium fisika, misalnya untuk mengetahui diameter sebuah kawat, tebal kaca dan lain-lain. Gambar 1.4 adalah sebuah mikrometer merek Mitutoyo.



Gambar 1.4.  
Mikrometer

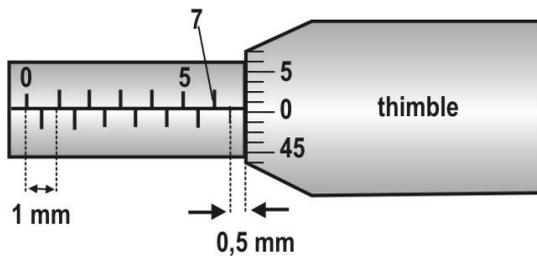
*Pembacaan Mikrometer*

Pada mikrometer, maka bagian yang bernama thimble (Gambar 1.5) dapat diputar maju mundur sesuai dengan tebal-tipis objek yang diukur tebalnya. Pada badan thimble terdapat garis-garis yang menunjukkan skala pembacaan. Satu putaran penuh thimble bersesuaian dengan tebal **setengah milimeter**.



Gambar 1.5.  
Close-up dari Thimble Mikrometer

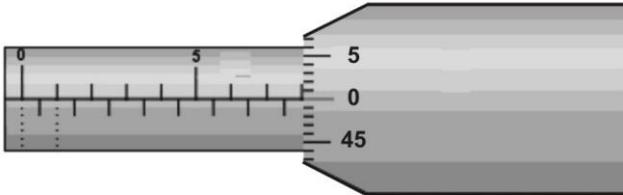
Pada thimble, tanda nol (0) adalah penunjuk utama (pointer). Pada Gambar 1.5 saat tanda nol segaris dengan garis horizontal, maka bacaan menunjukkan bahwa tebal objek adalah 7,000 mm.



Gambar 1.6.  
Posisi Skala Mikrometer Setelah Satu Putaran Penuh ke Kanan

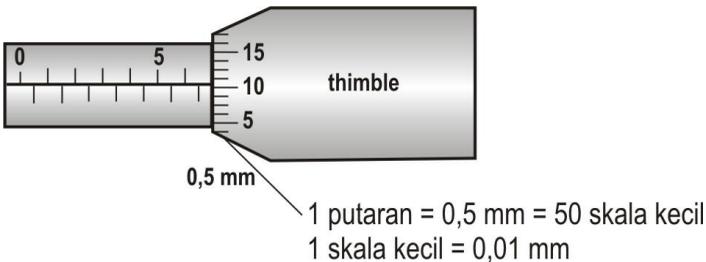
Pada posisi Gambar 1.6 maka ketebalan objek yang diukur adalah 7,500 mm setelah thimble diputar satu putaran penuh dari posisi Gambar 1.5. Ini karena satu putaran penuh sama dengan penambahan setengah millimeter.

Selanjutnya jika kita lanjutkan pemutaran satu putaran penuh lagi ke kanan maka posisi pembacaan adalah seperti pada gambar (1.7).



Gambar 1.7.  
Pembacaan Mikrometer adalah 8,000 mm

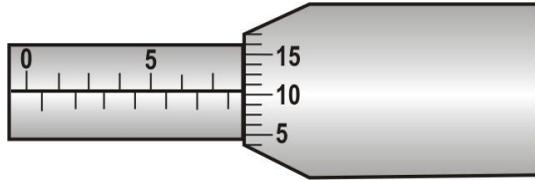
Sekarang bagaimana jika secara sembarang kedudukan skala baca mikrometer adalah seperti Gambar 1.8 di bawah ini.



Gambar 1.8  
Pembacaan Mikrometer adalah 8,120 mm

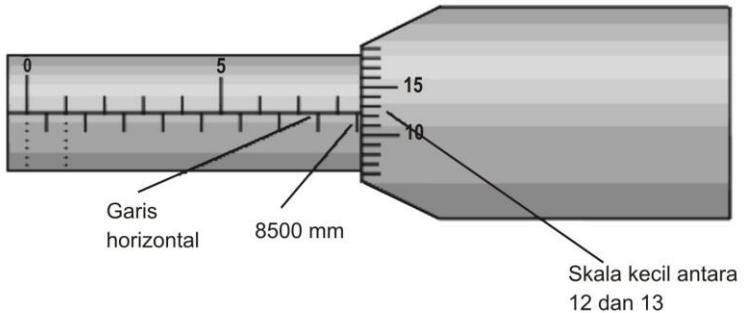
Kalau kita cermati maka satu putaran penuh thimble sama dengan 0,5 mm dan ini sama dengan 50 skala kecil. Jadi satu skala kecil sama dengan 0,010 mm. Oleh karena itu, pembacaan mikrometer adalah  $8,000 \text{ mm} + 0,120 \text{ mm} = 8,120 \text{ mm}$ .

Selanjutnya jika dari kedudukan ini thimble diputar ke kanan satu putaran penuh akan memberikan pembacaan seperti pada Gambar 1.9, yaitu  $8,120 \text{ mm} + 0,500 \text{ mm} = 8,620 \text{ mm}$ .



Gambar 1.9.  
Pembacaan Mikrometer adalah 8,620 mm

Sekarang bagaimana jika kedudukan skala kecil mikrometer tidak tepat segaris dengan garis horizontal, seperti pada Gambar 1.10 di bawah ini.

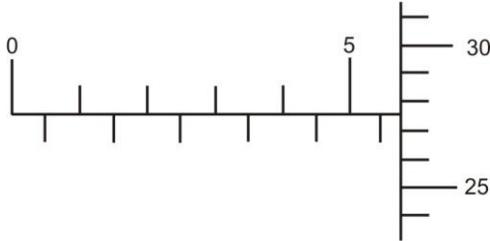


Gambar 1.10.  
Pembacaan Mikrometer

Kita lihat pembacaan mikrometer antara 8,620 mm dan 8,630 mm. Kita mungkin memperkirakan pada nilai 8,623 mm. Mungkin juga 8,624 mm, mungkin juga 8,625 mm, tidak begitu pasti bergantung pada ketajaman mata kita dan resolusi skala. Jadi kita boleh menuliskan tebal objek adalah  $8,624 \pm 0,003$  mm. Nilai 0,003 mm kita namakan *ralat pembacaan/pengukuran*. Bergantung pada ketajaman mata saudara, sudut pandang saat membaca dan bergantung pada jenis mikrometer yang digunakan, biasanya kita boleh menuliskan ralat pengukuran sebesar  $\pm 0,003$  mm.

*Contoh Soal:*

Berapakah pembacaan pada mikrometer untuk posisi berikut:



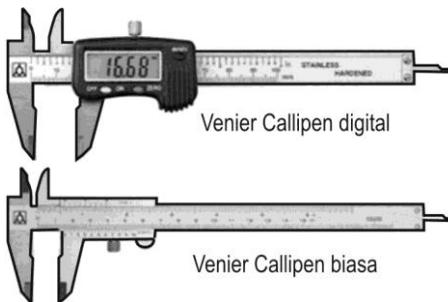
*Penyelesaian:*

Tebal objek adalah  $5.500 + 0.275 = 5.775$  mm.

## 2. Venier Caliper (Jangka Sorong)

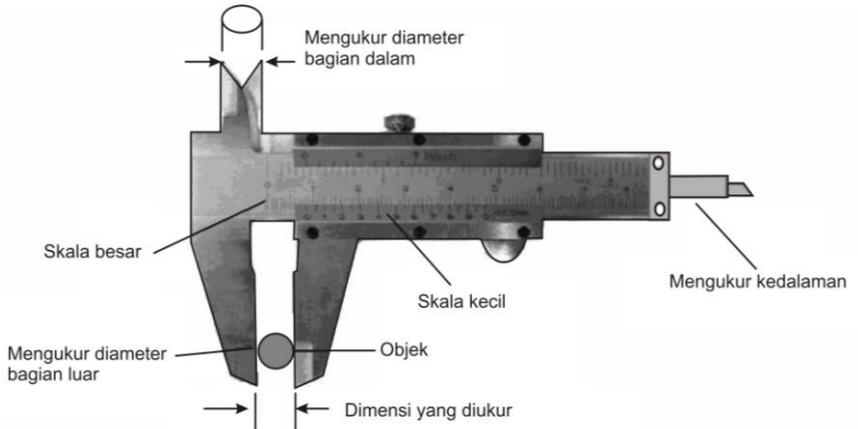
Alat ukur vernier ini dinamakan untuk mengingat ilmuwan yang bernama Pierre Vernier, seorang matematikawan-penemu dari Perancis yang pada Tahun 1631 melakukan penelitian mengenai prinsip-prinsip pengukuran.

Venier Caliper dapat berupa vernier biasa atau yang digital sehingga bacaan pada alat dapat langsung ditunjukkan, Gambar 1.11.



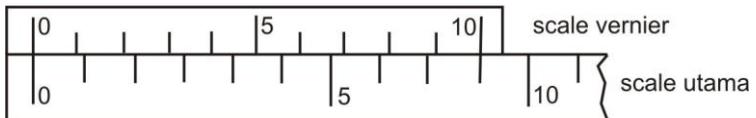
Gambar 1.11.  
Jenis-jenis Venier Caliper (Jangka Sorong)

Bagian-bagian dari venier caliper biasa adalah seperti pada Gambar 1.12 di bawah ini:



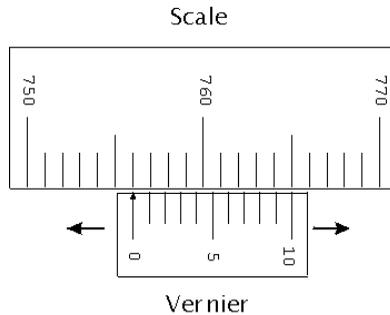
Gambar 1.12.  
Bagian-bagian Venier Calliper

Dengan venier caliper kita dapat mengukur diameter sebuah pipa, baik diameter bagian dalam ataupun bagian luar. Kedalaman suatu bejana pun dapat diukur. Vernier caliper mempunyai dua bagian scale, yaitu scale utama dan scale vernier. Jika diperhatikan maka 10 bagian dari scale vernier akan tepat berimpit dengan 9 bagian dari scale utama.



Gambar 1.13.  
9 Bagian Scale Utama Berimpit dengan 10 Bagian Scale Vernier

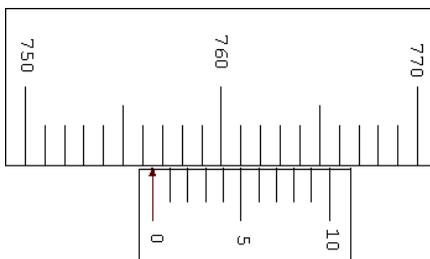
Pembacaan pada venier caliper secara umum tekniknya sama dengan pembacaan pada micrometer. Barangkali hanya besar kecilnya skala yang berbeda. Gambar berikut ini adalah berbagai kemungkinan pembacaan pada venier caliper.



Gambar 1.14

Posisikan venier yang dapat digeser kiri-kanan mengikuti ketebalan objek. Penunjuk (*pointer*) adalah garis merah dengan angka nol. Pada kedudukan ini maka pembacaan hampir pasti pada 756 (dalam sembarang satuan yang digunakan). Kita lihat lebih teliti maka jarak pisah antar garis pada vernier tidak sama dengan jarak pisah (*divisions*) pada scale utama. Garis nol pada vernier adalah segaris pada angka 756 pada scale utama, namun garis 10 pada vernier segaris dengan angka 765 pada scale. Jadi jarak pisah pada vernier adalah 90% dari jarak pisah pada scale.

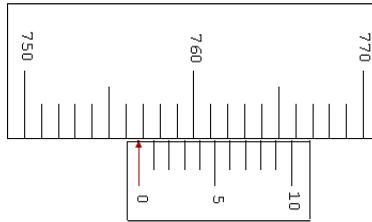
Dalam pengukuran diameter objek, penunjuk nol mungkin tidak segaris dengan garis pada scale seperti pada Gambar 1.15.



Gambar 1.15

Kita lihat pada Gambar 1.15 penunjuk segaris dengan kira-kira angka 756,5 pada scale. Kita lihat hanya ada satu garis pada vernier yang segaris dengan salah satu garis pada scale, yaitu garis 5. Ini berarti bacaan kira-kira adalah 756,5.

Sekarang jika pembacaan seperti pada Gambar 1.16 di bawah ini.

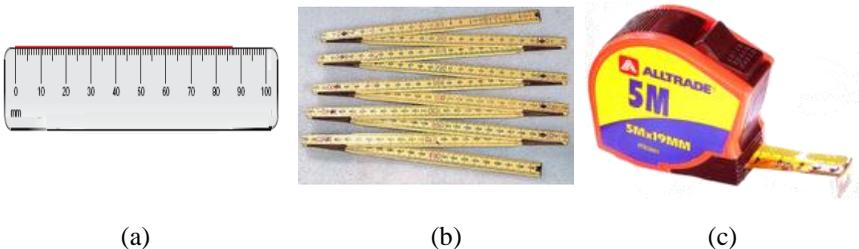


Gambar 1.16

Pembacaan adalah antara 756,5 dan 757,0. Kita lihat garis pada vernier yang segaris dengan garis pada scale adalah garis angka 7. Jadi bacaan kira-kira adalah 756,7. Namun demikian sebenarnya angka 7 masih di bawah garis pada scale, jadi sebenarnya kita boleh menduga hasil ukur yang diterima adalah  $756,73 \pm 0,02$ . Ralat 0,02 ini adalah angka yang sering diterima untuk pengukuran dengan alat ini.

### 3. Penggaris

Untuk dimensi yang lebih besar, panjang suatu benda dapat diukur dengan penggaris. Penggaris selain digunakan untuk mengukur panjang benda juga untuk menggambar garis. Terdapat berbagai macam penggaris, dari mulai yang lurus sampai yang berbentuk segitiga (biasanya segitiga siku-siku sama kaki dan segitiga siku-siku  $30^\circ - 60^\circ$ ). Penggaris dapat terbuat dari *plastik*, *logam*, berbentuk pita dan sebagainya. Juga terdapat penggaris yang dapat dilipat.



(a) Penggaris lurus (b) penggaris lipat (c) penggaris gulung

Gambar 1.17.

Pembacaan pada alat ukur ini kurang teliti dibanding mikrometer dan jangka sorong meskipun dapat digunakan mengukur objek yang jauh lebih panjang. Ketelitian alat ini biasanya hanya sampai 0,05 cm.

#### 4. Pengukuran Jarak

Jarak adalah angka yang menunjukkan seberapa jauh suatu benda dengan benda lainnya melalui suatu lintasan tertentu, misalnya jarak tempuh antara Jakarta-Bandung. Berbeda dengan *koordinat posisi*, jarak tidak mungkin bernilai *negatif*. Jarak yang ditempuh oleh kendaraan biasanya setelah sampai pada tempat tertentu terhadap titik awal dapat ditunjukkan oleh **odometer** yang terpasang pada kendaraannya. Besarnya jarak sebuah objek dengan objek yang lain tidak lain mempunyai **dimensi panjang**.

Jika panjang benda biasanya cukup diukur dengan penggaris, maka jarak tidak lazim diukur dengan penggaris karena panjangnya lintasan yang harus diukur. Pengukuran jarak benda dapat menggunakan bermacam-macam metode. Sebagai contoh, pada sepeda motor, mobil dan kendaraan bermotor lainnya dapat dipasang **odometer**. Odometer ini membaca jumlah putaran roda kendaraan dan sehingga jarak yang ditempuh adalah keliling roda kali jumlah putaran roda:

$$\text{Jarak} = (\text{keliling roda}) \times (\text{jumlah putaran roda})$$

##### a. Radio-Telescope, Radar dan Lidar

Tidak semua benda (jarak) dapat diukur dengan cara di atas. Bagaimana benda-benda angkasa yang sangat jauh dari bumi dan keberadaannya tidak dapat dilihat dengan jelas menggunakan teleskop (teropong bintang)? Bagaimana kita mengukur jaraknya, mengukur besarnya?

Para ilmuwan (astronom) di negara-negara maju telah dapat mengukur diameter benda-benda ruang angkasa yang merupakan objek sangat jauh. Dengan teknologi radio-astronomi baru-baru ini para astronom di Bonn dan California dapat menunjukkan bahwa benda angkasa yang disebut “quaoar” mempunyai diameter 1250 km, yang merupakan benda terbesar yang ditemukan di tata surya sejak penemuan planet Pluto pada Tahun 1930.



Gambar 1.18.  
Radio-Telescope di Bumi

Benda-benda yang berada di permukaan bumi dan mudah dijangkau dengan kendaraan dapat diukur jauhnya/jaraknya dari tempat kita berdiri. Bagaimana untuk benda-benda yang tidak mungkin dijangkau untuk diukur jaraknya? Seperti bagaimana petugas pengatur lalu lintas udara di bandara mengetahui jarak sebuah pesawat terbang yang sedang terbang di kejauhan dari bandara? Bagaimana posisinya?

RADAR (*Radio Detection and Ranging*) adalah teknologi penginderaan jauh yang dapat menemukan suatu target jauh, dikembangkan tahun 1941. Dengan menggunakan gelombang radio yang dikirim ke arah objek jauh dari pemancar di suatu tempat maka berdasarkan gelombang radio yang kembali (ke pemancar) setelah dipantulkan objek, jarak objek jauh dapat diukur. Dengan cara yang sama LIDAR (*Light Detection and Ranging*) yang menggunakan gelombang optik (cahaya) misalnya berkas laser, dapat digunakan mengukur jarak untuk objek jauh. Aplikasi LIDAR tersebar pada bidang-bidang *geologi*, pengideraan jauh, fisika atmosfer dan lain-lain. Penggunaan LIDAR atau RADAR bergantung pada jenis objek yang akan dilihat. Untuk LIDAR karena menggunakan panjang gelombang yang cukup kecil maka sangat sensitif pada partikel-partikel awan dan aerosol sehingga banyak digunakan untuk aplikasi penelitian atmosfer. Suatu objek perlu mempunyai diskontinuitas dielektrik agar dapat memantulkan gelombang yang mengenainya. Pada benda-benda metalik menghasilkan pantulan yang cukup signifikan, sedangkan objek nonmetal seperti partikel udara kurang menghasilkan pantulan. Jadi deteksi pesawat terbang akan efektif dengan radar sedangkan objek-objek partikel di udara mudah dideteksi dengan Lidar.



Gambar 1.19  
Peralatan Radar di antaranya Ditempatkan di Bandara

Pemanfaatan instrumen lidar untuk penjejak posisi pesawat mungkin setelah pengembangan GPS pada tahun 1980. GPS dipasang di badan pesawat dan dengan memancarkan pulsa laser ke arah satelit sehingga posisi pesawat dapat diketahui, berikut jaraknya.



Gambar 1.20.  
Perangkat LIDAR

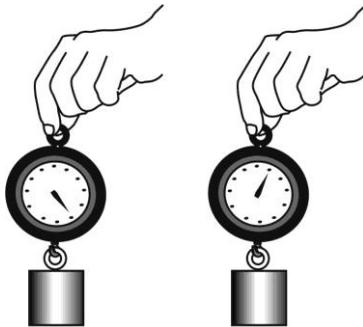
## B. PENGUKURAN MASSA

Massa adalah salah satu sifat fisis dari suatu benda, yang secara umum dapat digunakan untuk menggambarkan banyaknya *materi* yang terdapat dalam suatu benda. Massa merupakan konsep utama dalam *mekanika klasik* dan subyek lain yang berhubungan. Dalam Sistem Internasional, *SI*, massa diukur dalam satuan *kilogram*. Alat yang digunakan untuk mengukur massa biasanya adalah *timbangan* atau neraca. Tidak seperti *berat*, massa di setiap tempat selalu sama. Misalnya: massa kita ketika di bumi dan di bulan sama, akan tetapi berat kita di bumi dan di bulan berbeda. Pengertian massa dan berat walaupun demikian dalam pengertian sehari-hari disamakan. Kalau saudara membeli beras 1 kg berdasarkan timbangan, sebenarnya yang diukur adalah massanya. Namun demikian dalam kehidupan sehari-hari kepada pedagang beras saudara mengatakan ingin membeli beras beratnya 1 kg. Akan terdengar aneh jika saudara mengatakan kepada penjual beras, ingin membeli beras massanya 1 kg. Jadi secara fisika, ada perbedaan mendasar antara berat dan massa. Hubungan antara massa dan berat adalah, berat ( $W$ ) merupakan hasil kali antara massa ( $m$ ) dan percepatan gravitasi bumi ( $g$ ):

$$W = mg \quad (1.2)$$

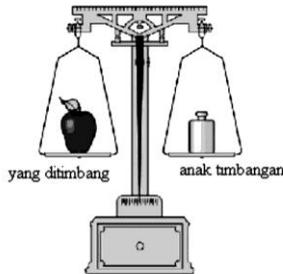
$W$  adalah berat atau *gaya (gravitasi bumi)* karena mempunyai dimensi gaya.

Menurut fisika, massa seseorang akan selalu sama di manapun dia berada, akan tetapi berat orang tersebut akan berbeda untuk satu tempat dengan tempat yang lain karena secara umum gravitasi berbeda tempat dapat berbeda. Sebagai contoh berat orang tersebut di kutub akan lebih besar dari pada beratnya di khatulistiwa. Mirip dengan hal itu, berat suatu benda di atas permukaan laut akan lebih besar dari pada beratnya pada puncak gunung yang tinggi. Hal ini disebabkan karena percepatan gravitasi di kutub lebih besar daripada di khatulistiwa, dan percepatan gravitasi di atas permukaan laut lebih besar dari pada di tempat yang lebih tinggi (karena jaraknya ke pusat bumi lebih jauh).



Gambar 1.21.  
Pengukuran Berat dari Massa yang Sama (a) di Bumi, (b) di Bulan. Berat Benda di Bumi Lebih Besar Dibanding di Bulan Seperti Terlihat pada Alat

Ada banyak jenis-jenis alat ukur massa, yang penggunaannya bergantung pada besar kecil ukuran dan berat benda yang mau diukur. Salah satu alat ukur massa yang sering saudara jumpai sehari-hari adalah **timbangan**, seperti terlihat pada Gambar 1.22.



(a) Timbangan lengan



(b) Timbangan digital

Gambar 1.22.  
Timbangan/Neraca

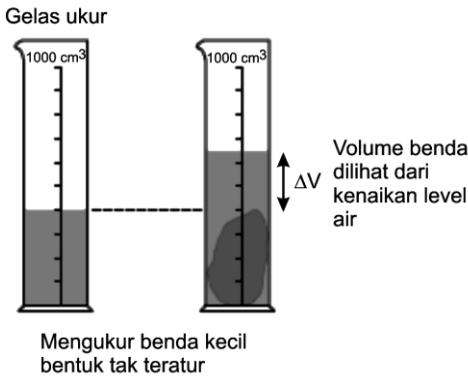
Untuk kerja laboratorium agar hasil lebih teliti, maka saudara bisa menggunakan ”neraca lengan” atau juga timbangan digital.

### C. MASSA JENIS DAN PENGUKURANNYA

Jika massa, panjang dan waktu pada umumnya dapat diukur langsung, maka banyak besaran fisis yang lain tidak dapat diukur langsung. Sebagai contoh massa jenis sebuah benda yang merupakan besaran turunan, didefinisikan menurut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

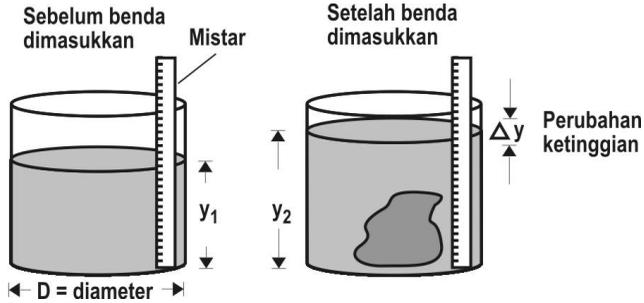
Massa  $m$  misalnya dapat diukur dengan timbangan, sedangkan volume  $V$  untuk beberapa geometri teratur seperti bola, kotak, silinder dapat dihitung berdasarkan rumus setelah melakukan pengukuran panjang. Jika bentuk objek tidak teratur maka kita dapat mengukur volume objek berdasarkan prinsip Archimedes (Gambar 1.23a).



Gambar 1.23a.  
Pengukuran Rapat Massa

Berdasarkan prinsip ini maka jika kita memasukkan sebuah objek ke dalam bejana (gelas ukuran) berisi air, maka jumlah zat cair yang dipindahkan (terlihat permukaan air dalam bejana bergerak naik saat benda dimasukkan ke dalam air) yang terbaca pada gelas ukuran  $\Delta V$ , adalah volume  $V$  objek/benda yang diukur. Jadi dengan mengukur massa benda dengan neraca, mengukur volume benda dengan gelas ukuran maka rapat massa benda dapat dihitung dengan segera.

Jika saudara tidak mendapatkan gelas ukur dapat menggunakan cara berikut:



Gambar 1.23b

Volume benda adalah  $\Delta V = \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \Delta y$  dengan  $\Delta y = y_2 - y_1$

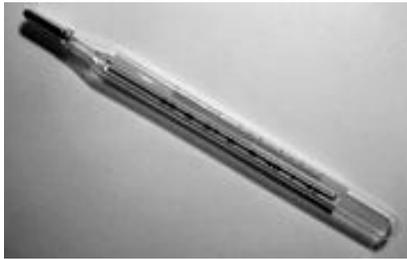
Rapat massa air umumnya adalah  $\rho = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ . Tabel di bawah ini adalah daftar rapat massa beberapa bahan.

Substance	density	density
	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$
Air	1,3	0,0013
Expanded polystyrene	14	0,014
Wood (beech)	750	0,75
Petrol	800	0,80
Ice (0°C)	920	0,92
Polythene	950	0,95
Water (4°C)	1.000	1,0
Concrete	2.400	2,4
Glass (varies)	2.500	2,5
Granit	2.700	2,7
Aluminium	2.700	2,7
Stell (stainless)	7.800	7,8
Copper	8.900	8,9

Substance	density	density
	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$
Lead	11.400	11,4
Mercury	13.600	13,6
Gold	19.300	19,3
Platinum	21.500	21,5
Osmium	22.600	22,6

#### D. PENGUKURAN SUHU

Suhu juga termasuk besaran pokok. Temperatur suatu objek dapat diukur dengan alat yang namanya termometer.



Gambar 2.24.  
Termometer Badan

**Termometer** adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. Istilah termometer berasal dari bahasa Latin *thermo* yang berarti bahang dan *meter* yang berarti untuk mengukur. Prinsip kerja termometer ada bermacam-macam, yang paling umum digunakan adalah termometer air raksa.

Ada bermacam-macam termometer menurut cara kerjanya:

1. Termometer air raksa.
2. Termokopel.
3. Termometer inframerah.
4. Termometer Galileo.
5. Termistor.
6. Termometer bimetal mekanik.
7. Sensor suhu bandgap silikon.

**Termometer air raksa** dalam gelas adalah termometer yang dibuat dari air raksa yang ditempatkan pada suatu tabung kaca. Tanda yang di kalibrasi pada tabung membuat temperatur dapat dibaca sesuai panjang air raksa di dalam gelas, bervariasi sesuai suhu. Untuk meningkatkan ketelitian, biasanya ada bohlam air raksa pada ujung termometer yang berisi sebagian besar air raksa; pemuaian dan penyempitan volume air raksa kemudian dilanjutkan ke bagian tabung yang lebih sempit. Ruang di antara air raksa dapat diisi atau dibiarkan kosong. Sebagai pengganti air raksa, beberapa termometer keluarga mengandung alkohol dengan tambahan pewarna merah. Termometer ini lebih aman dan mudah untuk dibaca.

Jenis khusus termometer air raksa, disebut termometer maksimum, bekerja dengan adanya katup pada leher tabung dekat bohlam. Saat suhu naik, air raksa didorong ke atas melalui katup oleh gaya pemuaian. Saat suhu turun air raksa tertahan pada katup dan tidak dapat kembali ke bohlam membuat air raksa tetap di dalam tabung. Pembaca kemudian dapat membaca temperatur maksimum selama waktu yang telah ditentukan. Untuk mengembalikan fungsinya, termometer harus diayunkan dengan keras. Termometer ini mirip desain termometer medis.

Air raksa akan membeku pada suhu  $-38.83^{\circ}\text{C}$  ( $-37.89^{\circ}\text{F}$ ) dan hanya dapat digunakan pada suhu di atasnya. Air raksa, tidak seperti air, tidak mengembang saat membeku sehingga tidak memecahkan tabung kaca, membuatnya sulit diamati ketika membeku. Jika termometer mengandung nitrogen, gas mungkin mengalir turun ke dalam kolom dan terjebak di sana ketika temperatur naik. Jika ini terjadi termometer tidak dapat digunakan hingga kembali ke kondisi awal. Untuk menghindarinya, termometer air raksa sebaiknya dimasukkan ke dalam tempat yang hangat saat temperatur di bawah  $-37^{\circ}\text{C}$  ( $-34.6^{\circ}\text{F}$ ). Pada area di mana suhu maksimum tidak diharapkan naik di atas  $-38.83^{\circ}\text{C}$  ( $-37.89^{\circ}\text{F}$ ) termometer yang memakai campuran air raksa dan thallium mungkin bisa dipakai. Termometer ini mempunyai titik beku of  $-61.1^{\circ}\text{C}$  ( $-78^{\circ}\text{F}$ ).

Termometer air raksa umumnya menggunakan skala suhu celsius dan Fahrenheit. Anders Celsius merumuskan skala celsius, yang dipaparkan pada publikasinya *the origin of the Celsius temperature scale* pada 1742. Celsius memakai dua titik penting pada skalanya: suhu saat es mencair dan suhu penguapan air. Ini bukanlah ide baru, sejak dulu Isaac Newton bekerja dengan sesuatu yang mirip. Pengukuran suhu celsius menggunakan suhu pencairan dan bukan suhu pembekuan. Eksperimen untuk mendapat kalibrasi

yang lebih baik pada termometer celsius dilakukan selama 2 minggu setelah itu. Dengan melakukan eksperimen yang sama berulang-ulang, dia menemukan es mencair pada tanda kalibrasi yang sama pada termometer. Dia menemukan titik yang sama pada kalibrasi pada uap air yang mendidih (saat percobaan dilakukan dengan ketelitian tinggi, variasi terlihat dengan variasi tekanan atmosfer). Saat dia mengeluarkan termometer dari uap air, ketinggian air raksa turun perlahan. Ini berhubungan dengan kecepatan pendinginan (dan pemuaian kaca tabung).

Tekanan udara mempengaruhi titik didih air. Celsius mengklaim bahwa ketinggian air raksa saat penguapan air sebanding dengan ketinggian barometer. Saat celsius memutuskan untuk menggunakan skala temperaturnya sendiri, dia menentukan titik didih pada  $0^{\circ}\text{C}$  ( $212^{\circ}\text{F}$ ) dan titik beku pada  $100^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ). Satu tahun kemudian Frenchman Jean Pierre Cristin mengusulkan versi kebalikan skala celsius dengan titik beku pada  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) dan titik didih pada  $100^{\circ}\text{C}$  ( $212^{\circ}\text{F}$ ). Dia menamakannya Centrigade.

Hari ini termometer air raksa masih banyak digunakan dalam bidang meteorologi, tetapi penggunaan pada bidang-bidang lain semakin berkurang, karena air raksa secara permanen sangat beracun pada sistem yang rapuh dan beberapa negara maju telah tidak menyarankan penggunaannya untuk tujuan medis. Beberapa perusahaan menggunakan campuran gallium, indium, dan tin (galinstan) sebagai pengganti air raksa.

Temperatur diukur dengan termometer yang dapat di kalibrasi ke berbagai skala temperatur. Temperatur skala celcius banyak digunakan dibelahan dunia, sedang di Amerika Serikat, Jamaika dan beberapa negara lain banyak menggunakan skala Fahrenheit. Para ilmuwan menggunakan skala Celcius untuk pengukuran temperatur, dan menggunakan skala Kelvin untuk temperatur termodinamik. Beberapa bidang rekayasa yang lain di Amerika Serikat juga menggunakan skala yang lain Rankine untuk kajian yang disebut *combustion*.



Gambar 2.25.  
Termometer Suhu Luar

Pengukuran temperatur menjadi penting karena memainkan peran dalam banyak bidang kehidupan, mulai dari fisika, kimia dan biologi sampai engineering. Konversi dari skala Celcius ke yang lain seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.9.  
Konversi di Antara Skala Temperatur

	°C	°Réaumur	°F	K	°Rankine
Titik didih air (at 1 atm = 101325 Pa)	100	80	212	373.15	671.67
Titik beku air (at 1 atm = 101325 Pa)	0	0	32	273.15	491.67
Interval titik beku-titik didih air (at 1 atm = 101325 Pa)	100	80	180	100	180
Triple point air (solid-liquid-gas equilibrium)	0.01	0.008	32.02	273.16	491.69

°C: derajat Celsius (centigrade), °F: derajat Fahrenheit, K: Kelvin

Formula di antara masing-masing skala temperatur adalah sebagai berikut:

$$a \text{ } ^\circ\text{C} = \left(\frac{4}{5}\right) a \text{ } ^\circ\text{Réaumur} = \left[32 + \left(\frac{9}{5}\right) a\right] \text{ } ^\circ\text{F} \tag{1.4}$$

$$b \text{ } ^\circ\text{Réaumur} = \left(\frac{5}{4}\right)b \text{ } ^\circ\text{C} = \left[32 + \left(\frac{9}{4}\right)b\right] \text{ } ^\circ\text{F} \quad (1.5)$$

$$c \text{ } ^\circ\text{F} = \left(\frac{5}{9}\right)(c - 32) \text{ } ^\circ\text{C} = \left(\frac{4}{9}\right)(c - 32) \text{ } ^\circ\text{Réaumur} \quad (1.6)$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = (t + 273.15) \text{ K} \quad (1.7)$$

$$T_K \text{ K} = (T_K - 273.15) \text{ } ^\circ\text{C} = [1.80 * (T_K - 273.15) + 32] \text{ } ^\circ\text{F} = 1.80 T_K \text{ } ^\circ\text{Rankine} \quad (1.8)$$

## E. PENGUKURAN WAKTU

Besaran waktu  $t$  biasanya dapat diukur dengan teliti menggunakan *stopwatch*. Alat ini ada yang mekanik maupun yang model digital.

## F. CARA MELAPORKAN HASIL PENGUKURAN

Pada bagian di atas, saudara sudah mengetahui bahwa dalam pengukuran diasumsikan tidak ada pengukuran yang benar-benar eksak. Selalu ada ralat pengukuran sehingga untuk pengukuran besaran fisis  $x$  hasil ukurnya perlu dituliskan dengan:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ satuan} \quad (1.9)$$

$\bar{x}$  adalah nilai rata-rata besaran fisis dari sejumlah pengukuran yang diulang-ulang atau hasil pengukuran tunggal *terbaik* yang dapat kita peroleh.  $\Delta x$  adalah ketidakpastian pengukuran (ralat) yang menggambarkan simpangan hasil pengukuran kita dari nilai yang sebenarnya. Dalam hal ini untuk menyatakan baik  $\bar{x}$  maupun  $\Delta x$ , terutama untuk besaran fisis yang tidak dapat diperoleh secara langsung tapi misalnya diperoleh melalui perhitungan rumus maka saudara perlu memperhatikan konsep angka penting (*significant figure*) dan metode perambatan ralat (*error propagation*). Mengapa demikian? Jawabannya adalah suatu hasil ukur yang kita tuliskan dengan  $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ , sekaligus menyatakan tingkat ketelitian alat ukur/hasil ukur. Sebagai contoh, jika saudara ingin menghitung nilai tahanan  $R$  dengan rumus hukum Ohm  $R = \frac{V}{I}$  dengan masukan nilai  $V = (100 \pm 1)$

Volt dan  $I = (3,0 \pm 0,1)$  A maka dengan kalkulator anda dapat menghitung bahwa  $R = 33,3333333333 \text{ } \Omega$  sampai digit terakhir yang dapat ditampilkan

oleh kalkulator. Apabila kita tuliskan hasilnya seperti itu tentu saja ini tidak logis karena ketelitian dari nilai tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) itu sendiri tidak sampai 2 digit di belakang tanda desimal. Oleh karena itu, penting sekali saudara mengetahui aturan untuk menuliskan suatu hasil ukur, seperti di bawah ini:

1. Ketidakpastian pengukuran biasanya menyertakan hanya sampai satu angka yang paling meragukan di belakang tanda koma.
2. Angka penting paling akhir dari hasil seluruhnya (biasanya) mempunyai orde sama (dalam posisi desimal yang sama) dengan ketidakpastian.

*Contoh Soal:*

Sebuah pengukuran menghasilkan nilai terbaik 12,34 satuan dengan ketidakpastian 0,2 satuan. Tuliskan hasil tersebut dengan benar menurut aturan penulisan?

*Penyelesaian:*

Menurut poin pertama aturan di atas ketidakpastian 0,2 berarti angka 2 adalah angka yang paling meragukan dan menurut poin dua seharusnya hasil dilaporkan dengan  $x = (12,3 \pm 0,2)$  satuan. Maksud dari ungkapan tersebut adalah, nilai dari  $x$  adalah  $(12,3 - 0,2) \leq x \leq (12,3 + 0,2)$  atau  $12,1 \leq x \leq 12,5$  satuan.

*Contoh Soal:*

Untuk soal di atas jika ketidakpastian adalah 1 satuan, tuliskan hasil akhir saudara dengan benar menurut aturan yang benar?

*Penyelesaian:*

Hasil kita nyatakan dengan pembulatan bahwa  $x = (12 \pm 1)$  satuan.

### 1. Aturan Konversi

Jika sebuah hasil pengukuran tidak menyertakan ketidakpastian, maka dimaknai bahwa untuk hasil ukur  $\bar{x} = 1,27$  satuan misalnya, mengandung arti bahwa nilai  $x$  berada dalam interval  $(1,265 \leq x \leq 1,275)$  satuan, yaitu  $x = (1,270 \pm 0,005)$  satuan.

*Contoh Soal:*

Sebuah pengukuran panjang menghasilkan nilai terbaik 27,6 cm. Apakah makna dari pengukuran hasil ini?

*Penyelesaian:*

Interval dari hasil pengukuran tersebut kira-kira adalah  $(27,55 \leq L \leq 27,65)$  cm yaitu nilai benar pengukuran berada dalam selang ini.

**2. Angka Penting**

Sebuah pengukuran akan menghasilkan hasil ukur dengan sejumlah digit/angka tertentu. Artinya tidak mungkin alat ukur dapat menampilkan jumlah angka/digit yang tak berhingga. Banyaknya digit dalam hasil pengukuran yang masih dapat dipercaya (dianggap benar) disebut dengan angka penting (*significant figure*). Berapa jumlah angka penting dalam setiap pengukuran? Jawabnya adalah tergantung pada presisi dari sebuah alat ukur. Makin tinggi ketepatan hasil pengukuran saudara maka makin banyak pula jumlah angka penting yang dapat saudara tuliskan atau sertakan dalam melaporkan hasil ukur. Dalam menuliskan hasil ukur  $x = \bar{x} \pm \Delta x$  maka angka yang dilaporkan seharusnya merupakan angka penting, sedang angka yang bukan angka penting perlu kiranya untuk dibuang.

Berkaitan dengan konsep angka penting, maka ada aturan-aturan yang perlu saudara perhatikan yaitu:

- Banyaknya angka penting dihitung dari kiri sampai angka paling kanan (terakhir), dengan mengabaikan tanda desimal.
- Angka penting mencakup angka yang diketahui dengan pasti maupun satu angka pertama yang paling meragukan (tidak pasti). Angka selanjutnya yang meragukan tidak perlu disertakan lagi dalam menuliskan hasil ukur.
- Semua angka bukan nol adalah angka penting.
- Angka nol di sebelah kiri angka bukan nol pertama paling kiri bukan angka penting.
- Angka nol di antara angka bukan nol adalah angka penting.
- Angka di ujung kanan dari bilangan namun di kanan tanda koma adalah angka penting.

- g. Angka nol di ujung kanan seluruh bilangan adalah ketidakpastian. Untuk menghindari kesalahan penafsiran sebaiknya untuk hasil ukur dengan jumlah digit banyak/besar dinyatakan dalam notasi ilmiah  $x = (\bar{x} \pm \Delta x) \cdot 10^n$  satuan.

*Contoh Soal:*

Sebuah benda akar diukur panjangnya dengan alat ukur yang mempunyai skala terkecil 1 mm. Tunjukkan angka yang meragukan dari alat tersebut?

*Penyelesaian:*

Skala terkecil alat adalah 1mm sehingga angka yang meragukan adalah angka kedua setelah koma jika hasil ukur dinyatakan dalam cm sedang angka pasti adalah digit pertama setelah angka koma (sesuai skala terkecil alat).

Jadi untuk alat ukur dengan skala terkecil 1mm, hasil ukur panjang misalnya dapat dinyatakan dengan  $x = (15,25 \pm 0,04)$  cm, yang mempunyai empat buah angka penting yaitu 1,5,2 dan 5. Tidak dapat diterima jika kita menuliskan dengan  $L = (15,251 \pm 0,035)$  cm, misalnya karena tidak sesuai dengan batas ketelitian alat.

### 3. Aturan Angka Penting untuk Perhitungan

Sering kita menghitung nilai besaran turunan yang diperoleh dari persamaan matematik tertentu misalnya hambatan listrik  $R = \frac{V}{I}$  di mana

masing-masing  $V$  dan  $I$  diperoleh secara pengukuran langsung dengan alat. Bagaimana kita menuliskan hasil  $R$ ?. Contoh lain yang lebih baik untuk menggambarkan pentingnya konsep angka penting adalah pengukuran luas bidang. Bila sebuah lingkaran dapat diukur diameternya yaitu  $d = 7,9$  mm,

berapakah luasnya? Dengan rumus  $A = \frac{\pi d^2}{4}$  jika dihitung dengan

kalkulator menghasilkan  $A = 62,21138852$  mm (kalkulator 11 digit). Ada hal yang mengganggu di sini?. Diameter  $d$  mempunyai dua buah angka penting sedangkan luas  $A$  mempunyai 10 buah angka penting, jadi ini tentu saja tidak benar! Oleh karena itu, diperlukan aturan berkaitan dengan cara menuliskan angka penting dari hasil perhitungan.

a. *Pembagian dan Perkalian*

Hasil hitung seharusnya mempunyai jumlah angka penting satu lebih banyak dari bilangan terkecil yang memuat angka yang masih dapat dipercaya.

*Contoh Soal:*

Bila  $Z = X \cdot Y$  dengan  $X = 3,7$  dan  $Y = 3,01$  maka nyatakan hasil  $Z$  adalah?

*Penyelesaian:*

$$Z = X \cdot Y$$

$$\begin{array}{r} 3,7 \quad (\text{bilangan terkecil dengan dua angka penting}) \\ 3,01 \quad (\text{bilangan terbesar dengan tiga angka penting}) \\ \hline \quad \times \\ 11,137 \quad (\text{lima angka penting}) \end{array}$$

Dengan aturan di atas maka seharusnya, hasil kita akan mempunyai  $2 + 1 = 3$  angka penting yaitu hasil akhir adalah  $Z = 11,1$  setelah dibulatkan.

b. *Penjumlahan dan Pengurangan*

Hasil hitung untuk penjumlahan dan pengurangan seharusnya mempunyai jumlah angka “desimal” yang sama dengan bilangan yang mengandung jumlah angka desimal paling sedikit.

*Contoh Soal:*

Bila  $Z = X + Y$  maka untuk  $X = 10,26$  dan  $Y = 15,1$  maka carilah nilai  $Z$  tersebut?

*Penyelesaian:*

$$\begin{array}{r} 10,26 \quad (\text{dua angka desimal}) \\ 15,1 \quad (\text{satu angka desimal}) \\ \hline \quad + \\ 25,36 \quad (\text{dua angka desimal}) \end{array}$$

Dari hasil perhitungan ini maka seharusnya dinyatakan sebagai  $Z = 25,4$  (setelah di bulatkan).

#### 4. Aturan Pembulatan

Pada contoh di atas kita telah melakukan pembulatan supaya memenuhi aturan penulisan yang sesuai aturan angka penting. Untuk dapat menerapkan pembulatan maka dapat diikuti aturan berikut:

- Bila pecahan/desimal  $< \frac{1}{2}$  maka bilangan dibulatkan ke bawah,
- Bila pecahan/desimal  $> \frac{1}{2}$  maka bilangan dibulatkan ke atas,
- Bila pecahan/desimal sama dengan  $\frac{1}{2}$  maka dibulatkan ke atas jika bilangan di depannya ganjil dan sebaliknya.

*Contoh Soal:*

Lakukan pembulatan sampai satu angka desimal untuk bilangan-bilangan berikut!

- 1,235
- 1,245
- 1,2451
- 123,52

*Penyelesaian:*

- $1,235 \rightarrow 124$  (aturan 3)
- $1,245 \rightarrow 1,24$  (aturan 3)
- $1,2451 \rightarrow 1,245$  (aturan 1)
- $123,52 \rightarrow 123,5$

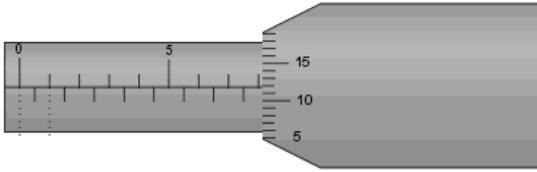


#### LATIHAN

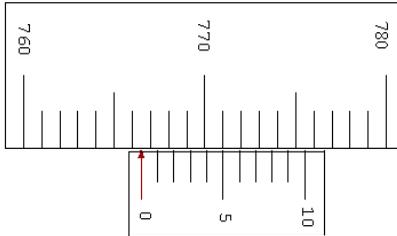
---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- Berapakah pembacaan pada mikrometer di bawah ini?



2) Berapakah pembacaan pada vernier caliper berikut?



- 3) Berapa buah angka penting yang terdapat pada bilangan-bilangan berikut ini ?
- 60,0
  - 0,2070
  - $1,3 \times 10^8$
  - 0,00602
- 4) Lakukan pembulatan sampai satu angka desimal untuk bilangan-bilangan berikut?
- 122,52
  - 10,071
- 5) Temperatur ruangan yang nyaman saat musim panas adalah  $72^\circ\text{F}$  dan temperatur tubuh pada umumnya adalah  $98,6^\circ\text{F}$ . Nyatakan dalam skala Celcius dan carilah selisih antara suhu ruangan dan suhu tubuh dalam Celcius?

*Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1 skala kecil adalah 0,01 mm sehingga pembacaan mikrometer adalah 8,120 mm.
- Terbaca 766,5 satuan.
- (a) Tiga buah angka penting (b) Empat angka penting (c) Tiga buah angka penting (d) Tiga angka penting
- (a) 122,5 (b) 10,07

$$5) T_C = \left(\frac{5}{9}\right)[T_F - 32]$$

$$T_F = 72^\circ\text{F} \rightarrow T_C = 23^\circ\text{C}$$

$$T_F = 98,6^\circ\text{F} \rightarrow T_C = 37^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_C = (37 - 23)^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$$



Mengukur panjang suatu objek dapat menggunakan berbagai jenis alat ukur. Jenis-jenis yang digunakan bergantung objek apa yang ingin kita ukur. Untuk mengukur panjang (dimensi) sebuah benda kita dapat menggunakan meteran atau penggaris atau jangka sorong. Untuk mengukur jarak suatu tempat terhadap tempat yang lain maka dapat digunakan berbagai cara yang lain yang sesuai. **Massa** adalah salah satu sifat fisis dari suatu benda, yang secara umum dapat digunakan untuk menggambarkan banyaknya materi yang terdapat dalam suatu benda. Massa merupakan konsep utama dalam mekanika klasik dan subyek lain yang berhubungan. Dalam Sistem Internasional, SI, massa diukur dalam satuan kilogram. Alat yang digunakan untuk mengukur massa biasanya adalah timbangan atau neraca. Tidak seperti berat, massa di setiap tempat selalu sama. Misalnya: massa kita ketika di bumi dan di bulan sama, akan tetapi berat kita di bumi dan di bulan berbeda. **Hubungan** antara massa dan berat adalah, berat ( $W$ ) merupakan hasil kali antara massa ( $m$ ) dan percepatan gravitasi bumi ( $g$ ) adalah  $W = mg$  dengan  $W$  adalah berat atau *gaya (gravitasi bumi)* karena mempunyai dimensi gaya.

Menurut fisika, massa seseorang akan selalu sama di manapun dia berada, akan tetapi berat orang tersebut akan berbeda untuk satu tempat dengan tempat yang lain karena secara umum gravitasi di berbeda tempat dapat berbeda. Sebagai contoh berat orang tersebut di kutub akan lebih besar dari pada beratnya di khatulistiwa. Mirip dengan hal itu, berat suatu benda di atas permukaan laut akan lebih besar dari pada beratnya pada puncak gunung yang tinggi. Hal ini disebabkan karena percepatan gravitasi di kutub lebih besar daripada di khatulistiwa, dan percepatan gravitasi di atas permukaan laut lebih besar dari pada di tempat yang lebih tinggi (karena jaraknya ke pusat bumi lebih jauh). **Termometer** adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. Istilah termometer berasal dari bahasa Latin *thermo* yang berarti bahang dan *meter* yang berarti untuk

mengukur. Prinsip kerja termometer ada bermacam-macam, yang paling umum digunakan adalah termometer air raksa.

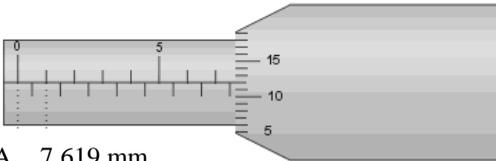
Dalam pengukuran diasumsikan tidak ada pengukuran yang benar-benar eksak. Selalu ada ralat pengukuran sehingga untuk pengukuran besaran fisis  $x$  hasil ukurnya perlu dituliskan dengan:  $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$  satuan  $\bar{x}$  adalah nilai rata-rata besaran fisis dari sejumlah pengukuran yang diulang-ulang atau hasil pengukuran tunggal *terbaik* yang dapat kita peroleh.  $\Delta x$  adalah ketidakpastian pengukuran (ralat) yang menggambarkan simpangan hasil pengukuran kita dari nilai yang sebenarnya. Dalam hal ini untuk menyatakan baik  $\bar{x}$  maupun  $\Delta x$ , terutama untuk besaran fisis yang tidak dapat diperoleh secara langsung tapi misalnya diperoleh melalui perhitungan rumus maka saudara perlu memperhatikan konsep angka penting (*significant figure*) dan metoda perambatan ralat (*error propagation*). Mengapa demikian? Jawabannya adalah suatu hasil ukur yang kita tuliskan dengan  $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ , sekaligus menyatakan tingkat ketelitian alat ukur/hasil ukur.



## TES FORMATIF 2

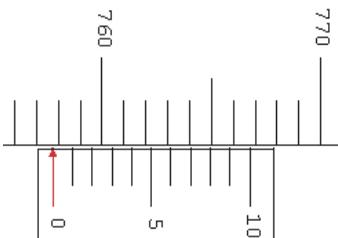
Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Bacaan mikrometer ini adalah ....



- A. 7,619 mm
- B. 7,620 mm
- C. 7,625 mm
- D. 7,615 mm

- 2) Bacaan dari jangka sorong berikut adalah ....



- A.  $757,70 \pm 0,01$
  - B.  $757,75 \pm 0,01$
  - C.  $757,71 \pm 0,02$
  - D.  $757,71 \pm 0,05$
- 3) Bila  $X = 3,7$  dan  $Y = 3,01$  maka hasil kali  $X$  dan  $Y$  mengandung sebanyak ....
- A. empat angka penting
  - B. tiga angka penting
  - C. dua angka penting
  - D. satu angka penting
- 4) Bila suatu hasil ukur menunjukkan nilai  $100,23$  satuan. Maka nilai ini mengandung sebanyak ....
- A. enam angka penting
  - B. lima angka penting
  - C. empat angka penting
  - D. tiga angka penting
- 5) Sebuah mobil untuk berjalan selama 20 menit memerlukan 10.000 putaran penuh roda. Jika pada mobil dipasang odometer, maka jarak yang telah ditempuh mobil yang mempunyai jari-jari roda 25 cm adalah ....
- A. 14,5 km
  - B. 15,7 km
  - C. 16,5 km
  - D. 17, 7 km
- 6) Gas hydrogen dapat dicairkan pada suhu  $-235^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 20 atm. Bila menggunakan skala Fahrenheit, gas itu berada pada suhu ....
- A.  $-381^{\circ}\text{F}$
  - B.  $-388^{\circ}\text{F}$
  - C.  $-390^{\circ}\text{F}$
  - D.  $-391^{\circ}\text{F}$
- 7) Nilai bacaan Celcius sama dengan bacaan Fahrenheit berada pada suhu ....
- A.  $-35$
  - B.  $-37$
  - C.  $-38$
  - D.  $-40$

- 8) Jika air membeku pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  maka air itu membeku pada suhu ....
- A.  $32^{\circ}\text{F}$
  - B.  $30^{\circ}\text{F}$
  - C.  $28^{\circ}\text{F}$
  - D.  $0^{\circ}\text{F}$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### Tes Formatif 1

- 1) D.  $F = \frac{m}{a}$ . Gunakan analisis dimensi.
- 2) A.  $LT^{-2}$ .
- 3) D.  $\frac{m \cdot kg}{\frac{s^3}{A}}$ .
- 4) B.  $\frac{\text{coulomb}}{\text{kilogram}}$ .
- 5) A. 10 millimicrometer.
- 6) B.  $M^2 L^2 T^{-2}$ .
- 7) C. Energi.
- 8) D.  $f \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

### Tes Formatif 2

- 1) B. Dari alat terbaca 7,620 mm.
- 2) C. Dari alat terbaca  $757,71 \pm 0,02$ .
- 3) B.  $Z = X.Y = (3,7) \times (3,01) = 11,137$ . Sesuai dengan aturan maka harus dibulatkan sampai tiga angka penting saja yaitu  $Z = 11,1$ .
- 4) B. Ada lima angka penting.
- 5) B. Keliling roda adalah  $K = 2\pi r = 2 \times 3,14 \times 25 \text{ cm} = 157 \text{ cm} = 1,57 \text{ m} = 0,00157 \text{ km}$ . Jadi jika mobil sudah berjalan 10.000 putaran maka jarak yang ditempuh adalah  $10.000 \times 0,00157 = 15,7 \text{ km}$ .
- 6) D.  $T_F = 1,8T_C + 32 = 1,8(-235) + 32 = -391^\circ\text{F}$ .
- 7) D.  $T_F = \left(\frac{9}{5}\right) T_C + 32$ . Jika  $T_C = T_F = x$  maka  $x = \left(\frac{9}{8}\right) x + 32$  atau  $x = -40$ .
- 8) A.  $T_F = \left(\frac{9}{5}\right) T_C + 32 = 0 + 32^\circ\text{F}$ .

## Daftar Pustaka

[Http://physics.nist.gov/cuu/units](http://physics.nist.gov/cuu/units)

**Physics for Biologists and Environmental Scientists**, Dr. Norval Strachan dalam [www.abdn.ac.uk/physics/px1013](http://www.abdn.ac.uk/physics/px1013)

[www.hyperphysics.phys.astr-gsu.edu](http://www.hyperphysics.phys.astr-gsu.edu)

<http://www.unc.edu/~rowlett/units/prefixes.html>

<http://www.unc.edu/~rowlett/units/cgsmks.html>

<http://id.wikipedia.org/wiki/>

Commonly Used Instruments section of the First Year Laboratory Manual,

David M. (2002). *Harrison, Dept. of Physics*. Univ. Of Toronto.

<http://feh.osu.edu/Tutorials/micrometer/reading.html>

[www.edinformatics.com/math\\_science/mass\\_weight.htm](http://www.edinformatics.com/math_science/mass_weight.htm)

[http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/tscales\\_en.html](http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/tscales_en.html)